

TEXTE

05/2017

# Effizienz von Maßnahmen zur Reduktion von Stoffeinträgen

Endbericht



TEXTE 05/2017

Umweltforschungsplan des  
Bundesministeriums für Umwelt,  
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Forschungskennzahl 3711 21 220  
UBA-FB 002441

## **Effizienz von Maßnahmen zur Reduktion von Stoffeinträgen**

von

Stephan Fuchs (Projektleitung), Tatyana Weber, Ramona Wander, Snezhina  
Toshovski, Steffen Kittlaus, Lucas Reid  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)/Institut für Wasser und  
Gewässerentwicklung (IWG)/ Bereich Siedlungswasserwirtschaft und  
Wassergütewirtschaft, Karlsruhe

Martin Bach, Laura Klement  
Gesellschaft für Boden- und Gewässerschutz e.V., Wettenberg

Thomas Hillenbrand, Felix Tettenborn  
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

# Impressum

**Herausgeber:**

Umweltbundesamt  
Wörlitzer Platz 1  
06844 Dessau-Roßlau  
Tel: +49 340-2103-0  
Fax: +49 340-2103-2285  
info@umweltbundesamt.de  
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

**Durchführung der Studie:**

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Wasser und  
Gewässerentwicklung (IWG), Bereich Siedlungswasserwirtschaft und  
Wassergütewirtschaft  
Gotthard-Franz-Straße 3  
76131 Karlsruhe

Gesellschaft für Boden- und Gewässerschutz e.V., Wettenberg  
Hainerweg 33  
35435 Wettenberg

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI)  
Breslauer Straße 48  
76139 Karlsruhe

**Abschlussdatum:**

Dezember 2015

**Redaktion:**

Fachgebiet II 2.2 Stoffhaushalt Gewässer  
Antje Ullrich

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Januar 2017

Das diesem Bericht zu Grunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des  
Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit unter  
der Forschungskennzahl 3711 21 220 gefördert. Die Verantwortung für den  
Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.



## **Kurzbeschreibung**

Im Rahmen des Vorhabens wurde das Modellwerkzeug MoRE (Modelling of Regionalized Emissions) zu einem strategischen Planungsinstrument weiterentwickelt, mit dem der Ist-Zustand der Einträge in Gewässer beschrieben sowie strategische Maßnahmen bewertet werden können. Hierzu wurden die auf Ebene der Länder und Flussgebietsgemeinschaften im Rahmen der ersten Bewirtschaftungspläne der Wasserrahmenrichtlinie entwickelten Ansätze zur Eintragsmodellierung und Maßnahmenentwicklung analysiert. Bei Eignung wurden die Ansätze oder Eingangsdaten in das bundeseinheitliche Modell übernommen, teilweise wurden neue Ansätze entwickelt. Strategische Maßnahmen wurden in Zusammenarbeit mit den Ländern ausgewiesen. Zusätzlich wurde eine ökonomische Bewertungskomponente in MoRE implementiert, die eine Priorisierung verschiedener Einzelmaßnahmen oder Maßnahmenkombinationen erlaubt.

Zudem wurde MoRE von technischer Seite erweitert, sodass nun die Modellierung mit Varianten von Eingangsdaten und Maßnahmen sowie mit einzelnen Punktquellen möglich ist. Die erzeugten Ergebnisse können auf Ebene von Planungseinheiten aggregiert werden. Zur Validierung der Stoffeinträge können in MoRE zudem beobachtete Gewässerfrachten ermittelt werden und diese den modellierten gegenübergestellt werden.

So wurde ein Instrument geschaffen, welches zur Unterstützung der Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie und der Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie insbesondere in Hinblick auf die Erstellung der zweiten Bewirtschaftungspläne beitragen kann.

## **Abstract**

Within the framework of the project the river basin management system MoRE (Modelling of Regionalized emission) has evolved into a strategic planning tool. Using this system, the actual condition of the emissions into water bodies can be described and strategic measures can be assessed. In order to achieve this goal, the modelling approaches and measure programs which have been developed for the first management plans of Water Framework Directive by the German states and river basin communities have been analysed. If suitable, approaches or input data were incorporated into this homogenized model, some new approaches have been developed. Strategic measures have been identified in cooperation with the German states. In addition, an economic evaluation component was implemented in MoRE. It allows prioritization of various individual measures or combinations of measures.

In addition, MoRE was expanded from the technical side, so now the modeling with variants of input data and measures as well as individual point sources is possible. The results generated can be aggregated at the level of planning units. To validate the emissions in MoRE observed river loads can also be calculated and compared to modeled river loads.

Thus an instrument was created which can help to support the implementation of the Water Framework Directive and the Marine Strategy Framework Directive, in particular with regard to the creation of the second river basin management plans.

# Verzeichnisse

## Inhaltsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Inhaltsverzeichnis.....  | 5  |
| Abbildungsverzeichnis.....   | 9  |
| Tabellenverzeichnis.....   | 15 |
| Abkürzungen .....  | 19 |
| Zusammenfassung .....  | 23 |
| Summary .....  | 31 |
| 1 Einführung.....  | 38 |
| 2 Das Modellierungswerkzeug MoRE .....   | 41 |
| 2.1 Technische Umsetzung von MoRE .....  | 41 |
| 2.1.1 Struktur des MoRE-Systems.....   | 41 |
| 2.1.2 Komponenten des MoRE-Systems.....  | 42 |
| 2.2 Technische Weiterentwicklungen von MoRE .....  | 45 |
| 2.2.1 Modul „Dokumentation“ .....  | 46 |
| 2.2.2 Modul „Modellierung“ .....   | 47 |
| 2.2.3 Modul „Validierung“ .....  | 54 |
| 2.3 Vorteile des MoRE-Systems.....   | 57 |
| 3 Anpassung der Eingangsdaten und Modellierungsansätze und Darstellung der<br>Ergebnisse ..... | 59 |
| 3.1 Eingangsdatum Landnutzung.....   | 60 |
| 3.2 Eingangsdatum Atmosphärische Depositionsrate.....  | 62 |
| 3.3 Eingangsdatum N-Überschüsse.....   | 62 |
| 3.3.1 Bisherige Übertragung der N-Überschüsse auf die Analysegebiete.....                      | 63 |
| 3.3.2 Neues methodisches Vorgehen .....  | 63 |
| 3.3.3 Ergebnisse.....  | 63 |
| 3.3.4 Empfehlungen zur bundeseinheitlichen Modellierung .....                                  | 65 |
| 3.4 Eintragspfad kommunale Kläranlagen.....  | 65 |
| 3.4.1 Bisherige Modellierung der Einträge über kommunale Kläranlagen .....                     | 65 |
| 3.4.2 Neues methodisches Vorgehen .....  | 71 |
| 3.4.3 Ergebnisse und Empfehlungen zur bundeseinheitlichen Modellierung.....                    | 73 |
| 3.5 Eintragspfad Kanalisationssysteme .....  | 77 |
| 3.5.1 Bisherige Modellierung der Einträge über Kanalisationssysteme.....                       | 78 |
| 3.5.2 Neues methodisches Vorgehen .....  | 81 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 3.5.3 | Ergebnisse und Empfehlungen zur bundeseinheitlichen Modellierung.....                            | 93  |
| 3.6   | Erosion .....  | 108 |
| 3.6.1 | Ermittlung des Bodenabtrags anhand unterschiedlicher Geländemodelle.....                         | 108 |
| 3.6.2 | Vergleich des Bodenabtrags und Sedimenteintrags mit den Ergebnissen des Modells STOFFBILANZ..... | 110 |
| 3.6.3 | Bisherige und neue Eingangsdaten zu Schwermetallgehalten in Oberböden und Gestein .....          | 115 |
| 3.6.4 | Empfehlungen zur bundeseinheitlichen Modellierung .....  | 119 |
| 3.7   | Eintragspfad Dränagen.....   | 119 |
| 3.7.1 | Dränierte Flächen.....   | 119 |
| 3.7.2 | Bisherige Modellierung der Einträge über Dränagen .....  | 120 |
| 3.7.3 | Neues methodisches Vorgehen .....  | 120 |
| 3.7.4 | Ergebnisse.....  | 121 |
| 3.7.5 | Empfehlungen zur bundeseinheitlichen Modellierung .....  | 127 |
| 3.8   | Eintragspfad Grundwasser.....  | 127 |
| 3.8.1 | Ergebnisse der Stickstoff-Einträge über Grundwasser .....  | 127 |
| 3.8.2 | Bisherige Modellierung der PAK <sub>16</sub> -Einträge und neue Methodik .....                   | 130 |
| 3.8.3 | Empfehlungen zur bundeseinheitlichen Modellierung .....  | 130 |
| 3.9   | Zusammenfassung und Fazit zu den Anpassungen der Eingangsdaten und Modellansätze .....           | 130 |
| 4     | Umsetzung der überregionalen Maßnahmen in MoRE.....  | 133 |
| 4.1   | Ableitung der überregionalen Maßnahmen und Maßnahmenwirkungen.....                               | 133 |
| 4.1.1 | Erstellung von Maßnahmenlisten .....   | 133 |
| 4.1.2 | Raumbezug der Maßnahmen .....  | 136 |
| 4.1.3 | Relevanz der Maßnahmen .....   | 136 |
| 4.1.4 | Strategische überregionale Maßnahmen zur Umsetzung in MoRE.....                                  | 136 |
| 4.2   | Beschreibung der Maßnahmen.....  | 137 |
| 4.2.1 | Maßnahmen mit Bezug zum Eintragspfad „Kläranlagen“ .....   | 138 |
| 4.2.2 | Maßnahmen mit Bezug zum Eintragspfad „Kanalisationssysteme“ .....                                | 139 |
| 4.2.3 | Maßnahmen mit Bezug zu den Eintragspfaden „Grundwasser“ und „Dränagen“ .....                     | 144 |
| 5     | Kostenkomponente zur Bewertung der Maßnahmen zur Stoffeintragsreduktion.....                     | 146 |
| 5.1   | Hintergrund und Zielsetzung der ökonomischen Maßnahmenbewertung.....                             | 146 |
| 5.2   | Grundlagen der ökonomischen Maßnahmenbewertung.....  | 146 |
| 5.2.1 | Methoden zur ökonomischen Maßnahmenbewertung.....  | 146 |
| 5.2.2 | Kostenbegriffe.....  | 148 |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 5.3   | Eingrenzende Rahmenbedingungen .....  | 149 |
| 5.4   | Vorgehen der Kostenbetrachtung zur Maßnahmenbewertung .....   | 150 |
| 5.5   | Vorgehen der Kostenbetrachtung zur Maßnahmenbewertung .....   | 152 |
| 5.6   | Darstellung der Berechnungsansätze des Kostenmoduls .....   | 153 |
| 5.6.1 | Berechnungsansätze des Kostenmoduls zur Bewertung der Maßnahmen mit<br>Bezug zum Eintragspfad kommunaler Kläranlagen..... | 153 |
| 5.6.2 | Berechnungsansätze des Kostenmoduls zur Bewertung der Maßnahmen mit<br>Bezug zum Eintragspfad Kanalisationssystem.....    | 170 |
| 5.7   | Zusammenfassung und Ausblick.....   | 178 |
| 6     | Ergebnisse .....  | 179 |
| 6.1   | Ergebnisse der Eintragsmodellierung.....  | 179 |
| 6.1.1 | Nährstoffe.....   | 179 |
| 6.1.2 | Schwermetalle.....  | 182 |
| 6.1.3 | PAK <sub>16</sub> .....   | 189 |
| 6.1.4 | Zusammenfassung.....  | 190 |
| 6.2   | Validierung der Ergebnisse .....  | 201 |
| 6.3   | Ergebnisse der Maßnahmenberechnungen .....  | 205 |
| 6.3.1 | Ergebnisse der Maßnahmen aus dem urbanen Bereich.....   | 205 |
| 6.3.2 | Ergebnisse der Maßnahmen aus dem landwirtschaftlichen Bereich.....  | 218 |
| 6.4   | Ergebnisdarstellung des Kostenmoduls zur Bewertung von Maßnahmen zur<br>Stoffeintragsreduktion .....                      | 224 |
| 6.4.1 | Abgeschätzte Kosten der Maßnahmen mit Bezug zum Eintragspfad<br>kommunaler Kläranlagen .....                              | 224 |
| 6.4.2 | Abgeschätzte Kosten der Maßnahmen mit Bezug zum Eintragspfad<br>Kanalisationssystem .....                                 | 227 |
| 7     | Aggregation der Stoffeinträge auf der Ebene von Planungseinheiten .....   | 229 |
| 7.1   | Zuordnung der Analysegebiete zu Planungseinheiten .....   | 229 |
| 7.2   | Zuordnung der Stoffeinträge zu Planungseinheiten .....  | 230 |
| 7.2.1 | Ableitung von Übertragungsfaktoren je nach Eintragspfad.....  | 231 |
| 7.3   | Ergebnisse der Eintragsberechnungen auf der Ebene von Planungseinheiten.....  | 233 |
| 8     | Validierung der Ergebnisse anhand beobachteter Gewässerfrachten.....  | 234 |
| 8.1   | Präprozessing der Eingangsdaten .....   | 234 |
| 8.1.1 | Daten der Abflussmessstellen .....  | 234 |
| 8.1.2 | Daten der Gütemessstellen.....  | 235 |
| 8.2   | Berechnung der Gewässerfrachten .....   | 236 |
| 8.2.1 | Berechnungsansatz für die Gewässerfrachten.....   | 236 |

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 8.2.2   | Kriterien zur Auswahl der Gütemessstellen für die Validierung .....   | 237 |
| 9       | Literaturverzeichnis .....  | 240 |
| 10      | Anhang.....   | 251 |
| 10.1    | Ableitung der zeitlichen Gültigkeit kommunaler Kläranlagen.....   | 251 |
| 10.2    | Maßnahmensteckbriefe .....  | 252 |
| 10.2.1  | Maßnahmen im urbanen Bereich .....  | 252 |
| 10.2.2  | Maßnahmen im landwirtschaftlichen Bereich .....   | 264 |
| 10.3    | Übersicht der Gütemessstellen.....  | 268 |
| 10.4    | Gültige Gütemessstellen für die Validierung.....  | 275 |
| 10.4.1  | Messstellen für Stickstoff.....   | 275 |
| 10.4.2  | Messstellen für Phosphor.....   | 282 |
| 10.4.3  | Messstellen für Cadmium.....  | 291 |
| 10.4.4  | Messstellen für Chrom .....   | 296 |
| 10.4.5  | Messstellen für Kupfer .....  | 302 |
| 10.4.6  | Messstellen für Quecksilber.....  | 308 |
| 10.4.7  | Messstellen für Nickel .....  | 313 |
| 10.4.8  | Messstellen für Blei.....   | 319 |
| 10.4.9  | Messstellen für Zink .....  | 325 |
| 10.4.10 | Messstellen für PAK <sub>9</sub> .....  | 330 |
| 10.5    | Gütemessstellen deren Einzugsgebiet vollständig in Deutschland liegt .....  | 332 |
| 10.6    | Planungseinheiten.....  | 335 |
| 10.6.1  | Änderungen der ursprünglichen Zuweisung nach Land.....  | 335 |
| 10.6.2  | Übersicht der Planungseinheiten .....   | 336 |
| 10.6.3  | Übersicht der Teilflächen die nicht eindeutig einer Planungseinheit<br>zugeordnet werden können.....  | 343 |
| 10.6.4  | Manuelle Änderungen der Zuordnung der Einleitstellen der kommunalen<br>Kläranlagen $\geq 2.000$ EW in den Teilflächen nach Rückmeldung aus den<br>Ländern.....                    | 349 |
| 10.6.5  | Ergebnisse der Eintragsmodellierung für Nährstoffe, Schwermetalle und<br>PAK <sub>16</sub> als Mittelwert für den Zeitraum 2006-2011 auf der Ebene von<br>Planungseinheiten ..... | 350 |
| 10.7    | Wirkung von ausgewählten Maßnahmen auf die Verminderung des<br>Überschusses der Stickstoff-Flächenbilanz 2009-2011.....   | 359 |

## Abbildungsverzeichnis

|               |   |    |
|---------------|---|----|
| Abbildung 1:  | Architektur des MoRE-Systems.....   | 42 |
| Abbildung 2:  | Struktur der Modellierungsansätze in MoRE.....  | 45 |
| Abbildung 3:  | Sachdatentabelle <i>Modellierung &gt; räumliche Modelleinheiten &gt; Planungseinheiten</i> in MoRE.....   | 51 |
| Abbildung 4:  | Variantenmanager in MoRE zur Modellierung mit Varianten von Eingangsdaten.....  | 52 |
| Abbildung 5:  | Beispiel zu Varianten von Formeln.....  | 53 |
| Abbildung 6:  | Beispiel zu Varianten von Rechenwegen.....  | 53 |
| Abbildung 7:  | Maßnahmenmanager in MoRE zur Modellierung mit Maßnahmen(kombinationen).....   | 54 |
| Abbildung 8:  | Struktur des Moduls „Validierung“ .....   | 55 |
| Abbildung 9:  | Metadatentabelle der Gütemessstellen im MoRE Validierungsmodul am Beispiel einer Messstelle in Baden Württemberg .....  | 55 |
| Abbildung 10: | Stoffe im Modul Validierung und deren entsprechende Variablen aus dem Modul Modellierung .....  | 57 |
| Abbildung 11: | Absolute Flächen von Acker- und Grünland sowie relative Anteile im Mittel für Deutschland anhand der Datensätze CLC2006, Basis-DLM und StaBu (aus Fuchs et al. 2012)..... | 61 |
| Abbildung 12: | Vergleich der Stickstoff-Überschüsse auf Ebene der Kreise und nach der Übertragung auf die Analysegebiete im Jahr 2010 in Deutschland .....                               | 64 |
| Abbildung 13: | Ermittlung der maximal zulässigen Bestimmungsgrenze für Blei .....  | 67 |
| Abbildung 14: | Spezifische Phosphor-Einträge über kommunale Kläranlagen im Jahr 2010 in Deutschland.....   | 75 |
| Abbildung 15: | Änderung der Phosphor-Einträge über kommunale Kläranlagen von angepasster Variante zu Basisvariante im Jahr 2010 in Deutschland .....                                     | 75 |
| Abbildung 16: | Vorgehensweise zur Erzeugung von Daten zur Bevölkerungsverteilung für die Jahre 2006-2010.....  | 82 |
| Abbildung 17: | Datensatz zu Versiegelungsgraden (Darstellung für Deutschland für das Jahr 2009; EEA 2014) in Deutschland.....  | 84 |
| Abbildung 18: | Vergleich der innerörtlich versiegelten Gewerbeflächen aus zwei Datensätzen am Beispiel von Berlin .....  | 86 |
| Abbildung 19: | Vorgehensweise zur Übertragung der Anschlussverhältnisse auf die Analysegebiete .....   | 88 |

|               |   |     |
|---------------|---|-----|
| Abbildung 20: | Häufigkeitsverteilung von Kupfer-Konzentrationen im Niederschlagsabfluss von ländlichen und städtischen Räumen (Fuchs et al. 2012).....       | 92  |
| Abbildung 21: | Häufigkeitsverteilung von Zink-Konzentrationen im Niederschlagsabfluss von ländlichen und städtischen Räumen (Fuchs et al. 2012).....         | 93  |
| Abbildung 22: | Spezifische Stickstoff-Einträge über Kanalisationssysteme im Jahr 2010 in Deutschland.....  | 96  |
| Abbildung 23: | Änderung der Stickstoff-Einträge über Kanalisationssysteme von angepasster Variante zu Basisvariante im Jahr 2010 in Deutschland.....         | 96  |
| Abbildung 24: | Spezifische Phosphor-Einträge über Kanalisationssysteme im Jahr 2010 in Deutschland.....  | 97  |
| Abbildung 25: | Änderung der Phosphor-Einträge über Kanalisationssysteme von angepasster Variante zu Basisvariante im Jahr 2010 in Deutschland.....           | 97  |
| Abbildung 26: | Spezifische Chrom-Einträge über Kanalisationssysteme im Jahr 2010 in Deutschland.....   | 103 |
| Abbildung 27: | Änderung der Chrom-Einträge über Kanalisationssysteme von angepasster Variante zu Basisvariante im Jahr 2010 in Deutschland.....              | 103 |
| Abbildung 28: | Spezifische Zink-Einträge über Kanalisationssysteme im Jahr 2010 in Deutschland.....  | 104 |
| Abbildung 29: | Änderung der Zink-Einträge über Kanalisationssysteme von angepasster Variante zu Basisvariante im Jahr 2010 in Deutschland.....               | 104 |
| Abbildung 30: | Agglomerationsräume in MoRE nach Fuchs et al. (2012) (Abbildung modifiziert) in Deutschland.....  | 105 |
| Abbildung 31: | Spezifische PAK <sub>16</sub> -Einträge über Kanalisationssysteme im Jahr 2010 in Deutschland.....  | 106 |
| Abbildung 32: | Änderung der PAK <sub>16</sub> -Einträge über Kanalisationssysteme von angepasster Variante zu Basisvariante im Jahr 2010 in Deutschland..... | 106 |
| Abbildung 33: | Übersicht über Abweichungen der Bodenabträge bei Verwendung zweier verschiedener Höhenmodelle.....  | 109 |
| Abbildung 34: | Frequenz-Histogramm und eCDF-Diagramm am Beispiel der 25 m und 100 m Höhenmodelle im Einzugsgebiet des Inn.....                               | 109 |
| Abbildung 35: | Darstellung der S- und L-Faktoren der ABAG (blaue Kurve) mit durchschnittlichen Steigungswerten der verschiedenen Höhenmodelle.....           | 110 |
| Abbildung 36: | Vergleichsrechnung zum Bodenabtrag zwischen MoRE und STOFFBILANZ.....   | 112 |

|               |  |     |
|---------------|--|-----|
| Abbildung 37: | Vergleich der Faktoren der ABAG zwischen STOFFBILANZ und MoRE-Neuimplementierung .....   | 113 |
| Abbildung 38: | Vergleichsrechnung zum Sedimenteintragsverhältnis zwischen MoRE und STOFFBILANZ .....  | 114 |
| Abbildung 39: | Vergleichsrechnung zum Sedimenteintrag zwischen MoRE und STOFFBILANZ .....   | 115 |
| Abbildung 40: | Spezifische Chrom-Einträge über Erosion im Jahr 2010 in Deutschland .....  | 117 |
| Abbildung 41: | Änderung der Chrom-Einträge über Erosion von angepasster Variante zur Basisvariante im Jahr 2010 in Deutschland .....  | 117 |
| Abbildung 42: | Spezifische Blei-Einträge über Erosion im Jahr 2010 in Deutschland .....   | 118 |
| Abbildung 43: | Änderung der Blei-Einträge über Erosion von angepasster Variante zur Basisvariante im Jahr 2010 in Deutschland .....   | 118 |
| Abbildung 44: | Dränspende im Jahr 2010 in Deutschland.....  | 124 |
| Abbildung 45: | Änderung der Dränspende von angepasster Variante zu Basisvariante im Jahr 2010 in Deutschland .....  | 124 |
| Abbildung 46: | Spezifische Stickstoff-Einträge über Dränagen im Jahr 2010 in Deutschland .....  | 125 |
| Abbildung 47: | Änderung der Stickstoff-Einträge über Dränagen von angepasster Variante zu Basisvariante im Jahr 2010 in Deutschland.....  | 125 |
| Abbildung 48: | Spezifischer Stickstoff-Einträge über Grundwasser im Jahr 2010 in Deutschland .....  | 129 |
| Abbildung 49: | Änderung der Stickstoff-Einträge über Grundwasser von angepasster Variante zu Basisvariante im Jahr 2010 in Deutschland .....  | 129 |
| Abbildung 50: | Spezifisches Speichervolumen der Regenüberlaufbecken im Mischsystem in Deutschland.....  | 142 |
| Abbildung 51: | Einwohnerbezogene Investitionskosten für kommunale Kläranlagen zwischen 50 und 100.000 Einwohnerwerten (EW) in Abhängigkeit von der Ausbaugröße.....   | 155 |
| Abbildung 52: | Einwohnerwertbezogene Energiekosten in Abhängigkeit von der Ausbaugröße entsprechend des spezifischen Stromverbrauchs von kommunalen Kläranlagen nach (DWA 2012) und geschätzte einwohnerwertbezogene Gesamtbetriebskosten ..... | 157 |
| Abbildung 53: | Gesamtkosten pro Ausbaugröße in €/Einwohnerwert (hier E) für verschiedene Kläranlagentypen, Stand 2013. Quelle: Rapp-Fiegle et al. (2014) .....  | 158 |
| Abbildung 54: | Investitionskosten für Regenüberlaufbecken, abgeleitet von Halbach (2003/2010).....  | 171 |
| Abbildung 55: | Stickstoff-Einträge für Deutschland für die Einzeljahre im Zeitraum 2006-2011.....   | 181 |

|               |  |     |
|---------------|--|-----|
| Abbildung 56: | Phosphor-Einträge für Deutschland für die Einzeljahre im Zeitraum 2006-2011.....   | 182 |
| Abbildung 57: | Cadmium-Einträge für Deutschland für die Einzeljahre im Zeitraum 2006-2011.....  | 186 |
| Abbildung 58: | Chrom-Einträge für Deutschland für die Einzeljahre im Zeitraum 2006-2011.....  | 186 |
| Abbildung 59: | Kupfer-Einträge für Deutschland für die Einzeljahre im Zeitraum 2006-2011.....   | 187 |
| Abbildung 60: | Quecksilber-Einträge für Deutschland für die Einzeljahre im Zeitraum 2006-2011.....  | 187 |
| Abbildung 61: | Nickel-Einträge für Deutschland für die Einzeljahre im Zeitraum 2006-2011.....   | 188 |
| Abbildung 62: | Blei-Einträge für Deutschland für die Einzeljahre im Zeitraum 2006-2011.....   | 188 |
| Abbildung 63: | Zink-Einträge für Deutschland für die Einzeljahre im Zeitraum 2006-2011.....   | 189 |
| Abbildung 64: | PAK <sub>16</sub> -Einträge für Deutschland für die Einzeljahre im Zeitraum 2006-2011.....   | 190 |
| Abbildung 65: | Relative Bedeutung der Eintragspfade an den Stickstoff (N)- und Phosphor (P)-Gesamteinträgen im Mittel für den Zeitraum 2006-2011 (angepasste Variante)..... | 193 |
| Abbildung 66: | Relative Bedeutung der Eintragspfade an den Schwermetall-Gesamteinträgen im Mittel für den Zeitraum 2006-2011 (angepasste Variante).....                     | 194 |
| Abbildung 67: | Relative Bedeutung der Eintragspfade an den PAK <sub>16</sub> -Gesamteinträgen im Mittel für den Zeitraum 2006-2011 (angepasste Variante).....               | 194 |
| Abbildung 68: | Spezifische Stickstoff-Gesamteinträge im Jahr 2010 in Deutschland.....   | 196 |
| Abbildung 69: | Änderung der Stickstoff-Gesamteinträge von angepasster Variante zur Basisvariante im Jahr 2010 in Deutschland.....   | 196 |
| Abbildung 70: | Spezifische Phosphor-Gesamteinträge im Jahr 2010 in Deutschland.....   | 197 |
| Abbildung 71: | Änderung der Phosphor-Gesamteinträge von angepasster Variante zur Basisvariante im Jahr 2010 in Deutschland.....   | 197 |
| Abbildung 72: | Spezifische Chrom-Gesamteinträge im Jahr 2010 in Deutschland.....  | 198 |
| Abbildung 73: | Änderung der Chrom-Gesamteinträge von angepasster Variante zur Basisvariante im Jahr 2010 in Deutschland.....  | 198 |
| Abbildung 74: | Spezifische Zink- Gesamteinträge im Jahr 2010 in Deutschland.....  | 199 |

|               |   |     |
|---------------|---|-----|
| Abbildung 75: | Änderung der Zink-Gesamteinträge von angepasster Variante zur Basisvariante im Jahr 2010 in Deutschland .....   | 199 |
| Abbildung 76: | Spezifische PAK <sub>16</sub> -Gesamteinträge im Jahr 2010 in Deutschland .....   | 200 |
| Abbildung 77: | Änderung der PAK <sub>16</sub> - Gesamteinträge von angepasster Variante zur Basisvariante im Jahr 2010 in Deutschland .....  | 200 |
| Abbildung 78: | Vergleich modellierter und beobachteter Gewässerfrachten für die Einzeljahre im Zeitraum 2006-2011 für Nährstoffe .....   | 202 |
| Abbildung 79: | Gegenüberstellung der modellierten Einträge und der beobachteten Gewässerfrachten für die Einzeljahre im Zeitraum 2006-2011 für Schwermetalle (Fortsetzung auf nächster Seite) .  | 203 |
| Abbildung 80: | Reduktionspotenzial der modellierten Einträge durch die Maßnahmen „Erhöhung des Anschlussgrades der Bevölkerung an die bestehenden kommunalen Kläranlagen“ beim Eintragspfad Kanalisationssysteme und kommunale Kläranlagen für Phosphor und Stickstoff (Bilanzierungsjahr 2010)..... | 206 |
| Abbildung 81: | Regionale Bedeutung der Maßnahme „Erhöhung des Anschlussgrades der Bevölkerung an die bestehenden kommunalen Kläranlagen“ hinsichtlich Nährstoffeinträge über kommunale Kläranlagen.....  | 206 |
| Abbildung 82: | Reduktionspotenzial der modellierten Einträge mit der Maßnahme „Optimierung der Betriebsweise der kommunalen Kläranlagen“ für Phosphor und Stickstoff, Bilanzierungsjahr 2010 .....   | 207 |
| Abbildung 83: | Änderung der Stickstoffeinträge über Kläranlagen durch die Maßnahmenvarianten zur „Optimierung der Betriebsweise der kommunalen Kläranlagen“ gegenüber der Ausgangssituation.   | 208 |
| Abbildung 84: | Änderung der Phosphoreinträge über Kläranlagen durch die Maßnahmenvarianten zur „Optimierung der Betriebsweise der kommunalen Kläranlagen“ gegenüber der Ausgangssituation.   | 208 |
| Abbildung 85: | Reduktionspotenzial der modellierten Einträge durch Maßnahmen beim Eintragspfad Kanalisationssysteme für Chrom, Nickel und Blei (Bilanzierungsjahr 2010).....   | 210 |
| Abbildung 86: | Reduktionspotenzial der modellierten Einträge durch Maßnahmen beim Eintragspfad Kanalisationssysteme für Cadmium und Quecksilber (Bilanzierungsjahr 2010).....  | 210 |
| Abbildung 87: | Reduktionspotenzial der modellierten durch Maßnahmen beim Eintragspfad Kanalisationssysteme für Kupfer und Zink (Bilanzierungsjahr 2010) .....  | 211 |
| Abbildung 88: | Änderung der Chrom-Einträge durch Maßnahmen beim Eintragspfad Kanalisationssysteme gegenüber der Ausgangssituation.....   | 211 |

|                |   |     |
|----------------|---|-----|
| Abbildung 89:  | Änderung der Zink-Einträge durch Maßnahmen beim Eintragspfad Kanalisationssysteme gegenüber der Ausgangssituation.....                          | 212 |
| Abbildung 90:  | Änderung der Stickstoff-Gesamteinträge durch Maßnahmen mit Bezug zur Abwasserreinigung gegenüber der Ausgangssituation im 2010.....             | 214 |
| Abbildung 91:  | Änderung der Phosphor-Gesamteinträge durch Maßnahmen mit Bezug zur Abwasserreinigung gegenüber der Ausgangssituation im 2010.....               | 214 |
| Abbildung 92:  | Änderung der Quecksilber-Gesamteinträge durch Maßnahmen in Kanalisationssystemen gegenüber der Ausgangssituation im Jahr 2010 .....             | 217 |
| Abbildung 93:  | Änderung der Zink-Gesamteinträge durch Maßnahmen in Kanalisationssystemen gegenüber der Ausgangssituation im Jahr 2010 .....                    | 217 |
| Abbildung 94:  | Änderung der Stickstoff-Überschüsse durch Maßnahmen im landwirtschaftlichen Bereich gegenüber der Ausgangssituation auf Ebene der Kreise.....   | 218 |
| Abbildung 95:  | Stickstoff-Einträge über Dränagen für die Ausgangssituation und nach Umsetzung landwirtschaftlicher Maßnahmen im Jahr 2010 .....                | 221 |
| Abbildung 96:  | Änderung der Stickstoff-Einträge über Dränagen nach Umsetzung landwirtschaftlicher Maßnahmen gegenüber der Ausgangssituation im Jahr 2010 ..... | 222 |
| Abbildung 97:  | Änderung der Stickstoff-Gesamteinträge durch Maßnahmen im landwirtschaftlichen Bereich gegenüber der Ausgangssituation im Jahr 2010 .....       | 223 |
| Abbildung 98:  | Gütemessstellen zur Validierung .....   | 235 |
| Abbildung 99:  | Ableitung der Gültigkeit bzw. Eignung der Gütemessstellen zur Validierung der Gewässerfrachten .....  | 239 |
| Abbildung 100: | Vorgehensweise bei der Interpolation für die Jahre 2006, 2007, 2009 und 2011.....   | 251 |

## Tabellenverzeichnis

|             |  |
|-------------|--|
| Tabelle 1:  | Maximal zulässige Bestimmungsgrenzen (BG) für Schwermetalle im Kläranlagenablauf [ $\mu\text{g/L}$ ] .....68   |
| Tabelle 2:  | Mittlere Schwermetall-Konzentrationen für Länder ohne aktuelle Datenlieferung.....68   |
| Tabelle 3:  | Bundeslandesspezifische Schwermetallkonzentrationen im Ablauf kommunaler Kläranlagen für den Bilanzzeitraum 2006-2011.....70   |
| Tabelle 4:  | Mittlere $\text{PAK}_{16}$ -Konzentration im Kläranlagenablauf .....71   |
| Tabelle 5:  | Regeln für die Ableitung der zeitlichen Gültigkeit von kommunalen Kläranlagen für die Modellierung .....73   |
| Tabelle 6:  | Vergleich der Phosphor-Einträge über kommunale Kläranlagen im Jahr 2010 auf Ebene der Flussgebietseinheiten.....74   |
| Tabelle 7:  | Vergleich der Stickstoff-Einträge über kommunale Kläranlagen im Jahr 2010 auf Ebene der Flussgebietseinheiten .....76  |
| Tabelle 8:  | Vergleich der Zink-Einträge über kommunale Kläranlagen im Jahr 2010 auf Ebene der Flussgebietseinheiten.....77   |
| Tabelle 9:  | Übersicht der bisher verwendeten Grundlagen- und Eingangsdaten zur Modellierung der Einträge über Kanalisationssysteme (Basisvariante MoRE) .....79                                    |
| Tabelle 10: | Wasserverbrauch der Einwohner [ $\text{L}/(\text{Einwohner}\cdot\text{d})$ ] für die Jahre 2007 und 2010 für die Bundesländer und als Mittelwert für Deutschland (StaBu 2013b) .....83 |
| Tabelle 11: | Abschätzung zum prozentualen Anteil von Durchlaufbecken an Regenüberlaufbecken in Deutschland – bezogen auf das Volumen der Becken.....90  |
| Tabelle 12: | Städtische Räume (Agglomerationsräume) in Deutschland .....91  |
| Tabelle 13: | Regionalisierte Oberflächenpotenziale für Kupfer und Zink nach Fuchs et al. (2014a) .....93  |
| Tabelle 14: | Vergleich der Stickstoff-Einträge über Kanalisationssysteme im Jahr 2010 auf Ebene der Flussgebietseinheiten .....95   |
| Tabelle 15: | Vergleich der Phosphor-Einträge über Kanalisationssysteme im Jahr 2010 auf Ebene der Flussgebietseinheiten .....95   |
| Tabelle 16: | Vergleich der Schwermetall-Einträge über Kanalisationssysteme im Jahr 2010 .....98   |
| Tabelle 17: | Vergleich der Cadmium-Einträge über Kanalisationssysteme im Jahr 2010 auf Ebene der Flussgebietseinheiten .....99  |
| Tabelle 18: | Vergleich der Chrom-Einträge über Kanalisationssysteme im Jahr 2010 auf Ebene der Flussgebietseinheiten..... 100   |
| Tabelle 19: | Vergleich der Quecksilber-Einträge über Kanalisationssysteme im Jahr 2010 auf Ebene der Flussgebietseinheiten ..... 100  |

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| Tabelle 20: | Vergleich der Nickel-Einträge über Kanalisationssysteme im Jahr 2010 auf Ebene der Flussgebietseinheiten.....  | 101 |
| Tabelle 21: | Vergleich der Blei-Einträge über Kanalisationssysteme im Jahr 2010 auf Ebene der Flussgebietseinheiten.....  | 101 |
| Tabelle 22: | Vergleich der Kupfer-Einträge über Kanalisationssysteme im Jahr 2010 auf Ebene der Flussgebietseinheiten.....  | 102 |
| Tabelle 23: | Vergleich der Zink-Einträge über Kanalisationssysteme im Jahr 2010 auf Ebene der Flussgebietseinheiten.....  | 102 |
| Tabelle 24: | Vergleich der PAK <sub>16</sub> -Einträge über Kanalisationssysteme im Jahr 2010 auf Ebene der Flussgebietseinheiten.....  | 107 |
| Tabelle 25: | Ausgewählte Einzugsgebiete und ihre Charakteristika für die Vergleichsrechnung von MoRE und STOFFBILANZ zum Eintragspfad Erosion.....  | 111 |
| Tabelle 26: | Methodische Unterschiede bei der Berechnung der Faktoren der ABAG: „STOFFBILANZ“ vs. „MoRE-Neuimplementierung“ .....   | 112 |
| Tabelle 27: | Schwermetalleinträge über Erosion im Jahr 2010.....  | 116 |
| Tabelle 28: | Monatliche Faktoren zur Berechnung der Dränspende.....   | 120 |
| Tabelle 29: | Vergleich der Stickstoff-Einträge über Dränagen im Jahr 2010 auf Ebene der Flussgebietseinheiten .....   | 123 |
| Tabelle 30: | Vergleich der Phosphor-Einträge über Dränagen im Jahr 2010 auf Ebene der Flussgebietseinheiten .....   | 126 |
| Tabelle 31: | Vergleich der Zink-Einträge über Dränagen im Jahr 2010 auf Ebene der Flussgebietseinheiten .....   | 127 |
| Tabelle 32: | Vergleich der Stickstoff-Einträge über Grundwasser im Jahr 2010 auf Ebene der Flussgebietseinheiten .....  | 128 |
| Tabelle 33: | Kriterien zur inhaltlichen Analyse der Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenpläne .....  | 133 |
| Tabelle 34: | Maßnahmenliste Projekt “Maßnahmeneffizienz” .....  | 135 |
| Tabelle 35: | Priorisierung von Umsetzungsmaßnahmen mit Bezug zum Wasserkörper.....  | 136 |
| Tabelle 36: | Abgeleitete Zielkonzentrationen im Vergleich zu den Anforderungen nach Anhang 1 Abwasserverordnung (AbwV). 139   |     |
| Tabelle 37: | Größenklassen (GK) spezifischer Stromverbrauch kommunaler Kläranlagen nach DWA (2011).....   | 156 |
| Tabelle 38: | Kostenparameter und -daten für die Maßnahme Erhöhung des Anschlussgrades der Bevölkerung an die kommunalen Kläranlagen.....  | 162 |
| Tabelle 39: | Jahreskosten zur weitergehenden Nährstoffreduktion durch Optimierung der Betriebsweise der kommunalen Kläranlagen auf Basis von LUGV (2011) (zitiert in Mutz et al. (2013))..... | 165 |

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| Tabelle 40: | Kostendaten (Investitionskosten, laufende Kosten, Jahreskosten) für zusätzliche technische Maßnahmen auf der kommunalen Kläranlage nach Größenklasse (GK).....   | 166 |
| Tabelle 41: | Kostenparameter und -daten für die Maßnahme „Optimierung der Betriebsweise an den kommunalen Kläranlagen“ .....  | 168 |
| Tabelle 42: | Kostenparameter und -daten für die Maßnahmen mit Bezug zum Eintragspfad Kanalisationssystem .....  | 174 |
| Tabelle 43: | Kostendaten für die flächenbezogenen Maßnahmen mit Bezug zum Eintragspfad Kanalisationssystem am Beispiel Entsiegelung .....   | 177 |
| Tabelle 44: | Mittlere Nährstoff-Einträge der Jahre 2006-2011 und prozentualer Anteil der jeweiligen Eintragspfade am Gesamteintrag .....  | 180 |
| Tabelle 45: | Mittlere Schwermetall-Einträge im Zeitraum 2006-2011 und prozentualer Anteil der jeweiligen Eintragspfade am Gesamteintrag .....   | 185 |
| Tabelle 46: | Mittlere PAK <sub>16</sub> -Einträge für den Zeitraum 2006-2011 und prozentualer Anteil der jeweiligen Eintragspfade am Gesamteintrag .....  | 190 |
| Tabelle 47: | Vergleich der stoffspezifischen Gesamteinträge im Zeitraum 2006-2011 .....   | 193 |
| Tabelle 48: | Statistische Güteparameter für Nährstoffe.....   | 202 |
| Tabelle 49: | Modellierte Phosphor- und Stickstoff-Einträge für die Eintragspfade Kläranlage und Kanalisationssysteme bei Umsetzung der Maßnahme „Erhöhung des Anschlussgrades der Bevölkerung an die bestehenden kommunalen Kläranlagen“ .. | 205 |
| Tabelle 50: | Reduktionspotential der Maßnahmen mit Bezug zur Abwasserreinigung für Stickstoff und Phosphor bezogen auf das Jahr 2010 .....  | 213 |
| Tabelle 51: | Reduktionspotential der Maßnahmen in Kanalisationssystemen für Cadmium und Quecksilber im Jahr 2010 .....  | 216 |
| Tabelle 52: | Reduktionspotential der Maßnahmen in Kanalisationssystemen für Chrom, Nickel und Blei im Jahr 2010 .....   | 216 |
| Tabelle 53: | Reduktionspotential der Maßnahmen in Kanalisationssystemen für Kupfer und Zink im Jahr 2010 .....  | 216 |
| Tabelle 54: | Reduktionspotential der Maßnahmen im landwirtschaftlichen Bereich für Stickstoff im Jahr 2010 .....  | 223 |
| Tabelle 55: | Abgeschätzte mittlere Kosten der Maßnahme „Erhöhung des Anschlussgrades der Bevölkerung an die kommunalen Kläranlagen“ .....   | 224 |
| Tabelle 56: | Kostenabschätzung der Maßnahme „Optimierung der Betriebsweise an der kommunalen Kläranlage in Bezug auf Phosphor-Elimination“: günstige (Variante 1) und ungünstige Randbedingungen (Variante 2).....                          | 225 |

|             |   |     |
|-------------|---|-----|
| Tabelle 57: | Kostenabschätzung der Maßnahme „Optimierung der Betriebsweise an der kommunalen Kläranlage in Bezug auf Stickstoff-Elimination“: günstige (Variante 1) und ungünstige Randbedingungen (Variante 2)..... | 226 |
| Tabelle 58: | Kostenabschätzung der Maßnahme Neubau Speichervolumen mit Zielwert 23,3 m <sup>3</sup> /ha .....  | 227 |
| Tabelle 59: | Kostenabschätzung der Maßnahme Nachschaltung eines Retentionsbodenfilters bei einer Umsetzung bei 50 % des über das Speicherbecken eingeleiteten Volumens im urbanen Raum .....                         | 227 |
| Tabelle 60: | Kostenabschätzung der Maßnahme Entsiegelung für Gesamtdeutschland: günstige (Variante 1) und ungünstige Randbedingungen (Variante 2).....   | 228 |
| Tabelle 61: | Kriterien für die pfadabhängige Zuordnung der Modellierungsergebnisse der Analysegebiete zu den Planungseinheiten bei Überlappung eines Analysegebietes mit mehreren Planungseinheiten .....            | 230 |
| Tabelle 62: | CLC-Nutzungsklassen für Acker- und Grünlandflächen (EEA 2013a) .....  | 233 |

## Abkürzungen

|        |   |
|--------|---|
| A      | Abwasserteiche unbelüftet   |
| AB     | Abwasserteiche belüftet   |
| ABAG   | Allgemeine Bodenabtragsgleichung  |
| AbwV   | Abwasserverordnung  |
| AD     | Atmosphärische Deposition   |
| AU     | Analytical Unit (Analysegebiet)   |
| BA     | mittlerer, langjähriger Bodenabtrag   |
| BF     | Belebungsverfahren mit anaerober Schlammstabilisierung  |
| BfG    | Bundesanstalt für Gewässerkunde   |
| BfN    | Bundesamt für Naturschutz   |
| BG     | Bestimmungsgrenze   |
| BGR    | Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe   |
| BK     | Betriebskosten  |
| BKG    | Bundesamt für Kartographie und Geodäsie   |
| BL     | Bundesland  |
| B/L AK | Bund/Länder Arbeitskreis  |
| BMU    | Bundesministerium für Umwelt  |
| BMWi   | Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie  |
| BS     | Belebungsverfahren mit aerober Schlammstabilisierung  |
| BÜK    | Bodenübersichtskarte  |
| Cd     | Cadmium   |
| CLC    | Corine Land Cover   |
| CM     | Kostenmodul in MoRE zur ökonomischen Bewertung von Maßnahmen zur Reduktion von Stoffeinträgen |
| CORINE | Coordinated Information on the European Environment   |
| Cr     | Chrom   |
| Cu     | Kupfer  |
| DEHP   | Bis(2-ethylhexyl)phthalat   |
| DGM    | Digitales Geländemodell   |
| DIN    | Deutsche Industrienorm  |
| DWA    | Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall                                |
| DWD    | Deutscher Wetterdienst  |
| E      | Eintrag   |
| EEA    | European Environment Agency   |

|          |  |
|----------|--|
| EMEP     | Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-Range Transmission of Air Pollutants in Europe                        |
| EnR      | Enrichment Ratio (Anreicherungsfaktor)   |
| EPA      | Environmental Protection Agency, USA   |
| ER       | Erosion  |
| EU       | Europäische Union  |
| EUROSTAT | Statistical Office of the European Communities   |
| EW       | Einwohnerwerte   |
| FDZ      | Forschungsdatenzentrum der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder   |
| FGG      | Flussgebietsgemeinschaft   |
| GALF     | Gesellschaft für Angewandte Landschaftsforschung   |
| GIS      | Geoinformationssystem  |
| GK       | Größenklasse   |
| GW       | Grundwasser  |
| Hg       | Quecksilber  |
| IK       | Investitionskosten   |
| ISI      | Institut für System- und Innovationsforschung, Karlsruhe   |
| IWG-SWW  | Institut für Wassergüte und Gewässerentwicklung des Karlsruher Instituts für Technologie, Karlsruhe, Bereich Siedlungswasserwirtschaft |
| IKSE     | Internationale Kommission zum Schutz der Elbe  |
| kA       | keine Angaben  |
| KVR      | Kostenvergleichsrechnung   |
| KWR      | Kostenrichtwert  |
| LAWA     | Länderarbeitsgemeinschaft Wasser   |
| LF       | landwirtschaftliche Fläche   |
| lfm      | laufender Meter  |
| Mio      | Million  |
| MONERIS  | Modeling Nutrient Emissions into River Systems   |
| MoRE     | Modelling of Regionalized Emissions  |
| MP       | Maßnahmenprogramm  |
| MSRL     | Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie   |
| N        | Stickstoff   |
| Ni       | Nickel   |
| NHx      | reduzierte Stickstoffverbindungen  |
| NOx      | oxidierte Stickstoffverbindungen   |

|       |  |
|-------|--|
| OGewV | Oberflächengewässerverordnung                                  |
| P     | Phosphor   |
| PAK   | polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe                   |
| Pb    | Blei   |
| PE    | Planungseinheit  |
| PF    | Pflanzenkläranlagen  |
| PQ    | Punktquelle  |
| PRTR  | Schadstofffreisetzungs- und -verbringungsregister              |
| Q     | Abflussbilanz  |
| RBF   | Retentionsbodenfilter  |
| RKB   | Regenklärbecken  |
| RPA   | Regionalisierte Pfadanalyse                                    |
| RÜB   | Regenüberlaufbecken  |
| SBR   | Belebungsanlage mit Aufstaubetrieb                             |
| SR    | Oberflächenabfluss   |
| SDR   | Sediment Delivery Ratio (Sedimenteintragsverhältnis)           |
| SED   | Sedimenteintrag  |
| StaBu | Statistisches Bundesamt  |
| TD    | Dränagen   |
| Tech  | Übergeordnete Bezeichnung verschiedener möglicher Technologien |
| TK    | Tropfkörperanlagen   |
| TM    | Trockenmasse   |
| TN    | Gesamtstickstoff   |
| TP    | Gesamtphosphor   |
| TS    | Trockensubstanz  |
| UBA   | Umweltbundesamt  |
| UQN   | Umweltqualitätsnorm  |
| US    | Kanalisationssysteme   |
| VG    | Verwaltungsgrenzen   |
| WK    | Wasserkörper   |
| WRRL  | Wasserrahmenrichtlinie   |
| WWTP  | Kläranlage   |
| Zn    | Zink   |



## Zusammenfassung

Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenprogramme sind grundlegende Instrumente der Wasserrahmenrichtlinie zur nachhaltigen Bewirtschaftung von Flussgebieten. Um deren Aussagekraft zu erhöhen, ist bei der Erstellung der Pläne und Programme durch die Länder zwingend ein abgestimmtes Vorgehen notwendig. Dies betrifft sowohl die Aufnahme des Ist-Zustandes als auch die Ausweisung überregionaler Bewirtschaftungsziele.

Ähnlich der Wasserrahmenrichtlinie sollten nach Art. 5 der Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie bis zum Jahr 2012 eine Bestandsaufnahme fertig gestellt, der Umweltzustand der betreffenden Gewässer beschrieben und Umweltziele festgelegt sein. Weiterhin sind die EU-Mitgliedstaaten verpflichtet, bis zum Jahr 2015 kostenwirksame Maßnahmenprogramme zum Erreichen bzw. Aufrechterhalten eines guten Umweltzustands der Meere festzulegen. Dabei sind Kosten-Analysen ein wesentliches Element der Identifikation von Maßnahmenprogrammen.

In Bezug auf die Bestandsaufnahme ergab sich hieraus die Notwendigkeit, ein harmonisiertes Modellwerkzeug für die bundesweit einheitliche Modellierung von Stoffeinträgen in die Gewässer zu entwickeln. Dies betrifft sowohl die dafür verwendeten Daten als auch die Ansätze, anhand derer die Stoffeinträge modelliert werden. In Hinblick auf überregionale Bewirtschaftungsziele war die Identifikation strategischer, überregional wirksamer Maßnahmen ein wichtiger Meilenstein. Bei der Auswahl derselben sind neben der Wirksamkeit von Maßnahmen deren Kosten einzubeziehen.

Ziel dieses Vorhabens war es, durch Zusammenführung und Auswertung der Erfahrungen des ersten Bewirtschaftungszyklus ein harmonisiertes Vorgehen der Länder bei der Erstellung von Maßnahmenprogrammen für die zweiten Bewirtschaftungspläne zu unterstützen sowie wichtige Grundlagen für die Umsetzung der Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie zu schaffen. Dieses koordinierte Vorgehen ist eine Voraussetzung für einen möglichst effektiven Mitteleinsatz.

Für die bundesweite regionalisierte Modellierung von Stoffeinträgen in die Oberflächengewässer wird das nutzerfreundliche Modellsystem MoRE (Modelling of Regionalized Emissions) verwendet (Fuchs et al. 2012), welches basierend auf dem Modellkonzept MONERIS (MOdelling Nutrient Emissions into RIver Systems) (Behrendt et al. 1999) im Auftrag des UBA entwickelt wurde.

Für das Erreichen der Vorhabensziele sollte im Rahmen des Vorhabens das Modellwerkzeug MoRE für die bundesweite Modellierung vereinheitlicht und sowohl fachlich als auch technisch weiterentwickelt werden. Zudem wurde angestrebt, eine Harmonisierung hinsichtlich der Ausweisung überregionaler Bewirtschaftungsziele zu erlangen.

Zunächst wurden die Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenprogramme der Länder und Flussgebietseinheiten Deutschlands hinsichtlich der verwendeten Stoffeintragsmodelle und ausgewiesenen Maßnahmenlisten ausgewertet. Hierbei wurde eine Bewertung der vorhandenen Ansätze zur Eintragsmodellierung durchgeführt und Maßnahmen mit überregionaler Bedeutung in Abstimmung mit den Ländern ausgewiesen. Die identifizierten, modellverbessernden Ansätze und die überregional wichtigen Maßnahmen wurden in das bundeseinheitliche Modell integriert. Zur Bewertung der Kosteneffizienz wurde das resultierende Modell um eine ökonomische Bewertungskomponente erweitert.

Die Notwendigkeit zur technischen Weiterentwicklung des Modells ergab sich zum größten Teil aus der fachlichen Weiterentwicklung. So waren die Erweiterung um ein Dokumentationsmodul, die Implementierung von neuen räumlichen Modelleinheiten, die Variantenberechnung, die Maßnahmenberechnung und das Validierungsmodul zentrale Arbeitsschwerpunkte der technischen Weiterentwicklung.

Für die Gewährleistung höherer Transparenz in MoRE wurde ein Konzept zur Dokumentation von Grundlagendaten und Eingangsdaten in MoRE entwickelt und in einem Dokumentationsmodul umgesetzt.

Bezüglich der räumlichen Modellierungseinheiten wurden zusätzlich zu den bestehenden Analysegebieten zwei weitere Ebenen integriert: Punktquellen und Planungseinheiten. Die Verwaltung von Punktquellen wurde eingerichtet, um punktförmige Grundlagendaten als solche in MoRE vorzuhalten und damit zu modellieren. Vorteile dieser Umsetzung sind die höhere Transparenz und die differenziertere Abbildung der Auswirkungen gezielter Maßnahmen bei einzelnen Anlagen(typen). Dem Wunsch der Länder nachkommend wurden Planungseinheiten in MoRE hinterlegt. Zudem wurde ein Algorithmus entwickelt, wonach die Einträge, die in MoRE prinzipiell immer auf Ebene von Analysegebieten berechnet werden, auf Ebene von Planungseinheiten aggregiert werden können.

Weitere zentrale technische Neuerungen in MoRE waren die Umsetzung von Varianten- und Maßnahmenrechnungen. Variantenrechnungen können für Eingangsdaten als auch für Ansätze durchgeführt werden. Ein Variantenmanager wurde entwickelt, um die Auswirkung verschiedener Eingangsdatensätze auf die Eintragsmodellierung zu quantifizieren. So können in MoRE erstmals verschiedene Varianten von Eingangsdaten vorgehalten und damit Modellierungen durchgeführt werden. Zudem können die Stoffeinträge unter Verwendung verschiedener Varianten von Ansätzen modelliert werden. Zur Beurteilung der Wirksamkeit einzelner Reduktionsmaßnahmen auf die Stoffeinträge wurde der Maßnahmenmanager in MoRE entwickelt. Er enthält die in Zusammenarbeit mit den Ländern ausgewiesenen Maßnahmen.

Weiterhin wurden mit dem Modul „Validierung“ die technischen Voraussetzungen geschaffen, um punktförmige Messdaten aus Gewässern (Abfluss- und Gütedaten) in MoRE zu integrieren und daraus beobachtete Gewässerfrachten zu ermitteln. Durch diesen Schritt können nun erstmals in MoRE die modellierten Gewässerfrachten den beobachteten Gewässerfrachten gegenüber gestellt werden und so eine Aussage zur Güte der Modellierung gemacht werden.

Eine wesentliche fachliche Aufgabe des Vorhabens war die Verbesserung der im bundeseinheitlichen Modellinstrument MoRE verwendeten Eingangsdaten und Modellierungsansätze. Hierdurch wurde über höher aufgelöste räumliche und zeitliche Eingangsdaten und entsprechende Anpassung der Modellansätze eine Verbesserung der Modellergebnisse erzielt und somit deren Aussagefähigkeit gesteigert.

Zunächst wurden hierfür die von den Ländern und Flussgebietsgemeinschaften verwendeten Modellansätze und Eingangsdaten gesichtet. Bei der Übernahme in die bundeseinheitliche Modellierung mit dem Modellinstrument MoRE wurde bspw. geprüft, ob die Daten und Ansätze in der räumlichen Auflösung zu den in MoRE bereits vorhandenen passen oder ob die für einen Ansatz notwendigen Daten bundesweit in ähnlicher Qualität verfügbar sind. Außerdem wurden in Abhängigkeit von der Datenverfügbarkeit eigene Ansätze entwickelt und bei Datenlücken valide Eingangsdaten abgeleitet. Die gesichteten Daten und Ansätze werden im Folgenden erläutert.

Das *Eingangsdatum Landnutzung* bildet eine wichtige Grundlage der Stoffeintragsmodellierung. Daher wurden zwei verschiedene Landnutzungsdatensätze, Corine Landcover 2006 (CLC2006) von EEA (2013a) und Basis-DLM (BKG 2010a), miteinander verglichen und ausgewertet. Dabei wird zwar für den Datensatz Basis-DLM aufgrund der höheren räumlichen und zeitlichen Auflösung eine bessere Eignung konstatiert. Trotzdem wurde aus Gründen der Homogenität unter den verschiedenen Eintragungspfaden der Datensatz Corine Landcover 2006 beibehalten.

Für das *Eingangsdatum atmosphärische Depositionsrates* wurden die vorhandenen Eingangsdatensätze gesichtet und ihre Eignung für die Modellierung u.a. anhand ihres Aktualisierungsrhythmus diskutiert.

Das *Eingangsdatum Stickstoff-Überschüsse* wird bei den Eintragungspfaden „Dränagen“ und „Grundwasser“ verwendet. Die N-Überschüsse basieren auf statistischen Daten zu landwirtschaftlichen Nutzflächen und wurden auf Ebene der Kreise bzw. kreisfreier Städte im Präprozessing ermittelt. Für die Modellierung müssen sie von den genannten Verwaltungseinheiten auf die Analysegebiete übertragen werden. Da die statistischen Daten die Lage der Flächen innerhalb der Verwaltungseinheiten nicht enthalten, kann anhand dieser Daten keine Übertragung auf die Analysegebiete durchgeführt werden. So wurden die landwirtschaftlichen Nutzflächen aus dem Datensatz CLC2006 (EEA 2013a), welcher zudem auch für die Modellierung verwendet wird, für die Übertragung herangezogen. Aufgrund der Tatsache, dass die statistischen Daten ca. 20 % weniger landwirtschaftliche Nutzflächen ausweisen als CLC2006, resultiert aus dieser Übertragung ein niedrigerer flächenspezifischer N-Überschuss auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen in MoRE als in dem Ausgangsdatsatz auf Kreisebene. Der absolute N-Überschuss für Deutschland ändert sich dadurch jedoch nicht.

Bei dem *Eintragungspfad „kommunale Kläranlagen“* wurden die punktförmigen Eingangsdaten bislang im Präprozessing auf Ebene der Analysegebiete aggregiert. Eine differenzierte Betrachtung von einzelnen Anlagen bei der Modellierung war dadurch bislang nicht möglich, da die Modellierung in MoRE auf Ebene der Analysegebiete erfolgte. Mit der Einbindung der Punktquellen als räumliche Modellierungseinheit werden die vorliegenden lagegenauen Eingangsdaten aller Anlagen  $\geq 2.000$  Einwohnerwerte Nominalbelastung nun auch als solche in MoRE vorgehalten. Für die Einträge aus kleineren Anlagen, die nach wie vor auf Ebene von Gemeinden vorliegen, wurde die Übertragungsmethodik geändert, so dass die Übertragung der Daten von den Gemeinden auf die Analysegebiete nun anhand der Einwohnerzahlen durchgeführt wird. Weiterhin wurden anhand genauerer analytischer Bestimmungsgrenzen neue zuverlässigere Eingangsdaten zu Schadstoffkonzentrationen im Kläranlagenablauf ermittelt. In Bezug auf die Ansätze wurden in MoRE Anpassungen vorgenommen, so dass diese nun maßnahmenfähig sind. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sich bei den Einträgen über Kläranlagen für Deutschland die absolute Höhe kaum geändert hat. Dies spiegelt sich auch in der räumlichen Verteilung wider, sodass bei der Mehrheit der Analysegebiete kaum Änderungen zu verzeichnen sind. Das räumliche Verteilungsmuster hat sich nur in jenen wenigen Gebieten geändert, in denen Einträge aus Anlagen  $< 2.000$  Einwohnerwerte von Relevanz sind. Trotz der kaum veränderten Eintragungssituation waren die Anpassungen insbesondere in Bezug auf Modellierungen mit Maßnahmen alternativlos.

Bei dem *Eintragungspfad „Kanalisationssysteme“* wurden höher räumlich/zeitlich aufgelöste Eingangsdaten verwendet bzw. andere Ansätze zur deren Ableitung entwickelt. Eine Verbesserung der Auflösung bzw. Aktualisierung von allgemeinen Eingangsdaten erfolgte bei der Gesamteinwohnerzahl und dem Wasserbrauch der Einwohner sowie bei den versiegelten Flächen und Gewerbeflächen, die früher über empirische Ansätze abgeleitet wurden. Für die statistischen Daten zu Kanalisationssystemen wurde eine neue Aufbereitungsmethode für die

Übertragung auf Ebene der Analysegebiete entwickelt, sodass diese nun in Abhängigkeit von einer adäquaten Bezugsgröße erfolgt. In Bezug auf die stofflichen Eingangsdaten erfolgte eine räumliche Differenzierung der Stoffeinträge für ausgewählte Schwermetalle, indem die städtischen und ländlichen Gebiete in ihrem Verschmutzungspotential unterschieden wurden. Eine Anpassung der Modellierungsansätze erfolgte im Sinne der Integration der Wirksamkeit von Regenbecken (Regenüberlaufbecken und Regenklärbecken) in die Modellierung, sodass nun erstmalig die bestehenden Infrastrukturen mit ihrer Wirksamkeit auf Stoffeinträge abgebildet wurden. Auch hier wurden die Ansätze in MoRE so angepasst, dass sie maßnahmenfähig sind. Die resultierenden Ergebnisse haben unterschiedliche Auswirkungen auf die Einträge der einzelnen Stoffe. Hinsichtlich der Eingangsdaten kommt es so bspw. bei allen Stoffen zu tendenziell höheren Einträgen in die Kanalisation durch eine mittlere Zunahme der versiegelten Flächen sowie der versiegelten Gewerbeflächen. In Bezug auf die restlichen Eingangsdatensätze hat sich die mittlere Situation in Deutschland kaum verändert, durch räumlich höher aufgelöste Daten kam es jedoch lokal zu Verschiebungen. Die Integration eines Datensatzes zum Speichervolumen von Regenklärbecken sowie die Berücksichtigung einer Rückhaltewirkung bei Regenbecken (Regenüberlaufbecken und Regenklärbecken) wirkt sich im Allgemeinen in allen Gebieten mit entsprechenden Strukturen und auf alle partikulär gebundenen Stoffe eintragsmindernd aus. Die um 24 % gestiegenen Stickstoff-Einträge stellen ein Bild der geänderten Eingangsdaten dar, während bei den restlichen Stoffen neben dem Einfluss geänderter Eingangsdaten auch geänderte Ansätze zum Tragen kommen. Die Kupfer und Zink-Einträge sinken – trotz gesteigener versiegelten Flächen – aufgrund eines geringeren mittleren Oberflächenpotenzials und des Stoffrückhalts in Regenbecken um 27 bzw. 11 %. Die Einträge der restlichen Stoffe steigen um 19 bis 30 % an. In Hinblick auf die Gesamteinträge steigen diese – bei ansonsten unveränderter Situation – um max. 6 % (Blei) an. Die Kupfer- und Zink-Gesamteinträge sinken um 10 bzw. 5 %.

Bei dem *Eintragspfad „Erosion“* wurde eine Bodenabtragsberechnung mit einem besser aufgelösten digitalen Geländemodell durchgeführt und die daraus resultierenden Limitierungen diskutiert. Zudem wurden Vergleichsrechnungen mit dem Stoffeintragsmodell STOFFBILANZ durchgeführt und analysiert. Die Ergebnisse der beiden Analysen werden diskutiert. Des Weiteren wurden räumlich höher aufgelöste Eingangsdaten zu Schwermetallgehalten in Oberboden und Gestein aus einem Vorgängervorhaben (Fuchs et al. 2012) in die bundeseinheitliche Modellierung übernommen. Die resultierenden Schwermetall-Einträge über Erosion haben sich dadurch bei Cadmium und Quecksilber kaum verändert, bei Nickel sind sie merklich gestiegen. Bei den restlichen Schwermetallen wirkte sich die veränderte Datenbasis auf die Einträge über Erosion stark aus (Kupfer +19 %, Chrom +22 %, Zink +33 % und Blei +41 %). Trotz der teilweise sehr stark angestiegenen Einträge fallen – bei ansonsten unveränderter Situation – die Auswirkungen auf die Gesamteinträge jedoch bei den Schwermetallen, bei denen der Anteil der Erosion am Gesamteintrag mäßig hoch ist, naturgemäß niedrig aus (Kupfer, Nickel, Zink). Bei jenen Schwermetallen hingegen, deren Eintragsgeschehen von der Erosion dominiert wird, wirken sich die Anpassungen gravierend aus: bei Chrom steigen die Gesamteinträge um 14 %, bei Blei um 24 %.

Die Anpassungen der Ansätze bei der Modellierung von Einträgen über den *Eintragspfad „Dränagen“* basieren zum einen auf den Arbeiten von Hirt et al. (2011), zum anderen auf jenen von Kreins et al. (2010). So werden die bisher auf Jahresbasis berechneten Dränspenden nun als zeitlich höher aufgelöste monatliche Dränspenden ermittelt. Auch wurden speziell für Stickstoff Veränderungen vorgenommen, die in Abhängigkeit von der Art der landwirtschaftlichen Nutzfläche (Grün- oder Ackerfläche) Faktoren zur Berücksichtigung der Abbauprozesse im Boden einbeziehen. Diese waren bisher undifferenziert für alle landwirtschaftlichen Nutzflächen umgesetzt. Mit der zeitlich und landnutzungsspezifisch differenzierten

Berechnung der Dränspende und der auf den geänderten Stickstoff-Überschuss basierenden Stickstoff-Konzentration im Dränwasser wurde für Deutschland insgesamt ein um ca. 26 % niedrigerer Stickstoffeintrag über Dränagen berechnet. Bei den anderen Stoffen resultiert eine Zunahme der Einträge um ca. 1-2 %, die lediglich auf die Zunahme der Dränspende zurückzuführen ist. Zusätzlich zu Stickstoff wurde die Datenbasis zu PAK-Einträgen so angepasst, dass die Konzentration im Dränwasser nunmehr den Wert Null annimmt. Demnach sind über Dränagen keine PAK-Einträge mehr zu erwarten.

Hinsichtlich des *Eintragspfads „Grundwasser“* wurden Anpassungen in Bezug auf die Eingangsdaten für Stickstoff (Stickstoff-Überschuss) und PAK durchgeführt. Die Gesamtstickstoffeinträge reduzieren sich dadurch – bei ansonsten unveränderter Datenlage – um 7 % im Mittel für den Zeitraum 2006-2011. Zusätzlich zu Stickstoff wurde die Datenbasis zu PAK-Einträgen so angepasst, dass die Konzentration im Grundwasser nunmehr den Wert Null annimmt. Demnach sind über Grundwasser keine PAK-Einträge mehr zu erwarten.

Je nach betrachtetem Eintragspfad wird eine *Empfehlung für zukünftig zu nutzende bundeseinheitliche Eingangsdaten sowie Ansätze* für die Stoffeintragsmodellierung gegeben. Grundsätzlich wird empfohlen, immer den besten verfügbaren Datensatz zu nutzen, wobei auch darauf geachtet werden muss, dass das Modell in sich stimmig ist. Daraus folgend wurden im Rahmen des Vorhabens nicht immer die besten verfügbaren Datensätze verwendet, vielmehr wurden Datensätze verwendet, die zueinander passen, so dass eine konsistente Datengrundlage für die Eintragspfade erreicht wurde, die die Identifizierung räumlicher Belastungsschwerpunkte unterstützt.

Basierend auf den angepassten allgemeinen und stoffspezifischen Eingangsdaten und Ansätzen wurden die Gesamteinträge von Nährstoffen, Schwermetallen und Summenparameter PAK<sub>16</sub> mittels der regionalen Pfadanalyse für den Zeitraum 2006-2011 modelliert und ihre Herkunft nach Eintragspfaden ermittelt. Die *Ergebnisse der Eintragsberechnung* wurden für Deutschland auf Ebene von Analysegebieten erzeugt. Diese können über die Analysegebiets-Metadaten auf verschiedene Ebenen aggregiert werden: Subunits, Koordinierungsräume, Flussgebiete, Meeresgebiete sowie administrative Einheiten wie Staaten und Länder. Über eine neue im Rahmen des Vorhabens entwickelte Funktionalität sind die Einträge erstmals auch auf Ebene der Planungseinheiten verfügbar. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sich die Eintragungssituation hinsichtlich der Gesamteinträge insbesondere in den Analysegebieten geändert hat, in denen die Eintragspfade, deren Eingangsdaten und Ansätze angepasst wurden, relevant sind. So sind die Änderungen der Modellierungsgrundlage bspw. besonders in Analysegebieten gut sichtbar, die stark von Siedlungsgebieten geprägt sind und deren Eintragungsgeschehen somit stark durch Kanalisationssysteme dominiert ist. Andererseits, wenn ein Analysegebiet stark durch landwirtschaftliche Nutzflächen geprägt ist und sich zudem relevante Abflusskomponenten aufgrund der neuen Ansätze stark ändern, liegt es auf der Hand, dass sich die Gesamteinträge hier relevant verändern werden.

Zur *Modellvalidierung* wurden aus den erzeugten Ergebnissen Gewässerfrachten ermittelt und diese mit beobachteten Gewässerfrachten verglichen. Dank der Entwicklung des neuen Validierungsmoduls wurden die beobachteten Gewässerfrachten hierfür zum ersten Mal im MoRE-System berechnet. Die Gegenüberstellung von modellierten zu beobachteten Gewässerfrachten erfolgte nur für die Nährstoffe. Die Modelleffizienz ist für beide Stoffe mit über 0,9 sehr hoch. Aufgrund mangelnder Anpassungen bei der Retention konnten aus den modellierten Schwermetalleinträgen keine modellierte Gewässerfracht ermittelt werden. Deswegen wurden die modellierten Einträge den beobachteten Gewässerfrachten gegenübergestellt. Für  $\Sigma$  EPA-PAK<sub>16</sub> war ein Vergleich nicht möglich, da hierfür keine Monitoringdaten verfügbar waren.

Ausgehend von der Analyse der Maßnahmenprogramme wurden in Abstimmung mit den Ländern *strategisch überregional relevante Maßnahmen* identifiziert. Dabei wurden Maßnahmen ausgewählt, die mit den operablen Größen in MoRE abgebildet werden können. Zur Modellierung mit diesen Maßnahmen wurden die entsprechenden Ansätze maßnahmenfähig gemacht. Des Weiteren mussten aufgrund fehlender Daten Wirkungen zu den Maßnahmen recherchiert werden. Um die Maßnahmen zu dokumentieren, wurden Steckbriefe erstellt, die einerseits die fachlichen Inhalte der Maßnahmen erläutern, andererseits die Umsetzung in MoRE aufzeigen.

Zur Beurteilung der Wirksamkeit der ausgewählten überregionalen Maßnahmen wurden die Einträge unter Berücksichtigung ebendieser modelliert. Das Reduktionspotential der einzelnen Maßnahmen wurde beispielhaft für das Jahr 2010 ermittelt.

Hinsichtlich der Maßnahmen mit Bezug zu Nährstoffen ist festzustellen, dass die Maßnahme „Erhöhung des Anschlussgrades an bestehende Kläranlagen“ zwar in Bezug auf den Eintragspfad Kanalisationssysteme deutschlandweit ca. 10 % Reduktion bringt. Berücksichtigt man jedoch die zusätzlichen Einträge über Kläranlagen, die daraus entstehen und die Tatsache, dass die Kläranlagen hinsichtlich der Nährstoffeinträge relevanter als die Kanalisationssysteme sind, kommt es letztendlich trotz einer deutlichen Verringerung der Einträge über Kanalisationssysteme zu einer eher bescheidenen Verringerung der Einträge für die Summe aus den beiden Eintragspfaden (ca. 2 %). Nichtsdestotrotz kann die Maßnahme besonders in Thüringen und Sachsen von Relevanz sein.

Eine weitere Maßnahme zu Nährstoffeinträgen ist die Maßnahme „Optimierung der Betriebsweise der kommunalen Kläranlagen“. Hierbei wird angenommen, dass alle Kläranlagen einer Größenklasse als Zielwert im Jahresmittel mindestens die Ablaufkonzentration der besten 25 %, 50 % und 75 % (1. Quantil, Median, 3.Quantil) der Anlagen erreichen. Diese Maßnahme würde deutschlandweit eine deutliche Verminderung der Nährstoffeinträge über kommunale Kläranlagen zur Folge haben: um 10 %, 24 % bzw. 44 % für die Maßnahmenausprägung „3. Quartil“, „Median“ bzw. „1. Quartil“. In Bezug auf die Gesamteinträge ist besonders die Maßnahmenausprägung 1.Quartil von Relevanz: 7 % Reduktion für Stickstoff bzw. 12 % Reduktion für Phosphor sind hier möglich. Bezogen auf die räumliche Verteilung der Einträge wird für Stickstoff das größte Reduktionspotential im Rhein-Einzugsgebiet lokalisiert. Bei Phosphor handelt es sich neben dem Rhein auch um das Donau-Einzugsgebiet. Somit kann diese Maßnahme eindeutig als überregional wichtig angesehen werden.

Prinzipiell haben Maßnahmen mit Bezug zum Stickstoff-Überschuss neben dem Eintragspfad Dränagen natürlich auch eine bedeutende Wirkung auf den Eintragspfad Grundwasser. Aufgrund der Aufenthaltszeit des Grundwassers wirken sie sich jedoch teilweise in ferner Zukunft aus. Aus diesem Grund wurde die Auswirkung dieser Maßnahmen anhand des Eintragspfades Dränagen quantifiziert. Die Maßnahme „Optimierung N-Management“ ist mit einem Reduktionspotenzial von ca. 30 % dabei die effektivste. Sie bewirkt in fast allen Analysegebieten merkliche Reduktionen. Diese reichen von bis 5 % in einigen wenigen Gebieten in Ostbayern und Nordrhein-Westfalen bis zu 25 % in weiteren wenigen Gebieten Deutschlands. Im Großteil der Analysegebiete kommt es sogar zu Verminderungen von deutlich über 25 % (mit Spitzenwerten um ca. 40 %). Die Maßnahme „20 % ökologischer Landbau“ bewirkt in einem Großteil der Analysegebiete bereits eine Reduktion bis 25 %. Die Maßnahme „10 % ökologischer Landbau“ hingegen bewirkt in dem Großteil der Analysegebiete keine Reduktion, die über 5 % liegt. In Hinsicht auf die Stickstoff-Gesamteinträge erweist sich die Maßnahme „Optimierung des Stickstoff-Managements“ mit 3,5 % Reduktion als die wirkungsvollste. Der räumliche Schwerpunkt der Maßnahmenwirkung liegt im Nord-Osten

Deutschlands, wo auch der Anteil an dränierten Flächen deutlich höher ist als im restlichen Deutschland. Dort werden in vielen Gebieten Reduktionspotentiale über 10 % erreicht. Durch die Nähe dieser Gebiete an Nord- und Ostsee werden vor allem die Maßnahmen „20 % ökologischer Landbau“ und „Optimierung des Stickstoff-Managements“ im Hinblick auf den Meeresschutz als zielführend angesehen.

Die Maßnahmen mit Bezug zu Schwermetalleinträgen wurden aufgrund seiner hohen Relevanz im Eintragspfad Kanalisationssysteme exemplarisch für das Mischsystem implementiert. Die Maßnahme „Retentionsbodenfilter im Mischsystem“ zu einer Reduktion der Schwermetalleinträge um ca. 15 %. Die Reduktion über die Maßnahmen „Schräglklärer Regenüberlaufbecken“, Neubau „Regenüberlaufbecken“ und „Entsiegelung“ sind im Mittel nur halb so hoch. Die Reduktion in den einzelnen Analysegebieten deckt eine Spannbreite von 0 bis ca. 40 % ab. Zur Gesamtbeurteilung der Reduktion von Einträgen über Kanalisationssysteme muss berücksichtigt werden, dass eine hohe prozentuale Reduktion nicht gleichzeitig einhergehen muss mit einer absolut hohen Reduktion. Ist in einem Analysegebiet bspw. der Anteil des Mischsystems sehr hoch, so ist das Eintragsmuster durch Einträge aus dem Mischsystem stark geprägt. Entsprechend wirken sich Maßnahmen im Mischsystem prozentual gesehen stark aus. Trotz der hohen Wirksamkeit einzelner Maßnahmen wie „Retentionsbodenfilter im Mischsystem“ oder „Schräglklärer im Mischsystem“ fällt die Reduktion der Gesamteinträge über Kanalisationssysteme teilweise gering aus. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Maßnahmen nur im Mischsystem und dort nur bei Durchlaufbecken zur Anwendung kommen. Zudem wird bei der Maßnahme „Retentionsbodenfilter“ angenommen, dass nur die Hälfte des Mischwasserüberlaufs von Durchlaufbecken im Retentionsbodenfilter behandelt wird. Die Reduktion der Gesamteinträge beträgt für Kupfer und Zink im Mittel maximal 4 %, bei den anderen Schwermetallen fällt sie niedriger aus. Regional betrachtet, profitieren insbesondere die Agglomerationsräume, die zudem auch noch im Mischsystem entwässert werden, von der Maßnahmenwirkung. Die Wirkung der Maßnahme „Retentionsbodenfilter“ kann als überregional eingestuft werden. Alle anderen Maßnahmen sind in ihrer Wirksamkeit lokal begrenzt und eignen sich nicht als alleinige Maßnahme zur Reduktion der Gesamt-Schwermetalleinträge.

Für ausgewählte Maßnahmen zur Stoffeintragsreduktion wurde basierend auf Kostendaten aus der Literatur eine Kostenbetrachtung in MoRE umgesetzt. Für die großräumige Betrachtung werden hierbei mittlere Kostendaten verwendet. Die Kosten werden jeweils als Investitions-, Betriebs- und zusammenfassende Jahreskosten berechnet und sind direkt abhängig vom Umfang der modellierten Maßnahmenumsetzung, so dass eine vergleichende Betrachtung verschiedener Maßnahmen nachfolgend über eine spezifische Kostenwirksamkeit (bspw. Kosten pro eliminierte Fracht) erfolgen muss. Für die mit Bezug zum Eintragspfad Kanalisationssystem beispielhaft betrachteten Maßnahmen zeigt sich unter den angenommenen Randbedingungen, dass in Relation zu den jeweils ermittelten Rückhalteraten die Maßnahme „Neubau von Regenüberlaufbecken“ kosteneffektiver ist als die Maßnahmen „Reduktion der versiegelten Fläche“ und „Nachschaltung eines Retentionsbodenfilters“. Bei einer konkreten Maßnahmenpriorisierung sind jedoch weitere, differenziertere Zielsetzungen und lokale Faktoren (bspw. hydraulische Randbedingungen, Grenzwerteinhaltung, städtebauliche Aspekte) zu berücksichtigen. Für eine Maßnahmenauswahl insbesondere auf kleinräumiger Ebene (bspw. AU-Ebene) müssen Maßnahmenwirkung und -kosten grundsätzlich individuell betrachtet und in Abhängigkeit von den lokal vorherrschenden Randbedingungen diskutiert werden, die eine Umsetzung stark beeinflussen und somit zu deutlich abweichenden Kosten führen können. Die Ergebnisse aus MoRE bieten hier nur einen ersten Anhaltspunkt.

Mit dem Abschluss dieses Vorhabens liegt eine angepasste bundeseinheitliche Version des OpenSource-Stoffeintragsmodells MoRE vor, mit dem Stoffeinträge in die Gewässer und Reduktionspotentiale ausgewählter Maßnahmen quantifiziert werden können. Mit Hilfe der regionalisierten Pfadanalyse wurden so räumliche Belastungsschwerpunkte und die Herkunft nach Eintragspfaden für die unterschiedlichen Stoffgruppen in großen Flussgebieten identifiziert, sowie erste mögliche überregionale Maßnahmen abgebildet. Hieraus können Handlungspotentiale hinsichtlich Ort und Eintragspfad abgeleitet werden.

## Summary

Management plans and measure programs are the basic instruments of the European Water Framework Directive for the sustainable management of river basins. To increase their significance, a coordinated approach between the federal states of Germany is mandatory when creating and plans and programs. This includes the identification of both the current status and of supra-regional management goals.

Similar to the Water Framework Directive and following article 5 of the Marine Strategy Framework Directive, an inventory which describes the ecological state of the respective water bodies must be completed by 2012. Environmental management goals must be determined, as well. Furthermore, the EU member states are obligated to specify cost-effective measure programs for the achievement or maintenance of a good ecological state of the marine zones. Here, cost analyses are the principal components for the identification of measure programs.

Therefore, a harmonized modeling tool for the consistent nationwide modeling of the substance emissions into water bodies is needed for this inventory. This concerns the data used as well as the approaches, by which emissions are modeled. In regard of the supra-regional management goals, the identification of strategical, supra-nationally effective measures was an important milestone. Here, besides their effectivity, the costs of the measures must be considered.

The goal of the project was it to support a harmonized approach of the federal states by combining and evaluating the experiences of the first management cycle. This would help to create measure programs for the second management cycle and to develop basics for the implementation of the Marine Strategy Framework Directive. This coordinated approach is a precondition for an effective use of funds.

The user-friendly river basin mangement system MoRE (Modelling of Regionalized Emissions) (Fuchs et al. 2012) is used to perform nationwide regionalized modeling of substance emissions into surface waters. It is based on the modeling concept MONERIS (MOdelling Nutrient Emissions into RIVER Systems) (Behrendt et al. 1999), which was developed on behalf of the German Federal Environment Agency (UBA).

A harmonization of the modeling tool MoRE as well as its functional and technical improvements were necessary in order to reach the project goals. Additionally, a harmonization in regard of the identification of supra-regional management goals was pursued.

Firstly, the management plans and measure programs of the federal states and river basins were evaluated with regard to the used emission models and the identified measures. An assessment of the existing approaches for modeling was performed and the measures with supra-regional significance were identified in correspondence with the federal states. The identified, model-improving approaches and the measures of supra-regional importance were integrated into the national model. In order to evaluate the cost-effectiveness, the resulting model was extended by an economic evaluation tool.

The necessity of the technical improvement of the model was a result of its professional development. The main areas of the technical improvement were its expansion by the documentation module, the implementation of new spatial modeling units, the calculation with variants, the measure calculation and validation module.

In order to guarantee a higher transparency in MoRE, a concept for documenting primary data and input data was developed for MoRE and implemented in a documentation module.

Two additional levels of spatial modeling units were integrated besides to the existing analytical units: point sources and planning units. The administration of point sources was implemented to store and model with point-like primary data. The advantage of this approach is a higher transparency and the sophisticated reproduction of the effects of special measures for individual plants or types of plants. Planning units were implemented in order to comply with a request of the federal states. Additionally, an algorithm was developed that aggregates emissions, which are usually calculated for analytical units, on the level of planning units.

Another central innovation in MoRE was the implementation of a modelling with variants and measures. Variant calculations can be performed for input data sets as well as for approaches. A variant manager was developed in order to quantify effects of different input data sets on the emission modelling. Thus, for the first time, different variants of input data can be managed in MoRE and used for modeling. Additionally, emissions can be modeled using different approach variants. The measure manager in MoRE was developed to evaluate the effectiveness of individual emission reduction measures. The measures included were developed in cooperation with the federal states.

With the module “validation“, the technical setup needed for the integration of point-like measured values from water bodies (discharge and water quality measurements) in MoRE was created. Using these data, observed river loads can be calculated. For the first time, modeled river loads can be directly compared to observed river loads within MoRE. This way, the goodness of the model can be assessed.

A central technical task of the project was the improvement of the input data and modeling approaches in the nationwide and harmonized modeling system MoRE. By using input data of higher spatial and temporal resolution and by adapting the modeling approaches, the model results were improved and their significance was enhanced.

Firstly, the input data and modeling approaches used by the federal states were reviewed. When using them in the nationwide modeling system MoRE, it was checked if the data and approaches match the resolution of the data already existing in MoRE, or if the data needed for certain approaches is available in a similar quality for the entire country. In addition, own approaches were developed depending on the data availability and data gaps were filled with valid input data derived from other sources. The reviewed data and approaches are explained in the following.

The *input date land use* is an important basic of emission modeling. Hence, two different land use data sets were compared and evaluated: Corine Landcover 2006 (CLC2006) of the European Environment Agency (EEA) (2013a) and the German data set Basic-Digital Landscape Model (Basic-DLM) (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) 2010a). Even though the data set Basis-DLM is better suited due to its higher spatial and temporal resolution, the data set Corine-Landcover 2006 was used in order to maintain homogeneity between the different emission pathways.

For the input date atmospheric deposition rate, the available input data sets were reviewed and their suitability for the modeling was discussed, for instance along their update frequency.

The input data nitrogen surplus is used for the emission pathways “drainage” and “groundwater”. The nitrogen surplus is based on statistical data on agricultural areas and is determined during the preprocessing on the level of districts. For the modeling, the data needed to be transferred to the level of analytical units. However, the position of the agricultural areas within the districts is not specified in the data sets, so that the transfer of the data was not possible using this data set. Instead, agricultural areas from the data set Corine Landcover 2006 (European Environment Agency (EEA) 2013a), which is also used for the modeling, were used for this transfer. Due to the fact that the statistical data set features 20 % fewer agricultural areas than Corine Landcover 2006, a smaller area-specific nitrogen surplus is calculated here. The total nitrogen surplus of Germany however is not affected by this.

For the emission pathway “municipal wastewater treatment plants”, the point-like input data was aggregated during preprocessing on the level of analytical units. During modelling, a differentiated view on individual plants was therefore not possible. By implementing point sources as a spatial modeling unit, the input data of all plants with a treatment capacity  $\geq 2,000$  population equivalents are now stored in MoRE. For plants smaller than 2,000 population equivalents, whose data is available on the level of municipalities, the method of transfer of primary data onto analytical units was changed. It is now based on the number of inhabitants. Furthermore, lower analytical limits of quantification allow to determine more reliable pollutant concentrations in the effluents of wastewater treatment plants. Regarding the approaches, adaptations were made in MoRE that allow the consideration of measures. Overall, the modeled annual emissions from wastewater treatment plants in Germany have not changed significantly. This can be stated also for the most of the analytical units. The spatial distribution pattern has only changed in areas where plants smaller than 2,000 population equivalents are relevant regarding emissions from WWTP. Even though the emissions have not changed much, the adaptation was an essential step, especially in regard of the modeling of measure efficiency.

For the emission pathway “sewer systems” input data of higher spatial and temporal resolution was used resp. other approaches regarding their derivation were developed. An improved resolution and an update of general input data was achieved for the number of inhabitants, the water consumption per capita, as well as for impervious surfaces and commercial areas, which were derived by empirical approaches before. Statistical data of sewer systems is now preprocessed by a newly developed method. The transfer on the level of analytical units is now dependent of an adequate reference parameter. In regard of substance related input data, a spatial differentiation of the emissions was performed for certain heavy metals by assigning urban and rural areas different pollution loads. Besides the modification of input data, also modeling approaches were adapted. E.g. the effectivity of rainwater tanks (rainwater overflow or sedimentation tanks) was integrated in the modeling approaches. This way, existing infrastructure and their effects on emissions can be included for the first time in the modeling. Besides, the approaches were adjusted in order to allow the consideration of measures. The adapted input data and approaches result in different substance dependent effects. In regard of the input data, all substances show greater emissions into the sewer systems because of the increase of impervious surfaces and commercial areas. The remaining input data sets did not change the average situation for Germany; however, there were local shifts because of the higher resolution of the data. Emission reductions for all particle-bound substances occur in all areas that feature rainwater tanks, since data on storage volume and retention effect were included in the new modeling approaches. While the 24 % increase of nitrogen emissions can be traced back

only to the changed input data, for all other substances the new approaches also play a role. For instance, the Cu and Zn emissions are 27 and 11 % lower, respectively, even though the impervious areas are greater than before. This is due to the lower mean surface load and the substance retention in rainwater tanks. The emissions of other substances increased by 19 to 30 %. In regard to the total emissions and with an otherwise unchanged situation, they rose by up to 6 % (lead). For copper and zinc, the decrease in sewer system emissions given above corresponds to 10 and 5 % decrease in total emissions, respectively.

For the emission pathway “erosion”, a soil loss was calculated using a digital terrain model with a higher resolution than before. The limitations resulting from this approach are discussed. In addition, comparative calculations were made using the emission model STOFFBILANZ. The results of both models are discussed, too. Furthermore, heavy metal input data for topsoil and bedrock with a higher spatial resolution was transferred from an earlier project (Fuchs et al. 2012) into the nationwide model. The resulting heavy metal emissions via erosion did not change significantly by this for cadmium and mercury, but increased distinctly for nickel. For the rest of the heavy metals, the updated data base strongly increased the emissions via erosion (copper +19 %, chrome +22 %, zinc +33 % and lead +41 %). In spite of these significant increases, the influence on total emissions is only large for substances, where erosion is the dominant emission pathway (chrome +14 %, lead +24 %). For heavy metals where erosion only has a moderate share of the total emissions (copper, nickel, zinc), the increase is rather low.

The adaptations in the modeling of emissions via the pathway “tile drainage” is based on the one hand on the work of Hirt et al. (2011), on the other hand on the works of Kreins et al. (2010). The annual tile drainage inputs are now calculated on the basis on monthly values. For nitrogen, special adaptations were made which include degradation processes within the soil depending on the type of use (pasture or arable land). Until now, this differentiation was not made. With the temporal and land use specific calculations of tile drainage runoff and drainage water concentrations, which are based on the updated nitrogen surpluses, a decrease of 26 % in nitrogen emissions via drainage was calculated for Germany. For the other substances, the increases of emissions are about 1-2 %, which are solely based on the increase of tile drainage runoff. In addition to adaptations on nitrogen emissions, PAH concentrations in drainage water, and therefore the PAH emissions via this pathway, were set to zero.

For the emission pathway “groundwater”, adaptations were made related to input data for nitrogen (nitrogen surplus) and PAH. Total nitrogen emissions are reduced by 7 % in the period 2006-2011, when all other pathways are unaltered. Additionally, PAH concentrations in groundwater were set to zero, therefore, no PAH emissions are to be expected via this pathway.

For each emission pathway, a recommendation for future national input data and approaches for emission modeling is given. It is generally recommended to use the best available data set that is also consistent within the model. Thus, in this project, the data sets used in some cases do not represent the best available data, but the data sets that are most compatible to one another. This way, a consistent data base can be created for the individual emission pathways, which supports the identification of spatial pollution hotspots.

Based on the adapted general and substance-specific input data and approaches, the total and pathway specific emissions of nutrients, heavy metals and  $\Sigma$  EPA-PAH<sub>16</sub> were modeled using the regional pathway analysis for the period of 2006–2011. The results of the

emission calculation were generated for Germany on the level of analytical units. They can be aggregated via the metadata of the analytical units on different levels: subunits, coordination areas, river basins, marine areas or administrative units like states and countries. With the use of the newly developed functionality, emissions can also be aggregated on the level of planning units for the first time. In summary it can be stated that the emission situation in regard of the total emissions has changed especially in those analytical units, where the adapted emission pathways are relevant. The changes in the modeling basics are for instance especially visible in those analytical units, which are characterized by settlements and therefore the emission pattern is dominated by sewer systems. On the other hand, if an analytical unit is characterized by agricultural areas and at the same time relevant runoff components change due to the new approaches, the total emissions here will change significantly, as well.

For the model validation, modeled river loads have been derived from the generated results and were compared to observed loads. Thanks to the development of the validation module, the observed river loads were for the first time calculated within the MoRE system. The comparison of modeled to observed loads was performed only for nutrients. The model efficiency is high for both substances (higher 0.9). Since there no adaptations for retention have been done, it was not possible to model actual heavy metal river loads from modeled heavy metal emissions. Therefore, emissions were compared to observed river loads. For  $\Sigma$  EPA-PAK<sub>16</sub>, no comparison was made due to the lack of monitoring data.

Based on the analysis of the measure programs strategical supra-regionally relevant measures were identified in coordination with the federal states. Measures were selected which represent the operable parameters of MoRE. The emission quantification approaches were adjusted to be able to include measures into the modeling. Furthermore, the effects of measures had to be researched. To document the measures, measure profiles were created which explain the technical content of the measures and their way of implementation in MoRE.

In order to assess the effectivity of these selected supra-regional measures, the emissions with applying these measures were calculated and their reduction potential was investigated for year 2010.

A 10 % reduction of nutrient emissions for the emission pathway sewer systems was modeled for the measure „increase of the connection rate to existing wastewater treatment plants“. However, the emissions from wastewater treatment plants increase accordingly, leading to an overall reduction of only 2 %. Nevertheless, the measure is relevant in the federal states Saxony and Thuringia.

Another reduction measure for nutrient emissions is the measure „optimization of the operation of municipal wastewater treatment plants“. It is assumed here that all treatment plants of a size class will reach a mean annual effluent concentration of the best 25 %, 50 % and 75 % (1st quantile, median, 3rd quantile) of the plants. This measure would have a significant reduction effect of nutrient emissions via wastewater treatment plants: 10 %, 24 % and 44 % for the measures “3<sup>rd</sup> quantile”, “median” and “1<sup>st</sup> quantile”, respectively. When considering total emissions, the measure “1<sup>st</sup> quantile” is most relevant as it would reduce total nitrogen emissions by 7 % and total phosphorous emissions by 12 %. The largest reduction potential for nitrogen is estimated for the Rhine catchment, for phosphorous both Rhine and Danube catchments show great reduction potentials. Therefore, the measure has an explicit supra-regional importance.

In general, measures regarding nitrogen-surplus have a distinct effect not only on the emission pathway tile drainage but also on the emission pathway groundwater. Because of the residence time of groundwater, they take effect only in the distant future. For this reason, the effects of this measure are quantified only for the emission pathway “tile drainage”. The measure “optimization of N-management” is the most effective with a reduction potential of 30 %. It features a distinct reduction in most analytical units. Reduction ranges from 5 % in some areas in eastern Bavaria and North Rhine Westphalia to 25 % in other few areas of Germany. In most parts of Germany, the reduction is even greater than 25 % (with peak values around 40%). The measure “20 % ecological agriculture” leads to a reduction of up to 25 % in most analytical units. Compared to that, the measure “10 % ecological agriculture” does not lead to reductions over 5 % in most analytical units. In regard of the total nitrogen emissions, the measure “optimization of nitrogen-management” is the most effective with a 3.5 % reduction. The spatial focus of the measure effect is in the north-east of Germany, where the fraction of tile drained areas is significantly higher than in the rest of the country. Here, in many areas reduction potentials of more than 10 % are reached. Because of the proximity of the Baltic Sea and the North Sea, the measures “20 ecological agriculture” and “optimization of the nitrogen-management” are considered expedient with regard to marine protection.

Because of their high relevance, the measures with regard to heavy metal emissions were implemented exemplarily for the combined sewer system as part of the emission pathway sewer systems. The measure “retention soil filters in combined sewer systems” reduced heavy metal emissions by approximately 15 %. The reductions with the measures “lamella settlers in rainwater overflow tanks”, “new rainwater overflow tanks” and “unsealing of impervious surfaces” are, on average, only half as effective. The reduction in the individual analytical units covers a range of 0 to 40 %. For an overall assessment of emissions via sewer systems it must be considered that a high percentage in reduction does not mean that total emission reduction are also high. If in an analytical unit the share of combined sewer systems is large, the emission pattern is characterized by emissions from the combined sewer system. Consequently, measures in the combined sewer system have a great effect. Even though the measures “lamella separators in rainwater overflow reservoirs” and “retention soil filters in combined sewer systems” are highly effective, the total emission reduction for sewer systems is in some parts rather small. This is due to the fact that these measures are only effective for through-flow tanks. In addition it is assumed that the measure “retention soil filters” treats only half of the combined sewers overflow volume from through-flow tanks. The reduction of total emissions for Cu and Zn has a maximum of 4%, for other heavy metals it is even lower. On a regional scale, especially the agglomeration areas benefit from the measure effects, in particular those drained by combined sewer systems. The effects of the measure “retention soil filters” can be evaluated as supra-regional. All other measures are locally restricted in their effectiveness and are not suited as an individual measure for the reduction of total heavy metal emissions.

For selected measures a cost evaluation was done in MoRE based on cost data from a literature review. For a large-scale assessment, mean costs were used. The costs are calculated as investment costs, operational costs and total annual costs, respectively and are directly dependent on the extent of the modeled measure implementation. Therefore, a comparative view on individual measures has to be performed afterwards by estimating the specific cost-effectiveness (e.g. costs per reduced unit of river load). For the emission pathway sewer systems, the measure “new rainwater overflow tanks” was more effective than the measure “unsealing of impervious surfaces” and “implementation of a retention soil filter” in relation to the estimated retention rates and with respect to the given

boundary conditions. A prioritisation of measures however requires further, more differentiated goals and local parameters (e.g. hydrological boundary conditions, compliance with limits, aspects of urban infrastructure) have to be accounted for. For the measure selection on a smaller scale (e.g. on the scale of analytical units), measure effects and costs should be regarded case-specifically and must be discussed with respect to the local boundary conditions which influence the implementation and may lead to significantly deviating costs. The results from MoRE can be regarded as a first indicator.

With the completion of this project, an adapted national version of the open source river basin management system MoRE is available. With this system, emissions into water bodies and reduction potentials of selected measures can be quantified. With the help of a regionalized pathway analysis, spatial pollution hotspots and the pathway specific origin were identified for the individual groups of substances and first supra-regional measures. From this, discretions to act can be derived with respect to location and emission pathway.

# 1 Einführung

Der Gewässerschutz ist nach wie vor ein wichtiges Thema im Umweltbereich. Mit der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) (2000/60/EG) wurde ein Ordnungsrahmen geschaffen für die „...Vermeidung einer weiteren Verschlechterung sowie Schutz und Verbesserung des Zustands der aquatischen Ökosysteme und der direkt von ihnen abhängenden Landökosysteme ...“ (Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union 2000). Ziel der WRRL ist, für die Oberflächengewässer bis 2015 einen „guten ökologischen und guten chemischen Zustand“ zu erreichen. Zur Einschätzung der Zielerreichung ist eine Bestandsaufnahme durchzuführen. Ein Teil dieser Einschätzung betrifft die Beschreibung der aktuellen stoffspezifischen Eintragungssituation. Besonderes Augenmerk liegt dabei sowohl auf den Nährstoffen als auch auf den prioritären Stoffen nach der EU-Richtlinie über Umweltqualitätsnormen (2008/105/EG) (Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union 2008a). Die Ergebnisse der Bestandsaufnahme gehen in die Bewirtschaftungspläne (BWP) ein. Danach werden der ökologische und der chemische Zustand anhand der biologischen Qualitätskomponenten bzw. der Umweltqualitätsnormen bewertet. Ist der „gute Zustand“ nicht erreicht, sind die Ursachen zu ermitteln und Maßnahmen zu planen und durchzuführen. Dabei ist ein länderübergreifendes Vorgehen notwendig. Die Maßnahmen werden in den Maßnahmenprogrammen (MP) zusammengefasst. Die BWP und MP sind damit grundlegende Instrumente der WRRL zur nachhaltigen Bewirtschaftung von Flussgebieten.

Erste BWP und MP waren für den ersten Bewirtschaftungszyklus bis 2009 zu erstellen und werden bis Ende 2015 fortgeschrieben. Die flussgebietsweise Betrachtungsebene bei der Erstellung der BWP und MP macht ein abgestimmtes und harmonisiertes Vorgehen der Länder zwingend notwendig. Dies betrifft sowohl die Aufnahme des Ist-Zustandes, die Bestandsaufnahme, als auch die Ausweisung überregionaler Bewirtschaftungsziele und Maßnahmen. Aus diesen Anforderungen ergibt sich die Notwendigkeit geeignete Werkzeuge zu verwenden. Mit Blick auf den chemischen Zustand sollen diese idealerweise sowohl die notwendigen Informationen für die Bestandsaufnahme (insbesondere Abschätzung der Eintragungssituation) als auch mit Blick auf die Zielerreichung die Auswirkungen von Maßnahmen abbilden können.

Ähnlich der WRRL regelt die Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (MSRL) das Erreichen festgesetzter Umweltziele in einem strengen Zeitplan (Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union 2008b). So sollten nach Art. 5 der Richtlinie bis zum Jahr 2012 die Bestandsaufnahme fertig gestellt, ein guter Umweltzustand der betreffenden Gewässer beschrieben und Umweltziele festgelegt sein.

Es gibt derzeit eine Vielzahl von unterschiedlichen Modellen, die von den Ländern und Flussgebietsgemeinschaften (FGG) verwendet werden. Daraus ergibt sich für die überregionale Betrachtung die Notwendigkeit nach einem bundesweit einheitlichen harmonisierten Werkzeug für die Modellierung von Stoffeinträgen in die Gewässer.

Neben der Verwendung eines geeigneten Modellwerkzeugs ist im Hinblick auf die Umsetzung überregionaler Bewirtschaftungsziele die Identifikation strategischer, überregional wirksamer Maßnahmen ein wichtiger Meilenstein. Bei der Auswahl der Maßnahmen sind deren Wirksamkeit und die Kosten einzubeziehen.

So fordert die WRRL die Einbeziehung ökonomischer Instrumente zur Umsetzung umweltpolitischer Zielsetzungen (Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union 2000). Art. 9 der WRRL fordert die Einführung des Kostendeckungs- und Verursacherprinzips für Wasserdienstleistungen. Bei der Auswahl der effektivsten Maßnahmenkombinationen zur

Erreichung der Umweltziele sind nach Art. 11 somit externe Umwelt- und Ressourcenkosten zu berücksichtigen. Preisinstrumente sollen Anreize zu einer effizienten Wassernutzung schaffen (Art. 9). Ausnahmen von der Pflicht, einen guten ökologischen Zustand bis 2015 zu erreichen, müssen u.a. ökonomisch begründet werden (Art. 4). Die wirtschaftliche Analyse der Wassernutzungen nach Art. 5 und Anhang III WRRL und die anschließende Auswahl der kosteneffizientesten Maßnahmen sind bereits Teil der ersten Maßnahmenpläne für die Flussgebiete, die bis 2009 vorliegen mussten. Auch die MSRL fordert von den EU-Mitgliedstaaten, bis zum Jahr 2015 kostenwirksame Maßnahmenprogramme zum Erreichen bzw. Aufrechterhalten eines guten Umweltzustands der Meere festzulegen. Dabei sind Kosten-Nutzen-Analysen ein wesentliches Element der Identifikation von Maßnahmenprogrammen. Die zuständigen Stellen sind dazu angehalten, Strategien ggf. auf gemeinschaftlicher Ebene zu erarbeiten und Maßnahmen in gegenseitiger Absprache durchzuführen (Art. 5 und 13)

Ähnlich wie bei den Stoffeintragsmodellen sind jedoch auch die kosteneffizienten Maßnahmenprogramme der einzelnen Länder sehr heterogen. Um Maßnahmen zu identifizieren, die über die regionale Ebene hinaus wirksam sind, ist ein koordiniertes Vorgehen der Länder unabdingbar.

Im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA) wurde für die bundesweite Stoffeintragsmodellierung das Modellwerkzeug MoRE (Modeling of Regionalized Emissions) in einem Vorgängervorhaben (Fuchs et al. 2012) entwickelt. Zur Berücksichtigung von Maßnahmen bei der Eintragsmodellierung musste dieses jedoch weiterentwickelt werden.

Ein Ziel des Vorhabens war es, durch Zusammenführung und Auswertung der Erfahrungen des ersten Bewirtschaftungszyklus ein harmonisiertes Vorgehen der Länder bei der Erstellung von MP für die zweiten BWP zu unterstützen sowie wichtige Grundlagen für die Umsetzung der MSRL zu schaffen. Dieses koordinierte Vorgehen ist eine Voraussetzung für einen möglichst effektiven Mitteleinsatz.

Hierfür sollte im Rahmen des Vorhabens das Modellwerkzeug MoRE für die bundesweite Modellierung vereinheitlicht und weiter entwickelt werden. Zudem wurde angestrebt, eine Harmonisierung hinsichtlich der Ausweisung überregionaler Bewirtschaftungsziele zu erlangen.

Zur Erreichung dieses Zieles wurden im Rahmen des Vorhabens die BWP der Länder und FGGen Deutschlands hinsichtlich der verwendeten Stoffeintragsmodelle ausgewertet. Zudem wurde ein Austausch über die besten Eingangsdaten, deren Verfügbarkeit sowie Ansätze zu ausgewählten Eintragspfaden auf thematischen Expertenworkshops organisiert. Somit konnte der neueste Stand der diversen Modellentwicklungen erfasst und deren Eignung für die deutschlandweite Verwendung eingeordnet werden. Dadurch wurde die Basis für die Harmonisierung der Stoffeintragsberechnung - ein bundeseinheitliches Stoffeintragsmodell - geschaffen. Dieses verwendet die bestverfügbaren Eingangsdaten und abgestimmte Modellierungsansätze. Die Ergebnisse dieser Weiterentwicklung und Empfehlungen zur weiteren Vorgehensweise in der bundeseinheitlichen Modellierung sind in Abschnitt 3 beschrieben. Die Ergebnisse der Modellierung mit angepassten Ansätzen und Eingangsdaten sind in Abschnitt 6.1 dargestellt und erläutert.

Für die Identifikation strategischer und überregional wirksamer Maßnahmen wurden die MP der Länder und FGGen analysiert. Es wurde eine entsprechende Maßnahmenliste erstellt. Von diesen Maßnahmen wurden ausgewählte Maßnahmen in dem Modellinstrument MoRE abgebildet. Diese sind in Abschnitt 4 erläutert.

Für ausgewählte Maßnahmen wurde entsprechend der Anforderungen von WRRL und MSRL eine Kostenschätzung vorgenommen (Abschnitt 5), sodass zum ersten Mal für Gesamt-

Deutschland die Auswirkung von ausgewählten Maßnahmenkombinationen modelliert und deren ökonomische Bewertung gekoppelt vorgenommen wurde. Die Ergebnisse der Maßnahmen- und Kostenmodellierung sind den Abschnitten 6.3 bzw. 6.4 zu entnehmen.

Zur Validierung der modellierten Stoffeinträge werden daraus Gewässerfrachten abgeleitet. Diese werden dann beobachteten Gewässerfrachten gegenübergestellt. Zur Ermittlung der beobachteten Gewässerfrachten wurde ein Validierungsmodul entwickelt, welches nun neben Stammdaten zu Abfluss- und Gütemessstellen die im Gewässer beobachteten Werte als Abflüsse (tägliche) und Konzentrationen enthält. Daraus können im Gewässer beobachtete Frachten ermittelt werden. Weiteres s. Abschnitt 8.

Dem Wunsch der Länder nachkommend wurden die Planungseinheiten (PE) als räumliche Ebene in MoRE hinterlegt. Zudem wurde ein Algorithmus entwickelt, wonach die Einträge, die in MoRE prinzipiell immer auf Ebene von Analysegebieten (AU) berechnet werden, auf Ebene von PE aggregiert werden können (Abschnitt 7).

Zur Erreichung der Vorhabensziele war es notwendig, MoRE technisch weiterzuentwickeln. Die wichtigsten technischen Weiterentwicklungen in MoRE, sind die Umsetzung einer Datenhaltung für Varianten von Eingangsdaten und deren Berücksichtigung bei der Modellierung sowie die Umsetzung der Modellierung mit Maßnahmen. Diese sowie weitere technische Weiterentwicklungen sind im folgenden Abschnitt 2 beschrieben.

Das Vorhaben wurde durch einen Bund/Länder Arbeitskreis (B/L AK) fachlich begleitet. Dadurch wurde eine enge Abstimmung hinsichtlich der fachlichen und EDV-technischen Weiterentwicklung von MoRE gewährleistet.

## 2 Das Modellierungswerkzeug MoRE

Das Modellinstrument MoRE zur Modellierung von Stoffeinträgen in die Gewässer wurde im Auftrag des UBA (FuE „Methodische Optimierung von Modellansätzen zur Nähr- und Schadstoffbilanzierung in Flussgebietseinheiten zur Förderung der Umsetzungsstrategie zur Wasserrahmenrichtlinie“ (FKZ 3708 22 202-1)), basierend auf dem Modellkonzept MONERIS (Modelling Nutrient Emissions into River Systems) (Behrendt et al. 1999) entwickelt.

Die Eintragsmodellierung mit MoRE erfolgt über die Methode der Regionalisierten Pfadanalyse (RPA). Die RPA weist unterschiedliche Eintragspfade von Stoffen in die Gewässer aus und unterscheidet übergeordnet zwischen punktförmigen Eintragspfaden und Eintragspfaden, die stark von diffusen Quellen geprägt sind. Eine detaillierte Erläuterung der RPA ist in European Commission (2012) zu finden. Der methodisch komplexe RPA-Ansatz benötigt eine Vielzahl von allgemeinen und stoffspezifischen Eingangsdaten, lässt aber eine nach Eintragspfaden differenzierte und zusätzlich räumlich differenzierte Aussage zu Stoffeinträgen in die Oberflächengewässer zu. MoRE modelliert auf Basis von Einzeljahren. Die Ergebnisse können für die Einzeljahre oder für definierte Bilanzzeiträume ausgegeben werden. Stoffe, die derzeit für den Zeitraum 1983 - 2011 abgebildet werden können, sind die Nährstoffe (Stickstoff (N) und Phosphor (P)) und die Schwermetalle (Cadmium (Cd), Chrom (Cr), Kupfer (Cu), Quecksilber (Hg), Nickel (Ni), Blei (Pb) und Zink (Zn)). Für den Zeitraum 2003-2011 wurden Einträge der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe als Summenparameter ( $\Sigma$  EPA-PAK<sub>16</sub>) modelliert. Darüber hinaus sind weitere organische Schadstoffe nur für bestimmte Jahre oder Einzugsgebiete in MoRE eingebunden wie z. B. Diethylhexylphthalat (DEHP) und die Pflanzenschutzmittel Diuron und Isoproturon für das Bezugsjahr 2008 (Wursthorn et al. 2013) sowie die Arzneimittel Diclofenac, Ibuprofen, Iomeprol und Sulfamethoxazol für das Neckar Einzugsgebiet (Hillenbrand et al. 2014). Zudem werden je nach Stoff und Datenverfügbarkeit verschiedene Eintragspfade modelliert. Die räumliche Auflösung in MoRE ist hierarchisch aufgebaut. Es können verschiedene räumliche Aggregationsebenen, wie Flussgebietseinheiten nach WRRL abgebildet werden. Basis und kleinste räumliche Modelleinheit sind die Analysegebiete, die eine mittlere Größe von 130 km<sup>2</sup> für Deutschland aufweisen. Die Ausweisung der AU beruht sowohl auf einer gebietshydrologischen als auch administrativen Abgrenzung (Fuchs et al. 2010a).

Im folgenden Abschnitt 2.1 wird die Struktur des MoRE-Systems, seine grundlegenden Bestandteile und die daraus resultierenden Vorteile für die Nutzer erläutert. Im Abschnitt 2.2 werden die im Rahmen des Vorhabens durchgeführten technischen Weiterentwicklungen an MoRE beschrieben.

### 2.1 Technische Umsetzung von MoRE

#### 2.1.1 Struktur des MoRE-Systems

Die grundlegenden Bestandteile des MoRE-Systems sind Abbildung 1 zu entnehmen. Es handelt sich dabei um

- eine PostgreSQL/SQLite Datenbank (Abschnitt 2.1.2.1)
- einen unabhängigen generischen Rechenkern (Abschnitt 2.1.2.2) sowie
- zwei Benutzeroberflächen:

- die MoRE Developer Benutzeroberfläche (Abschnitt 2.1.2.3) und
- die MoRE Visualizer Benutzeroberfläche (Abschnitt 2.1.2.4).

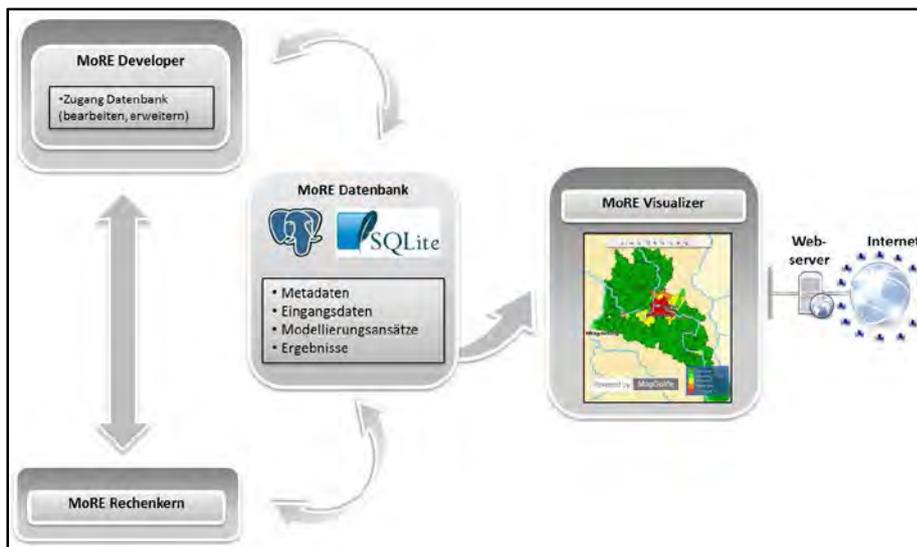
Die PostgreSQL/SQLite Datenbank beinhaltet alle für die Modellierung notwendigen Modelleingangsdaten einschließlich der Metadaten, Berechnungsansätze sowie die modellierten Ergebnisse. Der Rechenkern enthält die logische Struktur der Datenbank und führt die Modellierung nach den durch den Nutzer festgelegten Definitionen durch. Er wird über die Benutzeroberfläche MoRE Developer angesteuert und hat eine dynamische Verbindung zur PostgreSQL-Datenbank.

Die Benutzeroberflächen MoRE Developer und MoRE Visualizer wurden entwickelt zur Interaktion mit der PostgreSQL-Datenbank. Der Inhalt der PostgreSQL-Datenbank kann mit Hilfe der Benutzeroberfläche MoRE Developer gelesen, verändert und erweitert werden.

Die Ergebnisse der Modellierung können entweder tabellarisch im MoRE Developer ausgegeben oder über den MoRE Visualizer in Kartenform sowie in Form von Diagrammen dargestellt werden.

MoRE kann entweder über eine Netzwerkverbindung in einem Multi-user-Zugriff (Datenbanksystem PostgreSQL) oder über eine Einzelplatzanwendung für PC (Datenbanksystem SQLite) verwendet werden.

Abbildung 1: Architektur des MoRE-Systems



## 2.1.2 Komponenten des MoRE-Systems

### 2.1.2.1 MoRE-Datenbank

Die PostgreSQL-Datenbank von MoRE ist untergliedert in sogenannten Sachdatentabellen, die über die Benutzeroberfläche MoRE Developer angesteuert werden können.

Für die Modellierung ist eine Vielzahl an Modelleingangsdaten notwendig. Dabei handelt es sich insbesondere um:

- Modellkonstanten,

- allgemeine Eingangsdaten (wie z. B. mittlere Höhe, Landnutzung, Bodenarten, Niederschläge, Anschlussgrade usw.), die in Abhängigkeit von Analysegebiet und Jahr variieren können,
- stoffbezogene Eingangsdatendaten (z. B. Oberbodengehalte, Niederschlagskonzentrationen, Ablaufkonzentrationen von Kläranlagen), die in Abhängigkeit von Analysegebiet und Jahr variieren können.

Die raum- und zeitbezogenen Daten liegen in der Datenbank für jede Modelleinheit und jedes Jahr vor. Sie werden durch Metadaten beschrieben. Das bedeutet bspw., dass jedem Eintrag in der Datenbank eine eindeutige Herkunft zugewiesen ist. Auch sind zusätzliche Informationen wie Eintragspfad- und Stoffbezug hinterlegt.

Die Datenbank enthält außerdem den Raumbezug der Modellierung in Form von Analysegebieten, Punktquellen und Planungseinheiten.

Des Weiteren sind in der Datenbank alle Modellierungsansätze (empirischen Gleichungen) abgelegt. Auch den Modellierungsansätzen sind Metadaten wie z. B. Herkunft (Literaturverweis) und Stoffbezug zugewiesen.

Schlussendlich enthält die Datenbank die Modellergebnisse. Nach der Modellierung können die Ergebnisse zur weiteren Analyse im xml-Format ausgegeben werden.

### **2.1.2.2 MoRE-Rechenkern**

Der Rechenkern ist generisch und wurde als autonome Einheit des MoRE-Systems konzipiert und in C# programmiert. Während eines Rechenlaufs (Modellierung) liest er die Eingangsdaten aus der PostgreSQL-Datenbank und führt die Berechnungen gemäß den zugrundeliegenden Modellierungsansätzen (empirischen Gleichungen) aus. Da der Rechenkern keine Formeln enthält, sondern lediglich die logische Struktur der Datenbank, muss er nicht an Veränderungen neuer Rechenalgorithmen angepasst werden, so lange die Struktur beibehalten wird. Folglich benötigt der Benutzer keine Programmierkenntnisse für die Implementierung neuer Berechnungsansätze und Eingangsdaten. Er kann diese ohne großen Aufwand in MoRE einbinden und Modellierungen durchführen.

### **2.1.2.3 Entwickleroberfläche MoRE Developer**

Mit Hilfe der Benutzeroberfläche MoRE Developer kann die Datenbank angesteuert, verändert und ergänzt werden. So können Eingangsdaten in die Datenbank importiert und diesen Metadaten zugewiesen werden. Des Weiteren können neue Berechnungsansätze angelegt oder bestehende angepasst werden. Zur Dokumentation und besseren Nachvollziehbarkeit können für die Berechnungsansätze Flowcharts hinterlegt werden. Schlussendlich wird über den MoRE Developer der Rechenkern zur Berechnung der Einträge in die Gewässer sowie der Gewässerfrachten angestoßen. Der MoRE Developer ist modular aufgebaut.

#### **2.1.2.3.1 Module in MoRE Developer**

In der Entwickleroberfläche MoRE Developer kann der Inhalt der MoRE-Datenbank über Sachdatentabellen verändert und erweitert werden. Die Sachdatentabellen sind zu drei Modulen zusammengefasst:

- Dokumentation,
- Modellierung und

- Validierung.

Im Modul „Dokumentation“, welches im Vorhaben neu entwickelt wurde, werden die Metadaten zu den verwendeten Grundlagendaten und den daraus erzeugten Eingangsdaten verwaltet (s. auch Abschnitt 2.2.1).

Das Modul „Modellierung“ enthält zunächst die räumlichen Modelleinheiten. Daneben werden die Variablen, die die Eingangsdaten, Zwischenergebnisse und Endergebnisse repräsentieren und die dazugehörigen Metadaten verwaltet. Zudem können die Eingangsdatenwerte der Variablen, die als Eingangsdatum abgelegt sind, abgerufen werden. Des Weiteren werden in dem Modul „Modellierung“ alle Berechnungsansätze definiert sowie die erzeugten Ergebnisse angezeigt. Im Vorhaben wurden der Variantenmanager und der Maßnahmenmanager innerhalb dieses Moduls implementiert.

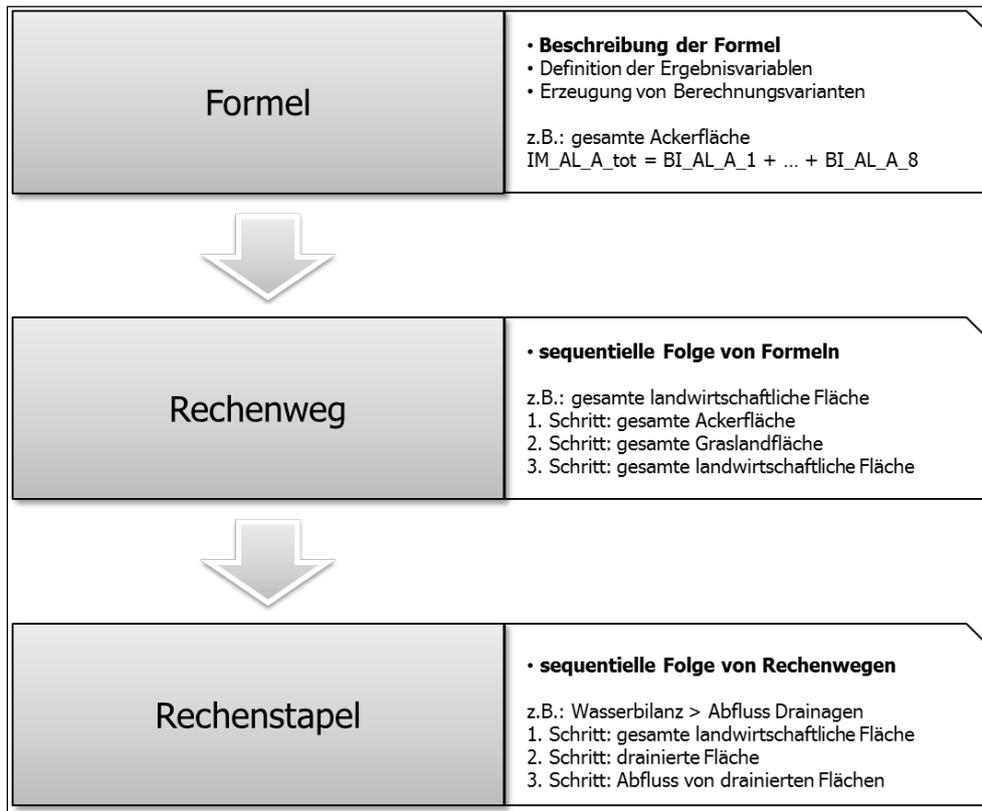
Über das Modul „Validierung“, welches im Rahmen des Vorhabens umgesetzt wurde, sind die täglichen Abflusswerte der Abflussmessstellen, die Gütedaten von Gütemessstellen sowie die daraus erzeugten Gewässerfrachten abrufbar (s. auch Abschnitt 2.2.3).

#### **2.1.2.3.2 Definition von Berechnungen in MoRE**

Bilanzgrößen für die Modellierung in MoRE sind Flächen, Abflusskomponenten, Einträge, Gewässerfrachten und Kosten. Diese werden i. d. R. durch empirische Gleichungen, die in der Datenbank in Textform eingegeben werden können, berechnet.

Der Modellierung liegen drei Ebenen zugrunde. Als kleinste Einheit ist die Formel (Gleichung) definiert. Die Aggregation mehrerer Formeln in einer bestimmten Reihenfolge wird als Rechenweg bezeichnet. Mehrere Rechenwege in einer definierten Reihenfolge bilden einen Rechenstapel (Abbildung 2). Die Rechenstapel bilden i. d. R. eine Bilanzgröße und deren Abflusskomponenten bzw. Teilpfade ab. Alle Modellierungsansätze sind in den Sachdatentabellen *Berechnung* abgelegt.

Abbildung 2: Struktur der Modellierungsansätze in MoRE



#### 2.1.2.4 Visualisierungsoberfläche MoRE Visualizer

Die Visualisierungsoberfläche MoRE Visualizer bietet die Möglichkeit, ausgewählte Eingangsdaten und Ergebnisse anzuzeigen und zu analysieren. Es handelt sich dabei um eine Browser-basierte Applikation, die über eine Internetverbindung genutzt werden kann. Sie arbeitet über eine direkte Verbindung zur MoRE Datenbank.

Der Hauptanwendungszweck des Visualizers ist die Darstellung der flächenspezifischen Gewässereinträge in Form von Karten. Hierbei kann der Nutzer eine Auswahl zu den folgenden räumlichen Aggregationsebenen treffen: Gebiet (bspw. Verwaltungseinheiten, Flussgebietseinheiten), Stoff und Zeitraum. Eine besondere Anwendungsmöglichkeit ist der selektive Vergleich unterschiedlicher Zeiträume.

## 2.2 Technische Weiterentwicklungen von MoRE

Zur Erreichung der skizzierten Ziele des Vorhabens wurde eine Vielzahl technischer Weiterentwicklungen in MoRE umgesetzt:

- Modul „Dokumentation“,
- Modul „Modellierung“:
  - Einführung der Punktquellenverwaltung,
  - Integration der räumlichen Aggregationsebene „Planungseinheit“,
  - Variantenmanager,
  - Maßnahmenmanager,

- Modul „Validierung“.

Diese werden im Folgenden näher beschrieben.

Weiterhin wurden mit dem Modul „Validierung“ die technischen Voraussetzungen geschaffen, um punktförmige Messdaten aus Gewässern (Abfluss- und Gütedaten) in MoRE zu integrieren und daraus die beobachteten Gewässerfrachten zu berechnen (Abschnitt 2.2.3). Durch diesen Schritt können nun erstmals direkt in MoRE die modellierten Gewässerfrachten den beobachteten Gewässerfrachten gegenüber gestellt werden und so eine Aussage zur Güte der Modellierung gemacht werden.

Für detaillierte Beschreibungen der technischen Weiterentwicklungen sowie der Vorgehensweise zu deren Nutzung bei der Eintragsmodellierung sei auf das Handbuch von MoRE verwiesen (Fuchs et al. 2015).

### **2.2.1 Modul „Dokumentation“**

Um eine höhere Transparenz hinsichtlich Nachvollziehbarkeit und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse in MoRE zu gewährleisten, wurde im Rahmen des Projektes ein umfassendes Konzept zur Dokumentation von Grundlagendaten und Eingangsdaten in MoRE entwickelt. In der MoRE-Oberfläche wurde hierfür ein eigenständiges Modul „Dokumentation“ angelegt (Abschnitt 2.2.1). So können nun alle Daten, die bislang lediglich in Berichten dokumentiert wurden, innerhalb von MoRE dokumentiert werden. Das Dokumentationskonzept orientiert sich an den Anforderungen der DIN EN ISO 19115.

Als Grundlagendaten werden Daten aus externen Quellen verstanden, die ggf. durch Rechte Dritter urheberrechtlich geschützt sind. Bei den Grundlagendaten handelt es sich insbesondere um punktförmige und flächenhafte Daten, statistische Daten und Messdaten.

Die Eingangsdaten in MoRE sind die operablen Größen, die für die Modellierung verwendet werden. Sie werden aus einem oder mehreren Grundlagendatensätzen erzeugt und in MoRE i. d. R. für die Analysegebiete abgelegt. Die Eingangsdaten gehen in Form von Variablen in das Modell ein und sind innerhalb von MoRE über die zugewiesenen Variablennamen abrufbar.

Sowohl zu Grundlagendaten als auch zu Eingangsdaten können im Modul „Dokumentation“ diverse Metadaten angelegt werden. Diese sind in den folgenden Abschnitten 2.2.1.1 und 2.2.1.2).

Im Sinne der technischen Umsetzung des Moduls „Dokumentation“ war eine strukturelle Erweiterung der MoRE-Datenbank notwendig. Zur Verwaltung der Metadaten der Grundlagen- und Eingangsdaten wurden in MoRE jeweils neue Sachdatentabellen angelegt. In den Abschnitten 2.2.1.1 bzw. 2.2.1.2 werden deren wichtigsten Attribute beschrieben.

#### **2.2.1.1 Sachdatentabelle Grundlagendaten**

Zur Dokumentation der Grundlagendaten werden die folgenden Kategorien verwendet:

- Datensatzbeschreibung: hier werden Informationen abgelegt, wie der vollständige Name des Datensatzes, die Einheit und der Stoffbezug.
- Datenherkunft: hier werden Angaben zu der Quelle, Art und Datum des Datenerwerbs, Methoden und Datum der Datensatzerstellung erfasst.

- Datenformat: hier erfolgt eine Spezifizierung der Grundlagendaten. Wichtige Angaben wie Datenformat, Georeferenzsystem, Datentyp, Maßstab, räumliche- und zeitliche Auflösung werden dokumentiert.
- Geltungsbereich: die zeitliche und räumliche Gültigkeit der Grundlagendaten wird spezifiziert.
- Nutzungsrecht: hier werden Angaben zur Datennutzung dokumentiert.
- Verwendung: hier wird festgeschrieben, in welchem Modul die Grundlagendaten verwendet werden, welche Bilanzgröße Bezug auf diese Daten hat und welche Eintragspfade mit diesem Grundlagendatensatz aufbereitete Eingangsdaten verwenden.
- Bemerkungen

### 2.2.1.2 Sachdatentabelle Eingangsdaten

Zur Dokumentation der Eingangsdaten werden die folgenden Kategorien verwendet:

- Datensatzbeschreibung: hier werden die ID, eine Beschreibung und die Einheit abgelegt.
- Datenherkunft: hier werden die für die Eingangsdaten verwendeten Grundlagendatensätze und deren Aufbereitung dokumentiert, zudem die Art der Ableitung von Eingangsdaten aus den Grundlagendaten, sowie Datum und Bearbeiter der Eingangsdatenerzeugung.
- Geltungsbereich: die zeitliche und räumliche Gültigkeit der Grundlagendaten wird spezifiziert.
- Bemerkungen

Zu jedem Eingangsdatensatz erfolgt über ein Strukturfenster die Zuweisung von Grundlagendatensätzen. Dabei können beliebig viele Grundlagendatensätze gewählt werden, die für die Erzeugung des Eingangsdatums verwendet wurden.

### 2.2.2 Modul „Modellierung“

Bezüglich der räumlichen Ergebnisausgabe wurden im Modul „Modellierung“ zwei Ebenen im Rahmen des Vorhabens neu integriert: Punktquellen (Abschnitt 2.2.2.1) und Planungseinheiten (Abschnitt 2.2.2.2).

Mit der Einrichtung der Punktquellenverwaltung und deren Nutzung bei der Modellierung (Abschnitt 2.2.2.1) können punktförmige Grundlagendaten nun lagegetreu in MoRE vorgehalten werden. Neben einer höheren Transparenz ermöglicht dies, die Auswirkungen gezielter Maßnahmen bei einzelnen Punktquellen in Abhängigkeit von deren Eigenschaften zu modellieren. Auf Vorschlag des B/L AK Stoffeintragsmodellierung, wurde eine weitere räumliche Modellierungseinheit (Aggregationsebene) – die Planungseinheit nach WRRRL – in MoRE hinterlegt. Hierfür war eine Zuordnung der AU und der prinzipiell in MoRE berechneten Einträge auf AU-Ebene, zu den PE notwendig. Um dies zu realisieren wurde ein Algorithmus entwickelt, um die berechneten Einträge auf Ebene von PE aggregieren zu können (Abschnitt 2.2.2.2).

Im Rahmen des Vorhabens wurden zudem die technischen Voraussetzungen für Variantenberechnungen geschaffen. Variantenberechnungen können in MoRE derzeit für Varianten von Eingangsdaten (Abschnitt 2.2.2.3) und Varianten von Ansätzen (Abschnitt 2.2.2.4) durchgeführt werden.

Als weiterer elementarer Bestandteil des Modellierungs-Moduls wurde ein Maßnahmenmanager implementiert (Abschnitt 2.2.2.5).

### **2.2.2.1 Implementierung der Punktquellenverwaltung**

Zu den Punktquellen (PQ) in MoRE zählen bisher: kommunale Kläranlagen, industrielle Direkteinleiter und die Altbergbaustandorte (Schwermetalle). Bislang erfolgte in MoRE die Berechnung der Einträge über PQ aggregiert auf Ebene der AU. Die verfügbaren Grundlagendaten wurden daher bisher im Präprozessing auf AU-Ebene aufbereitet. Die verwendeten Grundlagendaten und deren Aufbereitung waren dementsprechend im Eingangsdatensatz und den Ergebnissen nachträglich für Dritte nur schwer nachvollziehbar. Zur Erhöhung der Transparenz und vor dem Hintergrund der Möglichkeit verschiedene punktquellenspezifische Maßnahmen zur Eintragsreduzierung in MoRE abzubilden und ökonomisch zu bewerten, wurde die Notwendigkeit identifiziert, punktbezogene Daten standortscharf bei der Modellierung zu berücksichtigen. Durch eine entsprechende Datenhaltung direkt in MoRE können nun beispielsweise für kommunale Kläranlagen – abhängig von vorhandenen Verfahrensstufen und der Anlagengröße – anlagenscharf zielgerichtete Maßnahmen zur Eintragsreduzierung abgebildet werden. Die Weiterentwicklung von MoRE hat die technischen Voraussetzungen zur direkten Datenhaltung punktförmiger Informationen in MoRE und zur Dokumentation ihres Bezugs zu den AU, geschaffen. So wurde ein Teil des vorherigen Präprozessing in das Modell überführt und eine größere Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Prozesse (Datenaufbereitung, Maßnahmenausweisung) und Ergebnisse erreicht.

### **Modellierung mit Punktquellen: Konzept und Umsetzung in MoRE**

Die Punktquellenverwaltung wurde einerseits mit dem Ziel der besser räumlich aufgelösten Modellierung der Stoffeinträge in MoRE konzipiert und umgesetzt, indem die Ergebnisse der Eintragsberechnung für einzelne Punktquellen ausgegeben werden können. Andererseits bietet dieses Tool höhere Flexibilität bei der Maßnahmenumsetzung.

Für die aktuell in MoRE betrachteten punktuellen Eintragspfade „Kommunale Kläranlagen“, „Industrielle Direkteinleiter“ und „Altbergbau“ liegen standortscharfe Daten vor. Entsprechend dieser Eintragspfade wurden drei PQ-Typen in MoRE definiert:

- kommunale Kläranlage,
- industrieller Direkteinleiter und
- Altbergbau.

Als PQ sind derzeit in der MoRE-Datenbank hinterlegt:

- über 4.100 deutsche kommunale Kläranlagen  $\geq 2.000$  Einwohnerwerte (EW) Nominalbelastung für die Jahre 2008 und 2010 (UBA 2013c),
- 236 deutsche industrielle Direkteinleiter (UBA 2013a) im Betrachtungszeitraum 2007-2011 und
- 91 deutsche Altbergbaustandorte (Marscheider-Weidemann et al. 2013).

Derzeit sind nur die deutschen Kläranlagen mit einer Nominalbelastung  $\geq 2.000$  EW integriert. Datengrundlage hierfür ist der deutschlandweite Datensatz zur Berichterstattung für die EU Kommunalabwasserrichtlinie. Die kommunalen Kläranlagen  $< 2.000$  EW liegen nur auf Ebene von Gemeinden vor und werden nach wie vor im

Präprozessing auf die Analysegebiete übertragen. Bei besserer Datenlage können die Kläranlagen aus den ausländischen Einzugsgebietsanteilen oder die deutschen Kläranlagen < 2.000 EW ebenfalls in MoRE eingepflegt werden.

Alle PQ wurden zusammen mit den Metadaten zu jeder PQ in einer separaten Sachdatentabelle abgelegt. Die Attribuierung der PQ erfolgte hauptsächlich in Anlehnung an die verfügbare Datenbasis. Die folgend aufgeführten Metadaten wurden angelegt:

- Anlage-Id
- Anlage-Id-Art
- Analysegebiet
- Typ
- Name
- Beschreibung
- Branchengruppe
- Haupttätigkeit
- Rechtswert
- Hochwert
- Koordinatensystem
- Datum Fertigstellung
- Datum Schließung
- Gültigkeit
- Einleitstelle-Id
- Einleitstelle-Art
- Einleitstelle-Name
- Einleitstelle-Rechtswert
- Einleitstelle-Hochwert
- Einleitstelle-Koordinatensystem
- Herkunft
- Bemerkungen
- Id Analysegebiet (Zuordnung AU)

Für die Eintragsberechnung sind die Attribute: „Typ“, „Gültigkeit“ und „Id Analysegebiet“ von großer Relevanz. Das Attribut „Typ“ definiert die Art der PQ und damit die Zuordnung zum Eintragspfad. Die Angabe zur Gültigkeit definiert den zeitlichen Gültigkeitsbereich einer PQ. Bevor eine Eintragsberechnung für ein bestimmtes Jahr ausgeführt werden kann, wird geprüft, ob die PQ in diesem Zeitraum gültig ist. Dadurch wird verhindert, dass bspw. für stillgelegte Kläranlagen die Einträge berechnet werden. Das Attribut „Id Analysegebiet“ definiert die Zuordnung zu den AUs. Bspw. erfolgt die Zuordnung zur AU bei den kommunalen Kläranlagen über die Einleitstelle der Anlage, bei den industriellen Direkteinleitern über die Koordinaten der Betriebseinrichtung. Diese Zuordnung zur AU ermöglicht es, Ergebnisse für einzelne Anlagen zu erzeugen und diese auf die AUs zu aggregieren. Für die Aggregation wurde eine spezielle Funktion entwickelt (*more\_psaaggrau*). Diese Aggregation kann für Eingangsdaten (z. B. bei den Kläranlagen für die Jahresabwassermenge), Zwischen- oder Endergebnisse durchgeführt werden und ermöglicht eine höhere Nachvollziehbarkeit der durchgeführten Operationen.

Alle Metadaten der PQ können über die Oberfläche MoRE Developer geändert oder neue PQ importiert werden. Zudem wurde die Definition des Punktquellentyps generisch umgesetzt, so dass weitere Punktquellentypen ohne Programmierkenntnisse angelegt werden können. Diese müssen lediglich unter der Sachdatentabelle *Dokumentation* > *Auswahlfelder* > *Metadaten* angelegt werden.

### **Schwierigkeiten bei der Einbindung der Metadaten zu Punktquellen**

Während der Aufbereitung der Metadaten der PQ wurde festgestellt, dass diese für kommunale Kläranlagen (Daten der Bundesländer (BL) nach EU-Kommunalabwasserrichtlinie) und industrielle Direkteinleiter (Schadstofffreisetzungs- und

-verbringungsregister (PRTR)) nicht ohne Weiteres in die MoRE-Datenbank übernommen werden können. Die festgestellten Unstimmigkeiten werden im folgenden Abschnitt je nach PQ-Typ erläutert und die entsprechenden Änderungen bzw. Annahmen dokumentiert.

#### Kommunale Kläranlagen

Wie schon im vorherigen Abschnitt „Modellierung mit Punktquellen: Konzept und Umsetzung in MoRE“ erwähnt, wurde die Zuordnung des PQ-Typs „kommunale Kläranlage“ zu Analysegebiet anhand der Koordinaten der Einleitstellen durchgeführt. Bei der Sichtung der Datenbank zur Berichtserstattung zur Kommunalabwasserrichtlinie (UBA 2013c) wurde festgestellt, dass einige Kläranlagen-Einleitstellen im Ausland liegen. Für diese wurde eine manuelle Korrektur der Koordinaten unter Berücksichtigung der Flussverläufe über „OpenStreetMap“ in ArcGIS 10.2 durchgeführt.

Bei abweichenden Koordinaten der Kläranlagen für die Jahre 2008 und 2010 auf Grund von Korrekturen, wurden für die Einbindung der PQ die zuletzt berichteten verwendet.

Nachdem die Zuordnung der Kläranlagen zu den AUs durchgeführt wurde, wurde die Zugehörigkeit der Anlage selbst und des zugeordneten AU zu einem Bundesland geprüft. Dabei wurde festgestellt, dass es bei 29 Anlagen keine Übereinstimmung gab. Der Grund dafür war ihre grenznahe Lage. In Zusammenarbeit mit den zuständigen Kollegen der betroffenen Länder konnte hier jedoch eine eindeutige Zuordnung erfolgen. Anschließend erfolgte eine weitere manuelle Korrektur der Koordinaten unter Berücksichtigung der Landesgrenzen und der Flussverläufe über „OpenStreetMap“ in ArcGIS 10.2.

#### Industrielle Direkteinleiter

Bei der Einbindung der industriellen Direkteinleiter aus dem PRTR (UBA 2013a) als PQ trat das Problem auf, dass die Koordinaten einzelner Anlagen für die Jahre 2007 bis 2011 voneinander abwichen. Als Metadaten wurden die zuletzt berichteten Koordinaten hinterlegt.

### **2.2.2.2 Implementierung von Planungseinheiten**

Als räumliche Bezugsebene in der WRRL spielen neben den Wasserkörpern (WK) zur Zustandsbeschreibung, die PE eine Rolle. Dies sind größere, bewirtschaftbare räumliche Einheiten und zentrales Planungsinstrument in der Bewirtschaftungsplanung nach WRRL. Die PE als Aggregationsebene war bisher nicht in MoRE abbildbar. Um den Zielanforderungen gerecht zu werden, wurde die PE als eine weitere räumliche Modellierungseinheit in MoRE hinterlegt. Zudem wurde ein Algorithmus entwickelt, um die auf AU-Ebene berechneten Einträge, auf die PE-Ebene zu aggregieren. In Abschnitt 7 „Aggregation der Stoffeinträge auf der Ebene von Planungseinheiten“ wird der Hintergrund der Arbeiten erläutert. Im Folgenden wird die technische Umsetzung der Aggregation von Einträgen auf Ebene der Planungseinheiten dargestellt.

In MoRE wird die hierarchische Gebietsgliederung im Modul „Modellierung“ in der Sachdatentabelle *Modellierung > räumliche Modellierungseinheiten > Analysegebiete* verwaltet. Die Gebietsgliederung wurde um die Sachdatentabelle *Planungseinheiten* erweitert. Darin ist die Zuordnung von AU zu PE dokumentiert (s. Abbildung 3).

Abbildung 3: Sachdatentabelle *Modellierung* > *räumliche Modelleinheiten* > *Planungseinheiten* in MoRE

| Kennung  | Name                 | Land               | Subunit            | Koordinierungs     | Fläche (km²) | Anzahl AU vollständig | Anzahl AU teilweise |
|----------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------|-----------------------|---------------------|
| ALL_PE01 | Aller/Böhme          | Niedersachsen      | Aller              | Aller              | 1491,65      | 9                     | 0                   |
| ALL_PE02 | Aller/Ortze          | Niedersachsen      | Aller              | Aller              | 2280,29      | 20                    | 0                   |
| ALL_PE03 | Fuhse/Wietze         | Niedersachsen      | Aller              | Aller              | 1901,56      | 7                     | 0                   |
| ALL_PE04 | Aller/Quelle         | Niedersachsen, ... | Aller              | Aller              | 1702,68      | 12                    | 0                   |
| ALL_PE05 | Oker                 | Niedersachsen, ... | Aller              | Aller              | 1819,87      | 11                    | 0                   |
| AP_PE01  | Altmühl              | Bayern             | Donau              | Donau              | 3260,58      | 17                    | 2                   |
| AP_PE02  | Untere Paar/Don...   | Bayern             | Donau              | Donau              | 1827,49      | 17                    | 2                   |
| AP_PE03  | Ilm/Abens            | Bayern             | Donau              | Donau              | 1046,08      | 3                     | 2                   |
| AP_PE04  | Obere Paar           | Bayern             | Donau              | Donau              | 563,03       | 1                     | 0                   |
| ARB_PE10 | Argen (BW)           | Bayern, Baden-...  | Bodensee/Alpenr... | Alpenrhein/Bode... | 442,74       | 4                     | 0                   |
| ARB_PE11 | Schussen             | Baden-Württemb...  | Bodensee/Alpenr... | Alpenrhein/Bode... | 828,33       | 6                     | 0                   |
| ARB_PE12 | Bodenseegebiet (...) | Baden-Württemb...  | Bodensee/Alpenr... | Alpenrhein/Bode... | 1251,99      | 11                    | 1                   |
| BO_PE01  | Bodensee             | Bayern             | Bodensee/Alpenr... | Alpenrhein/Bode... | 597,03       | 5                     | 0                   |
| DON_PE01 | Donau bis einsch.    | Baden-Württemb...  | Donau              | Donau              | 1298,85      | 4                     | 0                   |

Jeder Nutzer hat die Möglichkeit die übergeordnete Gebietsgliederung nach eigenen Anforderungen zu ändern, neu anzulegen und zu löschen.

Zur Aggregation der Ergebnisse der Eintragsmodellierung von der AU-Ebene auf die PE-Ebene wurde eine Sonderfunktion entwickelt und in das Modul „Modellierung“ integriert. Die aggregierten Ergebnisse werden in den endgültigen Ergebnisdatensatz integriert, aus dem sie erzeugt wurden, sodass bei den endgültigen Ergebnissen neben den Einträgen für die einzelnen AU nun auch Einträge für die einzelnen PE vorliegen.

### 2.2.2.3 Varianten von Eingangsdaten: Variantenmanager in MoRE

Eine zentrale Neuerung in MoRE ist die Umsetzung eines Variantenmanagers. Er wurde entwickelt, um die Auswirkung verschiedener Eingangsdatensätze auf die Eintragsmodellierung zu quantifizieren bzw. eine Sensitivitätsanalyse durchzuführen. So können bspw. zeitlich oder räumlich höher aufgelöste Modelleingangsdaten im Vergleich zu anderen Ergebnissen führen. Neben einem Basiseingangsdatensatz für eine Variable können nun weitere Varianten von Eingangsdatensätzen derselben Variablen in MoRE gespeichert werden. Die Ergebnisdatensätze unter Verwendung dieser unterschiedlichen Varianten können dann im Modell miteinander verglichen werden. Zudem können die Stoffeinträge unter Verwendung verschiedener Varianten von empirischen Ansätzen modelliert werden.

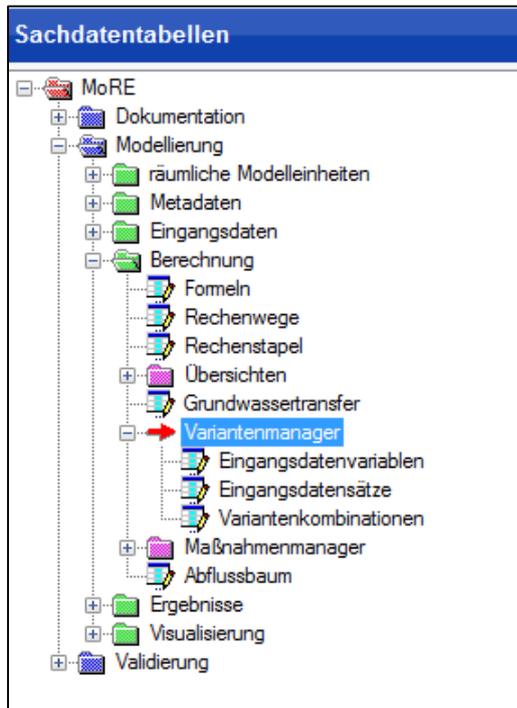
Eingangsdaten können aus Grundlagendaten unterschiedlicher räumlicher und zeitlicher Auflösung, Aufbereitung oder Herkunft herrühren.

Im Rahmen des Vorhabens wurde die Struktur von MoRE für eine Verwaltung von Varianten von Eingangsdaten erweitert. Dem Modul *Modellierung* wurde ein Untermodul – *Variantenmanager* hinzugefügt. Der Variantenmanager enthält drei Sachdatentabellen: *Eingangsdatenvariablen*, *Eingangsdatensätze* und *Variantenkombinationen* (Abbildung 4). In diesen Tabellen wird definiert, mit welcher Variante von Variablen und somit Eingangsdaten eine Modellierung durchgeführt werden soll.

In der Sachdatentabelle „Eingangsdatenvariablen“ werden die Varianten von Eingangsdaten ausgewählt, die prinzipiell für eine Variantenberechnung zur Verfügung stehen. In der Tabelle Eingangsdatensätze wird anschließend die gewünschte Variante

einer Eingangsdatenvariablen ausgewählt und ggf. mit inhaltlich passenden Varianten weiterer Eingangsdatenvariablen einem Eingangssatzenatz verknüpft. In der Tabelle Variantenkombination können die Kombination aus den mehreren Eingangssatzenätzen definiert werden. Alle Definitionen können vom Nutzer getroffen werden.

Abbildung 4: Variantenmanager in MoRE zur Modellierung mit Varianten von Eingangsdaten



#### 2.2.2.4 Varianten von Ansätzen

Für die Modellierung können unterschiedliche methodische Ansätze (empirische Formeln) verwendet werden, die zu unterschiedlichen Ergebnissen führen können. Die technische Umsetzung zur Verwaltung von Varianten von Ansätzen wurde bereits in einem Vorgängerprojekt (Fuchs et al. 2012) entwickelt. Ebenso wie die Eingangsdaten können die Ansätze unter Verwendung diverser Varianten modelliert und die so erzeugten Ergebnisse verglichen werden. Dabei ist es auch möglich, die verschiedenen Varianten von empirischen Ansätzen über den Variantenmanager mit verschiedenen Varianten von Eingangsdaten zu koppeln.

Für die Umsetzung von Varianten von Ansätzen mussten keine neuen Sachdatentabellen angelegt werden. Vielmehr wurde die Struktur von MoRE so verändert, dass bei den Formeln und Rechenwegen eine Variantenverwaltung implementiert werden konnte. Für eine Formel, die durch eine Variable dargestellt wird, können unterschiedliche Varianten angelegt werden (siehe Abbildung 5). Dabei entsteht ein neuer Eintrag in der Sachdatentabelle *Formelinhalte*, wobei neben dem Namen der Ergebnisvariablen u.a. die Variantennummer und der Formelinhalt aufgeführt werden. Analog ist die Umsetzung zu den Rechenwegen: in der Sachdatentabelle *Rechenwege* wird bei der Erstellung von Varianten ein neuer Eintrag eingefügt und die dazugehörige Variantennummer angezeigt. Den Rechenstapeln hingegen werden keine Variantennummern in einer getrennten Spalte hinzugefügt. Die Variantennummer ist Bestandteil des Namens.

Beispielhaft werden in der Abbildung 5 Varianten von Formeln derselben Ergebnisvariablen (AM\_E\_HM) angezeigt. Abbildung 6 enthält Beispiele für Varianten von Rechenwegen.

Abbildung 5: Beispiel zu Varianten von Formeln

| Sachdatentabellen   | Modellierung > Berechnung > Übersichten > Formelinhalte |          |                       |  |
|---|---|----------|-----------------------|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>MoRE <ul style="list-style-type: none"> <li>Dokumentation</li> <li>Modellierung <ul style="list-style-type: none"> <li>räumliche Modelleinheiten</li> <li>Metadaten</li> <li>Eingangsdaten</li> <li>Berechnung <ul style="list-style-type: none"> <li>Formeln</li> <li>Rechenwege</li> <li>Rechenstapel</li> <li>Übersichten</li> <li>Formelinhalte</li> <li>Rechenschritte</li> <li>Rechenwege</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul> </li> </ul> | Id  | Variante | Ergebnisvariable      | Formelinhalt                                 |
|   | 91  | 1        | AD_E_PAH              | (BI_RATE_dep_PAH * IM_A_WS) / 10             |
|   | 90  | 1        | AM_E_HM               | AM_E_HM                                      |
|   | 492   | 2        | AM_E_HM               | more_psaggrau(AM_ps_E_HM)                    |
|   | 645   | 1        | CM_US_C_IMP           | (CM_US_C_inv_25yr_IMP_noaggl + CM_US_C...    |
|   | 646   | 1        | CM_US_C_inv_25yr_I... | (US_ss_A_IMP_aggl + US_cso_A_IMP_aggl) /     |
|   | 647   | 1        | CM_US_C_inv_25yr_I... | (US_ss_A_IMP_noaggl + US_cso_A_IMP_noa...    |
|   | 661   | 1        | CM_US_C_inv_25yr_...  | US_cso_Q * US_cso_SHR_vol_rsf_cso / 100 *    |
|   | 664   | 1        | CM_US_C_inv_40yr_...  | if (US_cso_VOL_SOT > 0, if ((US_cso_A_IMP... |
|   | 648   | 1        | CM_US_C_inv_25yr_I... | (US_ss_A_IMP_aggl + US_cso_A_IMP_aggl)       |

Abbildung 6: Beispiel zu Varianten von Rechenwegen

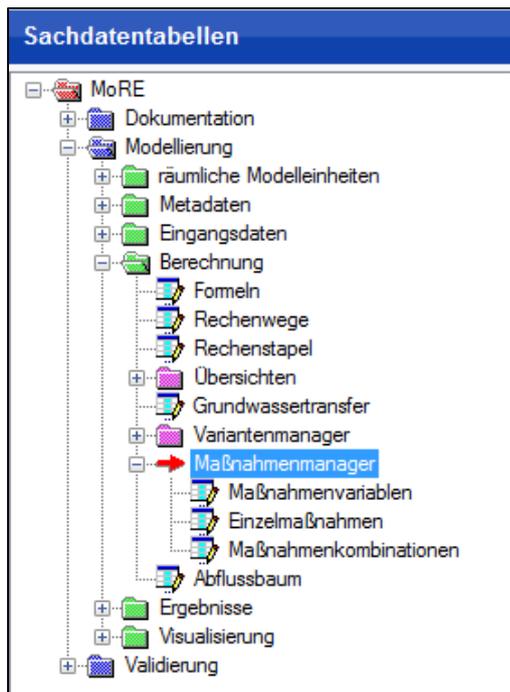
| Sachdatentabellen   | Modellierung > Berechnung > Übersichten > Rechenschritte   |         |                      |                           |
|---|--|---------|----------------------|---------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>MoRE <ul style="list-style-type: none"> <li>Dokumentation</li> <li>Modellierung <ul style="list-style-type: none"> <li>räumliche Modelleinheiten</li> <li>Metadaten</li> <li>Eingangsdaten</li> <li>Berechnung <ul style="list-style-type: none"> <li>Formeln</li> <li>Rechenwege</li> <li>Rechenstapel</li> <li>Übersichten</li> <li>Formelinhalte</li> <li>Rechenschritte</li> <li>Rechenwege</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul> </li> </ul> | Rechenweg  | Schritt | Formel               | Formelinhalt              |
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Einträge &gt; SM-Einträge über Altbergbau &gt; Einträge über Altbergbau (Variante 1)</li> <li>Einträge &gt; SM-Einträge über Altbergbau &gt; Einträge über Altbergbau (Variante 2)</li> </ul> | 01      | AM_E_HM (Variante 1) | AM_E_HM                   |
|   |  | 01      | AM_E_HM (Variante 2) | more_psaggrau(AM_ps_E_HM) |

### 2.2.2.5 Maßnahmenmanager in MoRE

Die Umsetzung von Maßnahmen in MoRE erfolgt technisch sowohl über Varianten von Eingangsdaten als auch über die methodischen (empirischen) Ansätze (Formeln, Rechenwege) (s. dazu auch Abschnitt 2.2.2.3). Die Berechnungsansätze mussten hierfür angepasst und maßnahmenfähig umgesetzt werden. Das bedeutet, die bestehenden Formeln waren dahingehend anzupassen bzw. zu erweitern, dass sie gleichwohl für die Modellierung ohne als auch mit Maßnahmen gelten. Durch diese Vorgehensweise müssen für die Umsetzung von Maßnahmen keine neuen Rechenwege und Rechenstapel angelegt werden. Einzelmaßnahmen können darüber hinaus zu Maßnahmenkombinationen verknüpft werden.

Voraussetzung für die Abbildung von Maßnahmen war daher u.a. die Möglichkeit unterschiedliche Varianten von Eingangsdaten im Modell integrieren und verwalten zu können. Die Modellstruktur wurde im Modul um das Untermodul *Maßnahmenmanager* erweitert. Dieses umfasst drei Sachdatentabellen: *Maßnahmenvariablen*, *Einzelmaßnahmen* und *Maßnahmenkombinationen* (Abbildung 7). In diesen Tabellen wird definiert, welche Variante von Eingangsdaten eine Einzelmaßnahme darstellt und welche Einzelmaßnahmen bei Maßnahmenkombinationen verwendet werden sollen. Dabei kann eine Einzelmaßnahme aus mehreren Maßnahmenvariablen bestehen. Die Ergebnisse der Rechenläufe mit unterschiedlichen Maßnahmen können nach der Modellierung miteinander verglichen werden.

Abbildung 7: Maßnahmenmanager in MoRE zur Modellierung mit Maßnahmen(kombinationen)



### 2.2.3 Modul „Validierung“

Zur Validierung der Ergebnisse aus der Eintragsmodellierung werden aus den modellierten Einträgen Gewässerfrachten abgeleitet. Diese werden beobachteten Gewässerfrachten gegenübergestellt, welche wiederum aus den im Gewässer gemessenen Abflüssen und Konzentrationen ermittelt sind.

Im Rahmen des Vorhabens wurden durch die Entwicklung des Moduls „Validierung“ die technischen Voraussetzungen zur Berechnung der beobachteten Gewässerfrachten innerhalb von MoRE geschaffen und umgesetzt (Abschnitte 2.2.3.1 bis 2.2.3.3). Somit bietet MoRE dem Benutzer die Möglichkeit, Abfluss- und Konzentrationswerte aus den Fließgewässern in MoRE vorzuhalten und daraus beobachtete Gewässerfrachten zu berechnen.

Für die Validierung müssen die beobachteten mit den modellierten Gewässerfrachten verknüpft werden (Abschnitt 2.2.3.4). Nach der Berechnung können die modellierten Gewässerfrachten im Sinne der Modellvalidierung mit den beobachteten Gewässerfrachten verglichen werden (Abschnitt 2.2.3.4).

#### 2.2.3.1 Aufbau und Inhalt des Moduls „Validierung“

Im Modul „Validierung“ sind die Daten, die durch die Länder (2013), Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) (BfG 2013a) und das UBA (UBA 2013b) zur Verfügung gestellt wurden, hinterlegt:

- Messdaten von
  - Abflussmessstellen (Tagesabflüsse) und
  - Gütemessstellen (Konzentrationen)
- Metadaten zu den

- Messstellen (Stammdaten, Zuordnungen der Abfluss- zu Gütemessstellen und Gütemessstellen zu Analysegebiet, Korrekturfaktoren zur Lage der Gütemessstellen gegenüber der zugehörigen Abflussmessstelle sowie gegenüber dem Auslass des Analysegebiets) und
- Messungen (Bestimmungsgrenze (BG), Probenart, Beprobungsart, Mischprobendauer).

Die genannten Eingangsdaten und Metadaten werden in den neu angelegten Sachdatentabellen *Abflusspegel* und *Gütemessstellen* angezeigt (Abbildung 8).

Die Ergebnisse der Berechnungen beobachteter Gewässerfrachten werden in der Sachdatentabelle *Rechenläufe* abgelegt. Des Weiteren sind die Stoffe aufgeführt, zu denen Messdaten vorliegen und somit eine Berechnung der beobachteten Gewässerfracht durchgeführt werden kann.

Abbildung 9 zeigt beispielhaft die Inhalte der Sachdatentabelle zu Metadaten der Gütemessstellen. Die Erstellung neuer bzw. die Änderung bestehender Datensätze (Gütemessstellen und Abflusspegel) wird über die graphische Oberfläche von MoRE Developer durchgeführt. Stammdaten und Messwerte können derzeit jedoch noch nicht importiert werden.

Abbildung 8: Struktur des Moduls „Validierung“



Abbildung 9: Metadatentabelle der Gütemessstellen im MoRE Validierungsmodul am Beispiel einer Messstelle in Baden Württemberg

| Gütemessstelle: BW05       |   |
|----------------------------|---|
| <b>01-Allgemein</b>        |   |
| LAWA-Nummer                | BW05  |
| LAWA-Messstelle            | ja  |
| Landesnummer               | CXX426  |
| Gewässername               | Rhein   |
| Messstellename             | Mannheim/Rhein                                |
| Fläche Einzugsgebiet (km²) | 54029   |
| <b>02-Analysegebiet</b>    |   |
| Analysegebiet              | Neckar von uh Eyach bis oh Starzel (ID 20176) |
| Faktor Analysegebiet       | 1.2   |
| <b>03-Lage</b>             |   |
| Rechtswert                 | 32460525.100                                  |
| Hochwert                   | 5481404.760                                   |
| Koordinatensystem          | ETRS_1989_UTM_Zone_32N                        |

### 2.2.3.2 Berechnung der beobachteten Gewässerfrachten

Für die Berechnung der beobachteten Gewässerfrachten wird auf die vorliegenden Datensätze zurückgegriffen. Dabei besteht die Möglichkeit, mithilfe von Filtern im MoRE Developer gezielt auf die benötigten Datensätze zuzugreifen und die Berechnungen der beobachteten Gewässerfrachten bspw. für ausgewählte Stoffe und Gütemessstellen auszuführen. Nach vorgenommener Auswahl kann die eigentliche Berechnung der beobachteten Gewässerfrachten über die Sonderfunktion *Frachtberechnung* in der Sachdatentabelle *Gütemessstellen* erfolgen.

Die Berechnung der beobachteten Gewässerfrachten erfolgt anhand der etablierten BfG-Methode (BfG 2013b), die im Rahmen des IKSE (Internationale Kommission zum Schutz der Elbe) Sedimentmanagement verwendet wird. Diese wurde ursprünglich für die prioritären Stoffe erarbeitet, und kann für die Probenart „Gesamtprobe“ und für „Einzelprobe“ oder „Mischprobe“ angewandt werden. Die Gleichung wurde zur Berechnung der Gewässerfrachten an den Auslässen der AU und zur Berücksichtigung der unterschiedlichen Lage von Abflusspegeln und Gütemessstellen mithilfe von Korrekturfaktoren angepasst.

### 2.2.3.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Frachtberechnung liegen im Validierungsmodul in vier Untertabellen des Strukturfensters vor:

- *Ergebnisse Gütemessstellen:* hier werden die beobachteten Frachten nach Gütemessstelle, Jahr und Stoff gegliedert angezeigt,
- *Ergebnisse AU nach Jahr:* hier werden die beobachteten Frachten über eine eindeutige Zuweisung der Gütemessstellen zu den AU auf die AU-Auslässe übertragen und nach AU, Jahr und Stoff gegliedert angezeigt,
- *Ergebnisse AU nach Bilanzzeitraum:* hier werden die beobachteten Frachten nach AU und Stoff gegliedert als Mittelwert für den Bilanzzeitraum angezeigt,
- *Fehlermeldungen:* da die vorliegenden Güte- und Abflussdaten teilweise lückenhaft sind und die Frachtberechnung somit bspw. nicht für alle in einem Jahr vorhandenen Gütemessstellen durchgeführt werden kann, können folgende Meldungen auftreten:
  - fehlende Abflussmessungen für die Tage mit Gütemessungen
  - fehlende Metadaten:
    - fehlende Umrechnungsfaktoren bei den Abflusspegeln
    - fehlende Zuordnung des Abflusspegels zur Gütemessstelle.

### 2.2.3.4 Validierung der Ergebnisse

Nachdem die beobachteten Gewässerfrachten mit dem Validierungsmodul berechnet und unter der Sachdatentabelle Rechenläufe abgelegt wurden, werden sie den modellierten Gewässerfrachten in MoRE gegenübergestellt. Für diesen Vergleich werden die Stoffe aus dem Modul „Validierung“ den entsprechenden Variablen aus dem Modul „Modellierung“, die die modellierten Gewässerfrachten darstellen, zugewiesen (Abbildung 10). Durch diese Funktionalität kann ein Vergleich der modellierten mit den beobachteten Gewässerfrachten durchgeführt werden.

Abbildung 10: Stoffe im Modul Validierung und deren entsprechende Variablen aus dem Modul Modellierung

| Validierung > Verwaltung > Stoffe |            |   |  |
|-----------------------------------|------------|---|--|
| Stoffname                         | CAS-Nr     | Variable berechnet  |  |
| Zink                              | 7440-66-6  | RM_RL_mod_FNE_split_HM_ZN (Zink-Gewässerfrachten, aufsummiert entlang des Abflussbaumes)        |  |
| Blei                              | 7439-92-1  | RM_RL_mod_FNE_split_HM_PB (Blei-Gewässerfrachten, aufsummiert entlang des Abflussbaumes)        |  |
| Nickel                            | 7440-02-0  | RM_RL_mod_FNE_split_HM_NI (Nickel-Gewässerfrachten, aufsummiert entlang des Abflussbaumes)      |  |
| Quecksilber                       | 7439-97-6  | RM_RL_mod_FNE_split_HM_HG (Quecksilber-Gewässerfrachten, aufsummiert entlang des Abflussbaumes) |  |
| Kupfer                            | 7440-50-8  | RM_RL_mod_FNE_split_HM_CU (Kupfer-Gewässerfrachten, aufsummiert entlang des Abflussbaumes)      |  |
| Chrom                             | 7440-47-3  | RM_RL_mod_FNE_split_HM_CR (Chrom-Gewässerfrachten, aufsummiert entlang des Abflussbaumes)       |  |
| Cadmium                           | 7440-43-9  | RM_RL_mod_FNE_split_HM_CD (Cadmium-Gewässerfrachten, aufsummiert entlang des Abflussbaumes)     |  |
| Arsen                             | 7440-38-2  | RM_RL_mod_FNE_split_HM_AS (Arsen-Gewässerfrachten, aufsummiert entlang des Abflussbaumes)       |  |
| Phosphor gesamt                   |            | RM_RL_Lcalc_P (Phosphor-Gewässerfracht im Analysegebiet (Retention))                            |  |
| Stickstoff gesamt                 |            | RM_RL_Lcalc_N (Stickstoff-Gewässerfracht im Analysegebiet (Retention))                          |  |
| Ammonium-Sticks                   | 14798-03-9 |   |  |

Statistische Güteparameter wie die systematische Abweichung (BIAS), die Wurzel aus dem mittleren quadratischen Fehler (RMSE) sowie der Modelleffizienzkoeffizient nach Nash-Sutcliffe müssen derzeit noch außerhalb von MoRE bspw. über R<sup>1</sup> ermittelt werden.

### 2.3 Vorteile des MoRE-Systems

Der hauptsächliche Vorteil von MoRE liegt in der Art und Weise der Umsetzung des Werkzeuges. Die Software ist so programmiert, dass für die Arbeit mit MoRE keine Programmierkenntnisse notwendig sind. Der Benutzer kann neue Eingangsdaten (u. a. andere Einzugsgebiete) und Berechnungsansätze ohne großen Aufwand in MoRE einbinden und deren Auswirkungen auf die Modellergebnisse testen. Dies ist der Einbindung eines generischen Rechenkerns zuzuschreiben. Dieser liest während eines Rechenlaufs (Modellierung) die definierten Eingangsdaten (und deren Varianten) aus der PostgreSQL-Datenbank und führt die Berechnungen gemäß den zugrundeliegenden Modellierungsansätzen (empirischen Gleichungen) aus. Da der Rechenkern keine Formeln enthält, sondern lediglich die logische Struktur der Datenbank, muss er nicht an Veränderungen neuer Rechenalgorithmen angepasst werden, so lange die logische Datenbankstruktur beibehalten wird.

Derzeit werden in MoRE die Bilanzgrößen Wasserbilanz, Einträge in die Gewässer, Gewässerfrachten und Kosten modelliert. Dabei ist es möglich, die jeweiligen Bilanzgrößen für die AU getrennt zu berechnen oder entlang eines definierten Abflussbaumes zu addieren. Weitere Bilanzgrößen können bei gegebener Datenlage ohne großen Aufwand hinzugefügt werden. Das beschriebene Stoffspektrum kann, entsprechend der Datenverfügbarkeit, vom Nutzer erweitert werden.

Aufgrund seiner hohen Performance ist MoRE gut dafür geeignet, die für die Aufgaben der Berichterstattung benötigten Daten zu verarbeiten und die geforderten Ergebnisse zu erzeugen. Dies betrifft insbesondere die Grundlagendaten, Eingangsdaten und Ergebnisse sowie die Berechnungsansätze. Aufgrund der implementierten Dokumentation der Daten, Ansätze und Ergebnisse ist eine gute Nachvollziehbarkeit und spätere Reproduktion der Ergebnisse gegeben. Das ist besonders für Berichterstattungsprozesse und die Ausweisung von Maßnahmen zur Eintragsreduzierung wichtig und unabdingbar.

<sup>1</sup> R ist eine freie Programmiersprache für statistische Berechnungen und die Erstellung von Graphiken (<https://www.r-project.org/>)



### 3 Anpassung der Eingangsdaten und Modellierungsansätze und Darstellung der Ergebnisse

Eine wesentliche Aufgabe des Vorhabens war mit Blick auf die Verbesserung der Aussagefähigkeit der Modellergebnisse des bundeseinheitlichen Modellinstrumentes MoRE, die Prüfung und Integration verbesserter Eingangsdaten und Modellierungsansätze. Ziel war daher einerseits die Verfügbarkeit höher räumlich und zeitlich aufgelöster Eingangsdaten und deren Auswirkungen auf die Modellergebnisse zu prüfen. Eingangsdaten, die ein Gewinn für die Aussagefähigkeit der Ergebnisse darstellen, waren in MoRE zu integrieren. Andererseits war es Ziel, die bisher verwendeten Modellansätze im Vergleich zu weiteren methodischen Ansätzen zu prüfen und mögliche Verbesserungen in das Modell zu integrieren. Wichtiges Kriterium für die Auswahl und die Entscheidung über eine Übernahme in MoRE war die Frage, ob die Daten und Ansätze in der räumlichen Auflösung zum MoRE-Konzept passen und ob die für einen methodischen Ansatz notwendigen Daten bundesweit in guter Qualität und längerfristig verfügbar sind.

Zur Sichtung der verfügbaren und verwendeten methodischen Ansätze und Eingangsdaten wurden im Wesentlichen die veröffentlichten BWP und MP der Länder herangezogen und die Informationen systematisch ausgewertet. Bei der Erstellung der ersten BWP und MP wurden von den Ländern und Flussgebietsgemeinschaften teilweise eigene sehr komplexe Werkzeuge zur Quantifizierung der Stoffeinträge entwickelt und verwendet. Für die Nährstoffbilanzierung wurde häufig das Modell MONERIS (Behrendt et al. 1999) verwendet. Individuell wurden allerdings teilweise verschiedene Anpassungen dieses Werkzeuges vorgenommen, um spezifische in der Regel höher aufgelöste Eingangsdaten und Besonderheiten der Topographie oder Landnutzung sachgerecht abbilden zu können. Weitere Modelle, die zur Eintragsmodellierung verwendet wurden, sind insbesondere: MEPHOS (Tetzlaff; 2006 2006), STOFFBILANZ (Gebel et al. 2012), MOBINEG (Kubiniok et al. 2005) sowie der Modellverbund RAUMIS/GROWA/DENUZ/WEKU/MEPHOS (Heidecke et al. 2014; Kreins et al. 2010).

Eine wesentliche Erkenntnis dieser Auswertung ist, dass die meisten Modelle lediglich die Einträge von Nährstoffen modellieren. Angaben zu Schadstoffen fehlen häufig in den BWP. Das Modellinstrument MoRE modelliert neben Schwermetall-Einträgen auch den Summenparameter PAK<sub>16</sub>. Darüber hinaus wurden im Rahmen zweier Vorhaben weitere prioritäre Stoffe wie die Pflanzenschutzmittel Isoproturon und Diuron und der Weichmacher DEHP (Fuchs et al. 2013b) sowie Nonylphenol und einzelne Arzneistoffe (Hillenbrand et al. 2014) in die bundesweite Modellierung aufgenommen.

Die Modelle der Länder und FGGen unterscheiden sich zudem in ihrer räumlichen Bezugsgröße. Teilweise sind sie für die Modellierung auf Basis natürlicher (und unterschiedlich großer) Einzugsgebiete konzipiert, teilweise modellieren sie rasterbasiert.

Unter Berücksichtigung der einleitend genannten Kriterien, der Ergebnisse themenspezifischer Diskussionen mit Expertengruppen und in Abstimmung mit dem B/L AK Stoffeintragsmodellierung sollte bei den bisher verwendeten Eingangsdaten und methodischen Ansätzen der folgenden Eingangsdaten und Eintragspfade ein Anpassungsbedarf geprüft werden:

- Eingangsdatum: Landnutzung (Abschnitt 3.1)
- Eingangsdatum atmosphärische Deposition (Abschnitt 3.2)
- Eingangsdatum Stickstoff-Überschüsse (Abschnitt 3.3)

- Eintragungspfad kommunale Kläranlagen (Abschnitt 3.4)
- Eintragungspfad Kanalisationssysteme (Abschnitt 3.5)
- Eintragungspfad Erosion (Abschnitt 3.6)
- Eintragungspfad Dränagen (Abschnitt 3.7)
- Eintragungspfad Grundasser (Abschnitt 3.8)

Neben den eintragungspfadspezifischen Modelleingangsdaten werden einzelne Datensätze pfadübergreifend verwendet. Das betrifft bspw. den Datensatz zur Beschreibung der Landnutzung. Für den aktuell verwendeten Datensatz wurde ebenfalls geprüft, ob alternative Datensätze vorliegen, diese für eine Übernahme in das Modell geeignet sind und sich die Modellaussage durch deren Verwendung verbessert. Die Ergebnisse dieser Prüfung sind in Abschnitt 3.1 dargestellt.

In den Abschnitten 3.2 bis 3.8 werden die weiteren bisher verwendeten Eingangsdaten und Modellierungsansätze dargestellt sowie die durchgeführten Anpassungen erläutert.

Die Ergebnisse der Modellierung mit den angepassten Varianten von Eingangsdaten und Ansätzen werden in den einzelnen Abschnitten exemplarisch für das Jahr 2010 dargestellt. Dieses Jahr spiegelt die mittleren hydrologischen Verhältnisse gut wider. Es erfolgt eine Gegenüberstellung der neuen und bisherigen Modellierungsergebnisse der einzelnen Eintragungspfade und eine Aussage über die Auswirkung in Bezug auf die Gesamteinträge – bei ansonsten unveränderten Eingangsdaten und Ansätzen in den anderen Eintragungspfaden.

### **3.1 Eingangsdatum Landnutzung**

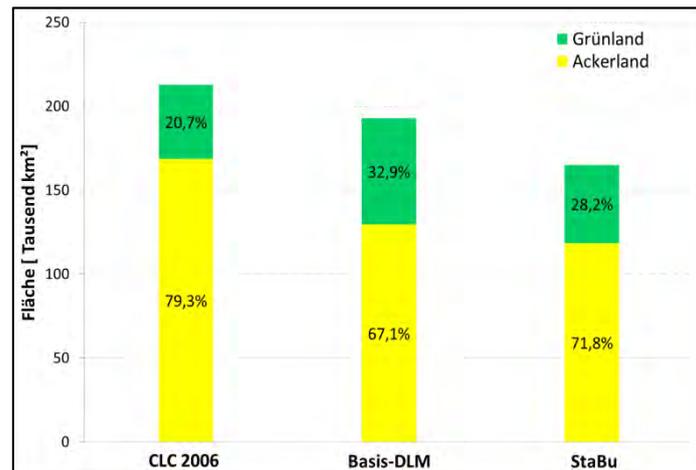
Es gibt verschiedene Landnutzungsdatensätze, die von nationalen und internationalen Behörden bereitgestellt werden.

Bislang wurde der europaweit verfügbare Raster-Datensatz Corine Landcover (CLC) 2006 von EEA (2013a) für die Eintragsmodellierung verwendet, da dadurch eine homogene Datenbasis sowohl für Deutschland als auch die ausländischen Gebietsteile internationaler Flusseinzugsgebiete zur Verfügung steht. Im Rahmen eines FuE Vorhabens (Fuchs et al. 2012) wurde dieser Datensatz mit dem nur für Deutschland verfügbaren Landnutzungsdatensatz Basis-DLM (Digitales Landschaftsmodell) vom Bundesamt für Kartographie (BKG) (BKG 2010a) verglichen. Dabei stellte sich heraus, dass die urbane Fläche aus den beiden Datensätzen in der Summe für Deutschland gut übereinstimmt. Zur Plausibilisierung der Landnutzungs-Datensätze wurden Daten zu den Siedlungsflächen des Statistischen Bundesamtes (StaBu) herangezogen. Die statistischen Daten gelten als verlässlich, liegen jedoch auf Ebene von Gemeinden und somit nicht räumlich differenziert vor. Bezogen auf den Anteil der ausgewiesenen Siedlungsflächen beträgt die Abweichung zu den statistischen Daten ca. -1,8 % für den CLC2006-Datensatz und ca. +2,8 % für den Basis DLM-Datensatz, was auf eine gute Qualität der räumlich differenzierten Datensätze schließen lässt.

Anders sieht es hingegen bei den landwirtschaftlichen Flächen aus. Hier gibt es sowohl bei der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche als auch bei deren Aufteilung in Acker- und Grünland deutliche Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Datensätzen. Die landwirtschaftliche Nutzfläche insgesamt und die Ackerfläche im Speziellen sind im Datensatz CLC2006 im Mittel für Deutschland deutlich höher als im Datensatz Basis-DLM (10 % bzw. 30 %). Die Grünlandfläche ist nach CLC2006 um 30 % niedriger als im Basis-DLM. Auch für die landwirtschaftlichen Flächen wurden statistische Daten vom StaBu

(2011a) herangezogen. Dabei ist festzustellen, dass die statistischen Daten deutlich geringere Flächenanteile ausweisen als CLC2006 und Basis-DLM (-22 % bzw. -14 %). Da die Abweichungen von Basis-DLM zu den statistischen Daten geringer ausfallen als bei CLC2006 (sowohl in der Gesamtfläche als auch in deren Aufteilung auf Ackerland und Grünland), deutet der Vergleich auf eine bessere Abbildung der landwirtschaftlichen Nutzflächen durch den Datensatz Basis-DLM hin. Detaillierte Informationen sind Abbildung 11 sowie dem Bericht von Fuchs et al. (2012) zu entnehmen.

Abbildung 11: Absolute Flächen von Acker- und Grünland sowie relative Anteile im Mittel für Deutschland anhand der Datensätze CLC2006, Basis-DLM und StaBu (aus Fuchs et al. 2012)



Trotz der besseren Abbildung der landwirtschaftlichen Flächen im Basis-DLM wurde das Eingangsdatum Landnutzung im Rahmen des Vorhabens nicht angepasst und weiterhin CLC2006 verwendet. Dieses Vorgehen hat insbesondere zwei Gründe:

- Der Datensatz CLC2006 steht im Gegensatz zum Basis-DLM europaweit und somit für alle zu modellierenden auch internationalen Flusseinzugsgebiete zur Verfügung. Durch seine Verwendung liegt ein homogener Datensatz zur Landnutzung vor.
- Der Bodenabtrag wurde im Vorfeld des Vorhabens auf Basis von CLC2006 erstellt und konnte im Rahmen des Vorhabens nicht mehr neu berechnet werden. Durch die Verwendung eines anderen Datensatzes für die Abbildung weiterer Eintragspfade würde die Aussagekraft der Modellierungsergebnisse deutlich vermindert.

Für die weiteren Arbeiten zur Stoffeintragsmodellierung wird jedoch prinzipiell empfohlen, den nur für Deutschland vorliegenden Datensatz Basis-DLM zu verwenden. Inwieweit sich die inhomogene Datenbasis bei den Ergebnissen und deren Verlässlichkeit niederschlägt, kann derzeit nicht abgeschätzt werden. Um eine homogene Datenbasis herzustellen, sollte die Eignung des derzeit noch nicht fertig gestellten Datensatzes CLC2012 geprüft werden.

Grundsätzlich wird für die Berechnung in MoRE derzeit der Landnutzungsdatensatz CLC2006 beibehalten. Für einzelne Arbeitsschritte wurde allerdings der Datensatz Basis-DLM zur Übertragung einzelner statistische Daten auf die AU verwendet. Dies betrifft die Einträge von Kläranlagen < 2.000 EW (Nominalbelastung) sowie alle statistischen Daten zu Entwässerungssystemen. Weitere Details dazu finden sich in den Abschnitten 3.4 und 3.5.

### **3.2 Eingangsdatum Atmosphärische Depositionsrates**

Die atmosphärische Depositionsrates beeinflusst grundsätzlich jeden Eintragspfad. In MoRE fließt sie direkt derzeit jedoch nur stoffübergreifend beim Eintragspfad „atmosphärische Deposition auf die Gewässerflächen“ sowie spezifisch für Stickstoff bei der Berechnung der Stoff-Überschüsse im Oberboden ein.

In MoRE wird für die Modellierung der Einträge über atmosphärische Deposition auf die Gewässerflächen der europaweit verfügbare Datensatz von EMEP/MSWEE (2013) bzw. EMEP/MSWEE-East (2013) zur atmosphärischen Depositionsrates verwendet. Dieser liegt in einem Raster von 50 km x 50 km für Stickstoff, Cadmium, Quecksilber, Blei und Benzo(a)pyren vor und wird jahresweise fortgeschrieben. Für die Schwermetalle Kupfer, Nickel und Zink wurden die Depositionsrates für alle AU anhand der Daten der deutschen und benachbarten ausländischen Messstationen über die Schwermetallkonzentration im Niederschlag, die Schwermetallkonzentration in der Luft PM10-Feinstaub und die jährliche Niederschlagssumme für denselben Zeitraum berechnet (BMU 2002; EMEP/NILU 2012; Fuchs et al. 2014a). Unter Berücksichtigung der Berechnungsergebnisse für die deutschen und benachbarten ausländischen Messstationen wurden die Depositionsrates über den gesamten deutschen Raum durch die Ordinary-Kriging-Methode interpoliert. Für Phosphor und Chrom wird aufgrund mangelnder Datensätze zur regionalen Verteilung ein konstanter Wert für alle AU verwendet.

Daneben gibt es den Datensatz MAPESI (Bultjes et al. 2011), der lediglich für Deutschland verfügbar ist. Dessen räumliche Auflösung ist zwar mit 1 km x 1 km deutlich höher, er ist jedoch für die Jahre ab 2008 nicht verfügbar. Dieser Datensatz für das Jahr 2008 wurde aufgrund seiner räumlich deutlich höheren Auflösung bei der Berechnung der N-Überschüsse durch Bach et al. (2014) verwendet. Dies stellt in gewissem Sinne eine Inhomogenität dar. Nichtsdestotrotz wurden zwei verschiedene Datensätze aus den erläuterten Gründen verwendet.

Die Depositionsrates von MAPESI und EMEP unterscheiden sich gravierend. Sicherlich ist der Datensatz MAPESI gegenüber dem Datensatz EMEP aufgrund der höheren Auflösung zu bevorzugen. Solange jedoch nicht sichergestellt ist, dass und in welchem Umfang er fortgeführt wird, wird er in der bundesweiten Modellierung mit MoRE für die Eintragsberechnung im Pfad „atmosphärische Deposition auf die Gewässerflächen“ nicht verwendet.

### **3.3 Eingangsdatum N-Überschüsse**

Die N-Überschüsse auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche durch Mineraldünger, Wirtschaftsdünger und atmosphärische Deposition sind eine der wichtigsten Eingangsgrößen für die Quantifizierung der Stickstoffeinträge aus der Landwirtschaft über die Pfade „Dränagen“ und „Grundwasser“ in die Gewässer. Sie sind Eingangsdatum für das MoRE-Modell und werden im Präprozessing erzeugt. Für die Modellierung mit MoRE werden die N-Überschüsse auf Ebene der Kreise und der kreisfreien Städte für Deutschland von Bach et al. (2014) ermittelt. Das methodische Vorgehen und die verwendeten Eingangsdaten sind ausführlich dokumentiert (s. Anhang 10.7). Im Rahmen dieses Vorhabens wurden die N-Überschüsse von den Kreisen auf die AU anhand einer neuen Methode übertragen. Die bisherige Übertragung sowie die neue Methodik zur Übertragung sind in den Abschnitten 3.3.1 und 3.3.2 erläutert. Die erzeugten Ergebnisse werden in Abschnitt 3.3.3 dargestellt und diskutiert.

### **3.3.1 Bisherige Übertragung der N-Überschüsse auf die Analysegebiete**

Die N-Überschüsse für die Kreise und kreisfreien Städte der Einzeljahre 2006-2011 von Bach et al. (2014) wurden auf die AU übertragen, indem die Vektordaten (Polygon) der Kreise in eine Rasterdatei mit der Auflösung von 100 m x 100 m umgewandelt wurde. Die Rasterwerte innerhalb eines AU wurden gemittelt. D.h. bislang wurden die N-Überschüsse flächengewichtet als mittlere N-Überschüsse pro ha landwirtschaftliche Nutzfläche übertragen. Da in MoRE der Datensatz CLC2006 (EEA 2013a) für die landwirtschaftlichen Nutzflächen (21 Mio ha) verwendet wird, der mehr Flächen aufweist als die von Bach et al. (2014) verwendeten statistischen Daten (16 Mio ha), resultiert eine Überschätzung der absoluten N-Überschüsse (in kg) für Deutschland. Aus diesem Grund wurde eine neue Vorgehensweise für die Übertragung der Daten von den Kreisen auf die AU gewählt.

### **3.3.2 Neues methodisches Vorgehen**

In dem neuen methodischen Vorgehen wurden die N-Überschüsse anhand der Lage landwirtschaftlicher Nutzflächen innerhalb der AU übertragen. Bach et al. (2014) verwenden für die Ableitung der Größe der landwirtschaftlichen Nutzfläche auf Kreisebene statistische Daten. Basisgröße für die Übertragung der N-Überschüsse auf die AU ist der Datensatz CLC2006 (EEA 2013a), der in MoRE der Flächenbilanz zugrunde liegt. Zunächst wurden die N-Überschüsse, die in kg pro ha landwirtschaftliche Nutzfläche vorliegen, anhand der statistischen Daten auf Kreisebene (s. Bach et al. 2014) in absolute N-Überschüsse (in kg) umgerechnet. Über die Verschneidung der Vektordatensätze zu den landwirtschaftlichen Flächen nach CLC2006, den Kreisen und den AU wurden die gemeinsamen Schnittflächen berechnet. Deren Größe (in ha) wird mit der jeweiligen CLC-landwirtschaftlichen Nutzfläche der Kreise ins Verhältnis gesetzt, um einen spezifischen Übertragungsfaktor zu ermitteln. Die absoluten N-Überschüsse wurden dann mittels Übertragungsfaktor in Beziehung gesetzt zu den CLC-landwirtschaftlichen Nutzflächen der AU.

Ziel der neuen Übertragungsmethode besteht einerseits darin, im Hinblick auf die Konsistenz der verwendeten Informationen eine einheitliche Landnutzungsinformation zu verwenden. Andererseits weisen die von Bach et al. (2014) verwendeten statistischen Daten mit 16 Mio ha eine deutlich geringere landwirtschaftliche Nutzfläche aus als nach CLC2006 (21 Mio ha). Daher würde sich rein rechnerisch ein im Mittel ca. 20 % höherer absoluter N-Überschuss (in kg) für die landwirtschaftlichen Flächen in Deutschland ergeben, wenn die spezifischen N-Überschüsse mit den landwirtschaftlichen Nutzflächen nach CLC2006 multipliziert werden. Um diesen Überschätzungsfehler zu vermeiden, wurde das neue methodische Vorgehen gewählt. Bei ihm werden die absoluten N-Überschüsse auf die AU verteilt, sodass für einzelne AU niedrigere flächenspezifische N-Überschüsse resultieren. In der Summe werden aber die N-Einträge realitätsnäher abgebildet.

### **3.3.3 Ergebnisse**

Abbildung 12 zeigt das Ergebnis der Übertragung anhand der landwirtschaftlichen Nutzflächen von CLC2006 im Direktvergleich zu den Eingangsdaten auf Kreisebene. Hieraus geht hervor, dass der mittlere N-Überschuss auf Ebene der AU niedriger ist als auf Ebene der Kreise und kreisfreien Städte. Zudem ist ersichtlich, dass der mittlere N-Überschuss pro AU nach der angepassten Übertragungsmethode niedriger liegt als bei der früher verwendeten Methode (Basisvariante). Beide Phänomene sind der Verwendung

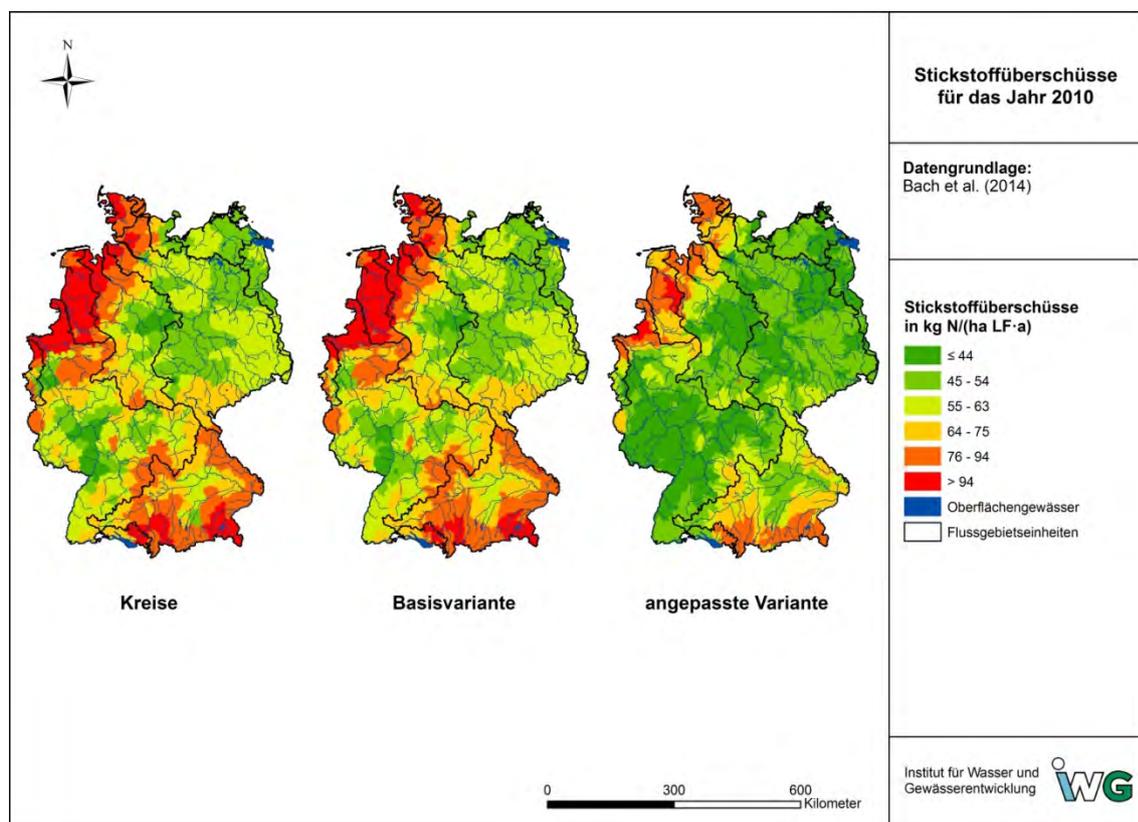
der unterschiedlichen Datensätzen zur Ableitung der Größe der landwirtschaftlichen Flächen zuzuschreiben, auf die spezifischen N-Überschüsse bezogen werden (s. Abschnitt oben).

Wie oben schon erwähnt, werden durch die neue Übertragungsmethodik die mittleren N-Überschüsse pro Gebiet als Eingangsdatum zwar rechnerisch heruntergesetzt, dafür basieren aber die Stickstoff-Einträge über Dränagen auf die tatsächlichen absoluten N-Überschüsse in Deutschland und werden realitätsnäher in der Modellierung abgebildet.

Die Änderung der N-Überschüsse betrifft direkt den Eintragspfad „Dränagen“, indem die berechneten N-Konzentrationen im Abfluss von dränierten Acker- und Grasland niedriger werden und entsprechend auch die Einträge. Die Auswirkung der angepassten N-Überschüsse auf den Eintragspfad „Grundwasser“ sind marginal, da der N-Überschuss im aktuellen Berechnungsjahr kaum eine Rolle spielt. Dort ist der langjährige mittlere N-Überschuss während der Grundwasseraufenthaltszeit die wesentliche Einflussgröße. Zukünftig müssen die alten Überschüsse in dem Zeitraum vor 2005 auch nach der neuen Methodik übertragen werden, so dass die Daten zumindest in Hinsicht auf die Übertragung homogen sind.

Die angepasste Variante der N-Überschüsse wurden im Rahmen des Vorhabens in ihrer Auswirkung zusammen mit den Änderungen bei den Ansätze für die Berechnung der Stickstoffeinträge über Dränagen untersucht (s. folgender Abschnitt 3.7).

**Abbildung 12: Vergleich der Stickstoff-Überschüsse auf Ebene der Kreise und nach der Übertragung auf die Analysegebiete im Jahr 2010 in Deutschland**



### **3.3.4 Empfehlungen zur bundeseinheitlichen Modellierung**

Für die bundeseinheitliche Modellierung wird empfohlen weiterhin die N-Überschüsse im Präprozessing auf Ebene der Kreise und der kreisfreien Städten zu berechnen. Unabhängig von den Bilanzebenen (Kreise oder Gemeinden) ist die Summe der N-Bilanzen der BL mit der Summe von Deutschland (+/- 1-2 % Abweichung) vergleichbar, der Aufwand für die Berechnung der N-Überschüsse auf Gemeindeebene ist aber in Bezug auf die bundesweit verfügbaren Daten mit einem überproportional hohen Aufwand verbunden. Darüber hinaus wurde auf dem im Rahmen des Projektes durchgeführten Expertenworkshop festgehalten, dass nicht die Methodik zur Abschätzung der N-Überschüsse die kritische Größe ist, sondern die verfügbaren und verwendeten Datengrundlagen. Die Berechnungsmethoden, die auf agrarstatistische Daten basieren, zeigen kaum Unterschiede auf.

Die entwickelte Vorgehensweise zur Übertragung der N-Überschüsse von den Kreisen bzw. kreisfreien Städten auf die AU ist zu empfehlen, damit die Stickstoffeinträge über Dränagen realitätsnäher abgebildet werden und keine Überschätzung der Relevanz von diesem Eintragungspfad resultiert. Nachteilig bei dieser Vorgehensweise ist, dass bei Betrachtung der in MoRE als Zwischenergebnisse ausgegebenen N-Konzentrationen im Abfluss von dräniertem Acker- und Grünland unterschätzt werden. Durch einen realitätsnäheren Landnutzungsdatensatz würde diese Inkonsistenz beseitigt (vgl. dazu Abschnitt 3.1).

## **3.4 Eintragungspfad kommunale Kläranlagen**

Im Folgenden wird die Modellierung der Stoffeinträge über den Eintragungspfad Kommunale Kläranlagen bisher (Abschnitt 3.4.1) und nach der neuen Vorgehensweise (Abschnitt 3.4.2) dargestellt.

### **3.4.1 Bisherige Modellierung der Einträge über kommunale Kläranlagen**

Bislang erfolgte die Modellierung der Einträge über kommunale Kläranlagen nach der Methode von Fuchs et al. (2010a) und Fuchs et al. (2014a) auf Ebene der AU. Die notwendigen Eingangsdaten wurden im Präprozessing aufbereitet. Dabei handelt es sich zunächst um das allgemeine Eingangsdatum „Jahresabwassermenge“ (Abschnitt 3.4.1.1). Die notwendigen stoffspezifischen Eingangsdaten waren bisher die Stofffrachten (Stickstoff und Phosphor) (Abschnitt 3.4.1.2) und die Ablaufkonzentrationen (Schwermetalle und PAK) (Abschnitte 3.4.1.3 bis 3.4.1.4). Bei der Datenaufbereitung wurden kommunale Kläranlagen größenklassenspezifisch nach der Nominalbelastung (tatsächlich behandelte Abwassermenge) in EW unterteilt, wobei die Grenze auf die Kläranlagen  $\geq 2.000$  EW und  $< 2.000$  EW gelegt wurde.

#### **3.4.1.1 Jahresabwassermenge**

Für den Eintragungspfad „Kommunale Kläranlagen“ ist die Jahresabwassermenge die Größe, die den Stoffeintrag unmittelbar beeinflusst. Diese wurde je nach Kläranlagengröße anhand unterschiedlicher Quellen abgeleitet.

Für die Abwassermenge der kommunalen Kläranlagen  $\geq 2.000$  EW wurden die Daten der Länder für die Berichterstattung zur Kommunalabwasserrichtlinie (UBA 2013c) der Berichtsjahre 2008 und 2010 verwendet. Der Datensatz liefert eine punktgenaue Information über die Lage der kommunalen Kläranlagen und ihre Einleitstellen. So wurden die Jahresabwassermengen lagegetreu auf die AU übertragen. Auf AU-Ebene

wurden für die Jahre 2006 und 2007 die Werte aus dem Jahr 2008 übernommen, für das Jahr 2009 wurde der Mittelwert der Jahre 2008 und 2010 verwendet und für das Jahr 2011 wurden die Werte aus dem Jahr 2010 übernommen.

Daten zur Jahresabwassermenge aller kommunalen Kläranlagen in Deutschland liegen in der „Statistik der öffentlichen Abwasserbehandlung, Merkmal Abwasserbehandlungsanlage“ des Forschungsdatenzentrums der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (FDZ) für das Jahr 2007 und 2010 vor (FDZ 2012, 2013a). Diese Statistik wurde genutzt, um den Datensatz aus der Berichterstattung zur Kommunalabwasserrichtlinie ( $\geq 2.000$  EW) mit den Daten aus den Anlagen  $> 50$  bis  $< 2.000$  EW (Nominalbelastung) zu ergänzen. Aus Datenschutzgründen dürfen die Daten der Einzelanlagen jedoch nur in aggregierter Form veröffentlicht werden. Deswegen wurden die Daten der Anlagen auf Gemeindeebene der Einleitstelle aggregiert. Das Ergebnis wurde mit den AU verschnitten und flächengewichtet auf diese übertragen.

Da die Daten des FDZ neben 2010 nur für 2007 vorliegen, wurden die Werte für das Jahr 2006 aus dem Jahr 2007 übernommen, die Jahre 2008 und 2009 wurden linear interpoliert aus den Werten für 2007 und 2010. Für das Jahr 2011 wurden die Werte aus dem Jahr 2010 übernommen.

#### **3.4.1.2 Nährstofffrachten im Kläranlagenablauf**

Die Quantifizierung der Nährstoffeinträge aus kommunalen Kläranlagen basierte bisher (Basisvariante) auf den Nährstofffrachten im Kläranlagenablauf. Diese waren gleichzeitig Eingangsdatum und Endergebnis für die Modellierung. Analog zu den Jahresabwassermengen (s. Abschnitt 3.4.1.1) wurden die Nährstoffeinträge kommunaler Kläranlagen in die Gewässer in Abhängigkeit von der Nominalbelastung in zwei getrennten Datensätzen ermittelt.

Für die kommunalen Kläranlagen  $\geq 2.000$  EW Nominalbelastung wurden die Daten aus der Kommunalabwasserrichtlinie (UBA 2013c) für die Berichtsjahre 2008 und 2010 verwendet. Die Stickstoff- und Phosphorfrachten im Kläranlagenablauf werden für alle Kläranlagen  $\geq 2.000$  EW Nominalbelastung berichtet, sodass diese im Präprozessing auf die AU übertragen werden konnten. Für die kommunalen Kläranlagen  $< 2.000$  EW Nominalbelastung wurden die Daten aus der Statistik der öffentlichen Abwasserbehandlung für das Jahr 2007 und für 2010 (FDZ 2012, 2013a) verwendet. Die Daten wurden auf Gemeindeebene aggregiert, mit den AU verschnitten und flächengewichtet auf diese übertragen.

Die Ableitung der Eingangsdaten für die fehlenden Jahre erfolgte analog zur Vorgehensweise bei den Jahresabwassermengen (s. Abschnitt 3.4.1.1).

#### **3.4.1.3 Konzentration von Schwermetallen im Kläranlagenablauf**

Die Quantifizierung der Schwermetalleinträge aus kommunalen Kläranlagen basiert auf der behandelten Abwassermenge und den Schwermetallkonzentrationen im Kläranlagenablauf.

Im Rahmen der Arbeiten zur Durchführung der ersten Bestandsaufnahme der Emissionen, Einleitungen und Verluste nach Art 5 der Richtlinie 2008/105/EG (Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union 2008a) bzw. § 4 der Oberflächengewässerverordnung (OGewV) (BMJV 2011) stellten einige Länder aktuelle Daten zu Konzentrationen prioritärer Stoffe, u.a. prioritäre Schwermetalle (Hg, Cd, Ni, Pb), in Abläufen von kommunalen Kläranlagen und in Klärschlamm zur Verfügung (UBA 2015). Diese Daten wurden überwiegend im Rahmen von Sondermessprogrammen

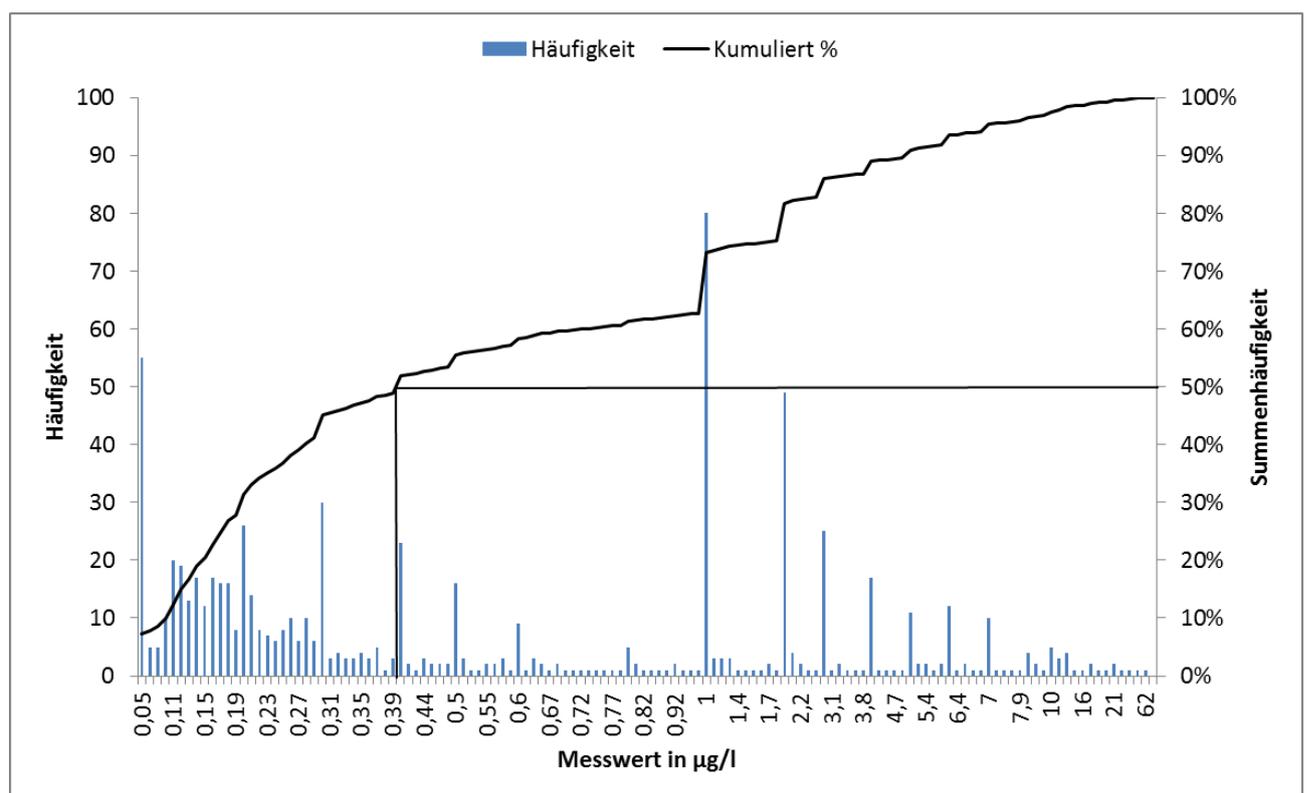
erhoben. Die Daten wurden in einer Datenbank zusammengefasst und vom IWG-SWW ausgewertet.

Die Auswertung der Daten zeigte, dass die analytische BG große Auswirkung auf die Berechnung der mittleren Ablaufkonzentrationen hat, da bei der Frachtermittlung Messwerte kleiner der analytischen BG mit dem halben Wert der BG berücksichtigt werden. Nun stellt sich das Problem, dass je höher die verwendete analytische BG ist, umso höher liegen die statistischen Kenngrößen Median und Mittelwert eines Datenkollektivs. Darüber hinaus wird bei Verwendung wenig sensitiver analytischer Verfahrenen in der Regel auch ein großer Anteil an Messwerten unterhalb der BG erzeugt (Dimitrova 2011). Dies führt in der Auswertung rechnerisch zu mittleren Ablaufkonzentrationen, die deutlich über den realen Werten liegen.

Um die Qualität der ermittelten Konzentrationen zu gewährleisten, wurden bei der Auswahl des Datenkollektivs Qualitätskriterien angewendet.

Als erstes Kriterium wurden stoffspezifisch maximal zulässige BG abgeleitet. Dabei wurde die Verteilung der Messwerte oberhalb der verwendeten BG berücksichtigt. Dort, wo der Median der Summenhäufigkeit die kumulierten Messwerte schneidet, ist die Grenze der halben maximal zulässigen BG (Abbildung 13). Nur Messreihen die diese BG nicht überschreiten, wurden berücksichtigt.

Abbildung 13: Ermittlung der maximal zulässigen Bestimmungsgrenze für Blei



Die neu abgeleiteten maximal zulässigen BG für Schwermetalle sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Maximal zulässige Bestimmungsgrenzen (BG) für Schwermetalle im Kläranlagenablauf [ $\mu\text{g/L}$ ]

| Schwermetall | Bestimmungsgrenze [ $\mu\text{g/L}$ ] |
|--------------|---------------------------------------|
| Cadmium      | 0,2                                   |
| Chrom        | 2                                     |
| Kupfer       | 14                                    |
| Quecksilber  | 0,05                                  |
| Nickel       | 11                                    |
| Blei         | 0,8                                   |
| Zink         | 60                                    |

Als zweites Qualitätskriterium wurde geprüft, ob innerhalb einer Messreihe mindestens 10 % der Messwerte über der BG liegen. Als drittes Kriterium wurden nur Untersuchungen ab dem Jahr 2006 berücksichtigt. Ausreißer wurden eliminiert.

Die von den Ländern im Rahmen der Bestandsaufnahme bereitgestellten Daten wurden nach den oben beschriebenen Qualitätskriterien ausgewertet und aktuelle Konzentrationen prioritärer Schwermetalle im Ablauf der kommunalen Kläranlagen auf Bundeslandebene ermittelt. Für Länder ohne eigene Messprogramme oder mit Messwerten, die auf Grund der festgelegten Auswahlkriterien nicht berücksichtigt wurden, wurde die aus dem gesamten Datenkollektiv (u.a. Datenlieferung aller Länder und diverse Literaturquellen: Bachor et al. (2011), Hutter (2009), Loos et al. (2009), Lambert et al. (2014), Erftverband (2011)) abgeleitete aktuelle mittlere Konzentration verwendet. Ein entsprechender Ausreißer-Grenzwert wurde stoffspezifisch festgesetzt (Gleichung 1). Zur Ableitung des Grenzwertes wurden nur Messwerte oberhalb der BG verwendet.

#### Gleichung 1

$$\text{Grenzwert} = 3. \text{Quartil} + 1,5 \times \text{Quartilsabstand}$$

Die Ergebnisse der Analyse sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Darin sind zusätzlich die Anzahl der Messungen, die in die Auswertung einfließen und die Anzahl der Messwerte oberhalb der BG aufgeführt.

Tabelle 2: Mittlere Schwermetall-Konzentrationen für Länder ohne aktuelle Datenlieferung

| Stoff       | Mittelwert der Konzentration [ $\mu\text{g/L}$ ] | Anzahl Messwerte | Anzahl Messwerte > BG |
|-------------|--|------------------|-----------------------|
| Cadmium     | 0,06   | 1.493            | 659                   |
| Chrom       | 0,77   | 356              | 311                   |
| Kupfer      | 4,99   | 3.917            | 1.585                 |
| Quecksilber | 0,0055*)   | 603              | 270                   |
| Nickel      | 3,86   | 3.744            | 2.144                 |
| Blei        | 0,20   | 640              | 463                   |
| Zink        | 29,7   | 1.661            | 1.570                 |

\*) Mittelwert nicht verwendet. Ausführungen dazu siehe im folgenden Absatz.

Bei der Aktualisierung der Schwermetallkonzentrationen in Kläranlagenabläufen nimmt Hg eine Sonderstellung ein. Bisher wurde eine mittlere Hg-Konzentration im

Kläranlagenablauf von 0,1 µg/L (mittlerer Wert für alle Länder) in der Modellierung verwendet. Die beschriebenen Untersuchungen zeigen allerdings, dass dieser Wert die tatsächliche Konzentration und damit auch die eingetragenen Frachten weit überschätzt. So wurde bspw. in einer Hg-Messkampagne in Hessen, bei der insgesamt 326 kommunale Kläranlagen untersucht wurden (BG = 0,002 µg/L), eine mittlere Hg-Konzentration in Kläranlagenabläufen von 0,0027 µg/L ermittelt. Zu einem ähnlichen Ergebnis (mittlere Hg Konzentration von 0,003 µg/L) kommen auch andere Studien, bspw. die der Bezirksregierung Arnsberg in Nordrhein-Westfalen (RP Arnsberg 2011). Im Rahmen eines von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt und den BL gemeinsam finanzierten Sondermessprogrammes wurden im Jahr 2013 3 kommunale Kläranlagen in Baden-Württemberg untersucht (BG = 0,001 µg/L). Aus den Untersuchungen geht eine mittlere Ablaufkonzentration von 0,001 µg/L hervor (Lambert et al. 2014). In einer Studie des Landes Schleswig-Holstein (Untersuchung von 12 kommunalen Kläranlagen der Größenklassen 1 bis 5) wurde mit der BG von 0,001 µg/L ebenfalls eine mittlere Ablaufkonzentration von 0,001 µg/L für Hg ermittelt. Da die Hg-Problematik durch die flächendeckende Überschreitung der Umweltqualitätsnorm (UQN) für Biota nach OGWV (BMJV 2011) an Bedeutung gewonnen hat und die aktuellsten Untersuchungen (Lambert et al. 2014) tatsächlich auf eine mittlere Ablaufkonzentration von 0,001 µg/L hindeuten, wird für die Länder ohne eigene Messprogramme der Wert von 0,001 µg/L verwendet. In Tabelle 3 sind die aktuell verwendeten Schwermetallablaufkonzentrationen für die Eintragsberechnung über Kläranlagen zusammengefasst.

Tabelle 3: Bundeslandesspezifische Schwermetallkonzentrationen im Ablauf kommunaler Kläranlagen für den Bilanzzeitraum 2006-2011

| Bundesland             | Schwermetallkonzentrationen [ $\mu\text{g/L}$ ] |                    |                   |                      |                    |                    |                    |
|------------------------|---|--------------------|-------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                        | Cadmium   | Chrom              | Kupfer            | Quecksilber          | Nickel             | Blei               | Zink               |
| Brandenburg            | 0,17 <sup>1)</sup>                              | 0,77               | 4,99              | 0,001                | 2,27 <sup>1)</sup> | 0,20               | 29,7               |
| Berlin                 | 0,06  | 0,77               | 4,99              | 0,001                | 3,86               | 0,20               | 29,7               |
| Baden-Württemberg      | 0,06  | 0,77               | 4,99              | 0,001                | 3,86               | 0,20               | 29,7               |
| Bayern                 | 0,074 <sup>1)</sup>                             | 0,77               | 4,99              | 0,001                | 3,59 <sup>1)</sup> | 0,20               | 29,7               |
| Bremen                 | 0,06  | 0,77               | 4,99              | 0,001                | 3,86               | 0,20               | 29,7               |
| Hessen                 | 0,06  | 0,77               | 4,99              | 0,0027 <sup>1)</sup> | 3,86               | 0,20               | 29,7               |
| Hamburg                | 0,023 <sup>1)</sup>                             | 0,77               | 4,99              | 0,0052 <sup>1)</sup> | 9,17 <sup>1)</sup> | 0,11 <sup>1)</sup> | 29,7               |
| Mecklenburg-Vorpommern | 0,017 <sup>1)</sup>                             | 0,77               | 4,99              | 0,001                | 4,04 <sup>1)</sup> | 0,38 <sup>1)</sup> | 29,7               |
| Niedersachsen          | 0,06  | 0,77               | 4,99              | 0,001                | 3,86               | 0,20               | 29,7               |
| Nordrhein-Westfalen    | 0,033 <sup>1)</sup>                             | 0,97 <sup>1)</sup> | 5,5 <sup>1)</sup> | 0,003 <sup>2)</sup>  | 4,9 <sup>1)</sup>  | 0,22 <sup>1)</sup> | 36 <sup>1)</sup>   |
| Rheinland-Pfalz        | 0,06  | 0,77               | 4,99              | 0,001                | 3,86               | 0,20               | 29,7               |
| Schleswig-Holstein     | 0,013 <sup>1)</sup>                             | 0,61 <sup>1)</sup> | 9,2 <sup>1)</sup> | 0,0011 <sup>1)</sup> | 4,3 <sup>1)</sup>  | 0,26 <sup>1)</sup> | 19,5 <sup>1)</sup> |
| Saarland               | 0,06  | 0,77               | 4,99              | 0,001                | 3,86               | 0,20               | 29,7               |
| Sachsen                | 0,46 <sup>1)</sup>                              | 0,77               | 4,99              | 0,001                | 6,9 <sup>1)</sup>  | 0,48 <sup>1)</sup> | 29,7               |
| Sachsen-Anhalt         | 0,06  | 0,77               | 4,99              | 0,001                | 3,86               | 0,20               | 29,7               |
| Thüringen              | 0,06  | 0,77               | 4,99              | 0,001                | 3,86               | 0,20               | 29,7               |

Quellen: <sup>1)</sup> Datenlieferung der Länder im Rahmen der Bestandsaufnahme; <sup>2)</sup> (RP Arnsberg 2011)

#### 3.4.1.4 Konzentration von PAK<sub>16</sub> im Kläranlagenablauf

Die Abschätzung der PAK<sub>16</sub>-Einträge aus kommunalen Kläranlagen erfolgte über die behandelte Abwassermenge und mittlere Ablaufkonzentrationen, die anhand von Klärschlamm- (Konzentrationen) rückgerechnet wurden.

Für alle Länder, für die nicht explizit ein belastbares Messprogramm (ausreichende Anzahl an validen Messwerten) vorlag, wurde ein PAK<sub>16</sub>-Wert von 5,5 mg/kg Trockenmasse (TM) nach Kördel et al. (2007) angenommen. Für Bayern wurde ein mittlerer Gehalt von PAK<sub>16</sub> in Klärschlämmen von 3,9 mg/kg TM (UBA 2011), und für Schleswig-Holstein ein Gehalt von 0,38 mg/kg TM (Bahr et al. 2007) angenommen. Es ist zu berücksichtigen, dass der Wert um einen Faktor 10 niedriger ist als der Wert aus Bayern 2009, der wiederum niedriger ist als der für Gesamtdeutschland ermittelte Wert. Dies lässt sich möglicherweise durch die niedrigere Deposition in dieser Region erklären, die aus EMEP-Daten hervorgeht. Die Klärschlammkonzentrationen in Ländern, aus denen einzelne Messungen oder nur eine geringere Anzahl an belastbaren Messwerten vorlagen, lagen in der Größenordnung der für Gesamtdeutschland ermittelten Werte.

Ausgehend von den genannten PAK<sub>16</sub>-Konzentrationen im Klärschlamm und den entsprechenden Klärschlamm-mengen (bspw. 1,9 Mio. Tonnen (t) Trockensubstanz (TS) in Deutschland 2010 (BMU 2012), 0,27 Mio. t TS in Bayern (Tausch 2012) und 0,08 Mio. t TS für Schleswig-Holstein (StaBu 2013a)), wurden insgesamt ca. 10 t PAK<sub>16</sub> pro Jahr (t/a) mit

dem Klärschlamm abgeschieden. Unter Annahme eines Wirkungsgrades der vorhandenen Klärverfahren für PAK<sub>16</sub> von mindestens 90 % (Ivašević 2006), der sich vor allem aufgrund von Adsorption an den Klärschlamm ergibt, errechnet sich eine PAK<sub>16</sub>-Fracht im Zulauf der Kläranlagen in Deutschland von 11,13 t PAK<sub>16</sub>/a. Unter Berücksichtigung des genannten Wirkungsgrades gelangen maximal 10 % und somit etwa 1,11 t PAK<sub>16</sub>/a in die Oberflächengewässer.

Unter Verwendung der in Deutschland im Jahr 2007 behandelten Abwassermenge gemäß StaBu (2009) von 10.070 Mio. m<sup>3</sup> kann eine mittlere PAK<sub>16</sub> Ablaufkonzentration kommunaler Kläranlagen von 0,11 µg/L abgeschätzt werden. Tabelle 4 listet die in der Modellierung verwendeten mittleren PAK<sub>16</sub>-Konzentrationen im Kläranlagenablauf auf.

Tabelle 4: Mittlere PAK<sub>16</sub>-Konzentration im Kläranlagenablauf

| Räumliche Gültigkeit | Konzentration [µg/L] |
|----------------------|----------------------|
| Bayern               | 0,08                 |
| Schleswig-Holstein   | 0,02                 |
| restl. Länder        | 0,11                 |

### 3.4.2 Neues methodisches Vorgehen

Das neue methodische Vorgehen bei der Modellierung der Stoffeinträge über kommunale Kläranlagen knüpft direkt an die neue MoRE-Funktionalität der Punktquellenverwaltung (s. Abschnitt 2.2.2.1) an. Diese ermöglicht es, Ergebnisse für die einzelnen Kläranlagen zu erzeugen und für die AU systemintern zu aggregieren.

Um die neuen MoRE-Funktionalitäten zu nutzen, wurden die Kläranlagen  $\geq 2.000$  EW als einzelne Punktquellen in MoRE eingebunden. Für die Kläranlagen  $< 2.000$  EW liegen nach wie vor keine anlagenbezogenen Daten vor, sodass für sie weiterhin auf Ebene der Analysegebiete gerechnet wird (s. Abschnitt 3.4.1). Abweichend von dem bisherigen Präprozessing, wurden die Jahresabwassermenge und Nährstofffrachten im Kläranlagenablauf nicht mehr flächengewichtet übertragen, sondern anhand der Siedlungsflächen des Basis-DLM (BKG 2014) (Abschnitte 3.4.2.1 und 3.4.2.2).

Die Ableitung der zeitlichen Gültigkeit einer kommunalen Kläranlage, die die Verwendung der entsprechenden Eingangsdaten bei einer Berechnung bestimmt, ist in Abschnitt 3.4.2.4 beschrieben.

#### 3.4.2.1 Jahresabwassermenge

Die Handhabung der Jahresabwassermenge der kommunalen Kläranlagen  $\geq 2000$  EW unterscheidet sich lediglich in zwei Punkten von der bisherigen Vorgehensweise. Erstens wurde ein Teil des Präprozessings nach MoRE verschoben. So sind in MoRE jetzt punktförmige Informationen zu Jahresabwassermengen für die Jahre 2008 und 2010 hinterlegt. Indem die Jahresabwassermenge mit der Stoff-Konzentration auf Punktquellenebene multipliziert wird, werden innerhalb von MoRE die resultierenden Einträge auf Ebene von AU hoch aggregiert. Zweitens kommt es bei der Interpolation von Werten für das Jahr 2009 bei einzelnen Anlagen zu Abweichungen. Diese sind aufgrund der Bestandsentwicklung der Kläranlagen (bspw. durch Stilllegungen) einer geänderten Ableitung der zeitlichen Gültigkeit zuzuschreiben (s. Abschnitt 3.4.2.4).

Zur Verteilung der Abwassermenge der kommunalen Kläranlagen < 2.000 EW von den Gemeinden auf die AU war eine angepasste Übertragung der Originaldaten (FDZ 2012, 2013a) notwendig. Die statistischen Daten aus dem Jahr 2007 wurden mit den Siedlungsflächen aus dem Basis-DLM Stand 2008 (BKG 2010a) und die statistischen Daten aus dem Jahr 2010 mit den Siedlungsflächen des Basis-DLM Stand 2011 (BKG 2014) und anschließend mit den AU verschnitten. Dabei wurden die Anteile der Siedlungsflächen pro Schnittfläche (Gemeinde, AU), die Anteile der Schnittflächen eines AU an der gesamten Siedlungsfläche in einer Gemeinde und die gesamte Siedlungsfläche in einer Gemeinde berechnet. Die Anteile wurden anschließend mit der Jahresabwassermenge in einer Gemeinde multipliziert. Die somit ermittelten Werte wurden auf der Ebene der AU zusammengefasst.

Die Erzeugung der Werte für fehlende Jahre erfolgte analog zur bisherigen Vorgehensweise.

### **3.4.2.2 Nährstofffrachten im Kläranlagenablauf**

Bei den Nährstoffen wird im Hinblick auf die Maßnahmenfähigkeit ein neuer Berechnungsansatz für die Ermittlung der eingetragenen Frachten verwendet. Statt direkt die Frachten aus der Berichterstattung zur Kommunalabwasserrichtlinie zu verwenden, werden aus den berichteten Frachten und der Jahresabwassermenge mittlere Stickstoff- und Phosphorkonzentrationen für jede Kläranlage  $\geq 2.000$  EW berechnet. Grundlage für diese Berechnung sind die Daten der Kommunalabwasserrichtlinie (UBA 2013c).

Für die Kläranlagen < 2.000 EW werden die Stickstoff- und Phosphorfrachten aus den FDZ-Daten (FDZ 2012, 2013a) analog zu der Vorgehensweise bei der Ableitung der Jahresabwassermenge (vgl. Abschnitt 3.4.2.1) auf die AU übertragen. Anhand der Jahresabwassermenge und der Frachten wird eine analysegebietspezifische Stickstoff- bzw. Phosphorkonzentration berechnet und diese als Eingangsdatum für die Modellierung verwendet.

### **3.4.2.3 Konzentration von Schwermetallen und PAK im Kläranlagenablauf**

Anhand der Zugehörigkeit einer Kläranlage zu einem Bundesland wurden die mittleren Ablaufkonzentrationen für die Schwermetalle und die PAK aus den Abschnitten 3.4.1.3 und 3.4.1.4 als Eingangsdaten der Punktquelle „kommunale Kläranlagen“ in MoRE integriert.

### **3.4.2.4 Ableitung der zeitlichen Entwicklung im Bestand kommunaler Kläranlagen**

Um die Entwicklungen im Kläranlagenbestand abbilden zu können, wurden Angaben aus der Kommunalabwasserrichtlinie (UBA 2013c) in Bezug auf die Stilllegung von Anlagen verwendet. Wird eine Anlage stillgelegt, so muss diese im nächsten Berichtsjahr als inaktiv in die Datenbank der Kommunalabwasserrichtlinie aufgenommen werden. Für die Bestimmung der zeitlichen Gültigkeit einer Kläranlage für die Modellierung wurden die folgenden Regeln verwendet, die in der Tabelle 5 dargestellt sind. Dabei wurden die Daten der Kommunalabwasserrichtlinie aus zwei Jahren verwendet: 2008 und 2010. Die Daten aus dem Jahr 2012 fließen nicht in die Auswertung ein, da sie zum Zeitpunkt der Aufbereitung der Eingangsdaten zu kommunalen Kläranlagen nicht verfügbar waren.

Tabelle 5: Regeln für die Ableitung der zeitlichen Gültigkeit von kommunalen Kläranlagen für die Modellierung

| Anlage aktiv im Berichtsjahr 2008 (UBA 2013c) | Anlage aktiv im Berichtsjahr 2010 (UBA 2013c) | Gültigkeitsbereich für die Modellierung |
|---|---|---|
| ja  | ja  | 2006-2011                               |
| ja  | nein  | 2006-2008                               |
| nein  | ja  | 2010-2011                               |

Bei der Aufbereitung der Eingangsdaten für die kommunalen Kläranlagen als Punktquellen wurden Werte für das Jahr 2009 nur dann aus den Jahren 2008 und 2010 interpoliert, wenn eine Anlage in beiden Jahren als aktiv gemeldet wurde. War eine Anlagen hingegen für eines der beiden Jahre als inaktiv, also stillgelegt, gemeldet, so wurden Werte für 2009 nicht interpoliert. Diese Anlagen wurde also für das Jahr 2009 der Wert Null zugewiesen. Dieses Vorgehen wurde gewählt, da aufgrund der verfügbaren Metadaten nicht eindeutig geklärt werden konnte, wann die Schließung bzw. die Fertigstellung der Anlagen erfolgte. Als Gültigkeit wurden deshalb nur die Zeiträume 2006-2011 (die Anlage war in 2008 und 2010 aktiv), 2006-2008 (die Anlage war nur in 2008 aktiv) und 2010-2011 (die Anlage war nur in 2010 aktiv) gewählt. Für die Jahre 2006 und 2007 wurden immer die Kläranlagendaten von 2008 übernommen, wenn eine Anlage in diesem Jahr aktiv war. Es wurde somit die Annahme getroffen, dass diese Anlage auch in den Jahren davor aktiv war. Für das Jahr 2011 wurden immer die Daten von 2010 übernommen, wenn eine Anlage in diesem Jahr aktiv war, auch wenn nicht eindeutig geklärt werden konnte, ob sie im Jahr 2011 tatsächlich in Betrieb war.

Die Vorgehensweise zur Interpolation der Werte für die Jahre 2006, 2007, 2009 und 2011 ist detailliert im Anhang 10.1 dargestellt.

### 3.4.3 Ergebnisse und Empfehlungen zur bundeseinheitlichen Modellierung

Die Ergebnisse der Modellierung für die vorherige (Basisvariante) und die angepasste Variante werden exemplarisch für das Jahr 2010 dargestellt. In diesem Jahr sind die Einträge über kommunale Kläranlagen  $\geq 2.000$  EW für die zwei Varianten gleich. Änderungen bei den Einträgen resultieren also nur aus der unterschiedlichen Übertragung der Jahresabwassermenge und Nährstofffrachten im Kläranlagenablauf bei Anlagen  $< 2.000$  EW auf die AU (s. Abschnitt 3.4.2.1 und 3.4.2.2).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sich lediglich das räumliche Verteilungsmuster der Einträge ändert. Da die Einträge über Anlagen  $< 2.000$  EW in den meisten AU in der Größenordnung 5-10 % liegen, sind Änderungen in der Kartendarstellung kaum sichtbar. Nichtsdestotrotz ist die bessere räumliche Verortung der Anlagen in Bezug auf Maßnahmenplanung und -umsetzung unabdingbar.

Die Ergebnisse werden in den folgenden Abschnitten getrennt für die Nährstoffe (N und P) und die Schadstoffe (Schwermetalle und PAK) dargestellt (Abschnitte 3.4.3.1 und 3.4.3.2). Zudem wird eine Empfehlung zur weiteren bundeseinheitlichen Modellierung gegeben (Abschnitt 3.3.4).

### 3.4.3.1 Nährstoffeinträge über kommunale Kläranlagen

In Abbildung 14 sind exemplarisch die P-Einträge über kommunale Kläranlagen dargestellt. Änderungen in der regionalen Verteilung der Einträge sind kaum erkennbar. Mit der angepassten Variante ergeben sich für alle Flussgebietseinheiten minimal höhere P-Einträge über kommunale Kläranlagen. Die Änderung für Deutschland liegt bei < 0,05 %, flussgebietspezifisch reicht sie aber bis zu 2 % in Schlei/Trave (Tabelle 6). Da die Einträge über Kläranlagen < 2.000 EW mit ca. 12 % eine verhältnismäßig geringe Bedeutung an den Gesamteinträgen über kommunale Kläranlagen haben, sind die Änderungen für die meisten AU vernachlässigbar. In wenigen Fällen sind die Änderungen Analysegebietspezifisch im Vergleich zu der Basisvariante aber auch größer als 25 % (Abbildung 15). In diesen Fällen handelt es sich um Gebiete, in denen das Eintragungsgeschehen von den Anlagen < 2.000 EW dominiert ist und eine Umverteilung deutlich sichtbar wird. Generell haben diese Gebiete sehr niedrige spezifische P-Einträge (vgl. Abbildung 14).

Tabelle 6: Vergleich der Phosphor-Einträge über kommunale Kläranlagen im Jahr 2010 auf Ebene der Flussgebietseinheiten

| Einzugsgebiet  | Phosphor-Eintrag Basisvariante [t/a] | Phosphor-Eintrag angepasste Variante [t/a] | prozentuale Veränderung [%] |
|----------------|--------------------------------------|--|-----------------------------|
| Donau          | 1.227                                | 1.230                                      | 0,2                         |
| Eider          | 42                                   | 42   | -0,3                        |
| Elbe           | 1.016                                | 1.017                                      | 0,2                         |
| Ems            | 148                                  | 148  | 0,1                         |
| Maas           | 60                                   | 60   | 0,7                         |
| Oder           | 32                                   | 32   | 0,2                         |
| Rhein          | 3.788                                | 3.796                                      | 0,2                         |
| Schlei/Trave   | 49                                   | 50   | 2,2                         |
| Warnow/Peene   | 65                                   | 65   | 0,6                         |
| Weser          | 701                                  | 702  | 0,1                         |
| Nordsee        | 5.755                                | 5.765                                      | 0,2                         |
| Ostsee         | 145                                  | 147  | 1,0                         |
| Schwarzes Meer | 1.227                                | 1.230                                      | 0,2                         |
| Deutschland    | 7.127                                | 7.142                                      | 0,2                         |

Abbildung 14: Spezifische Phosphor-Einträge über kommunale Kläranlagen im Jahr 2010 in Deutschland

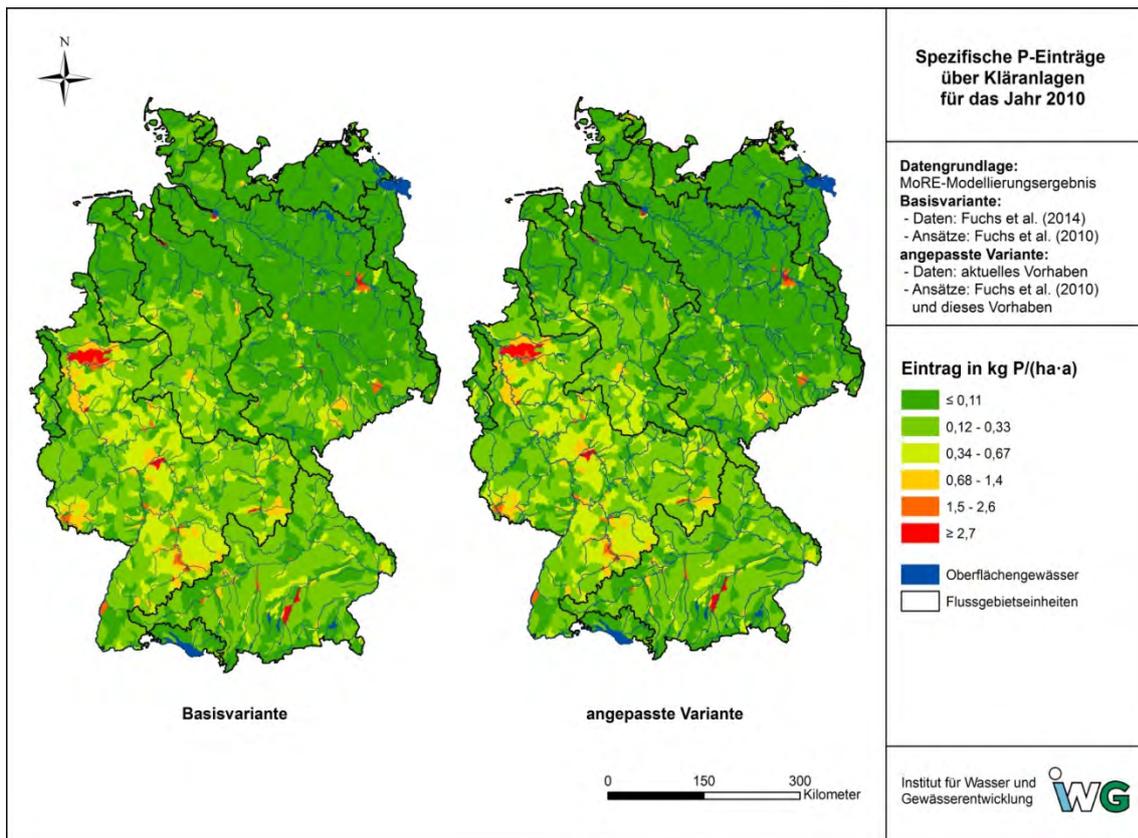
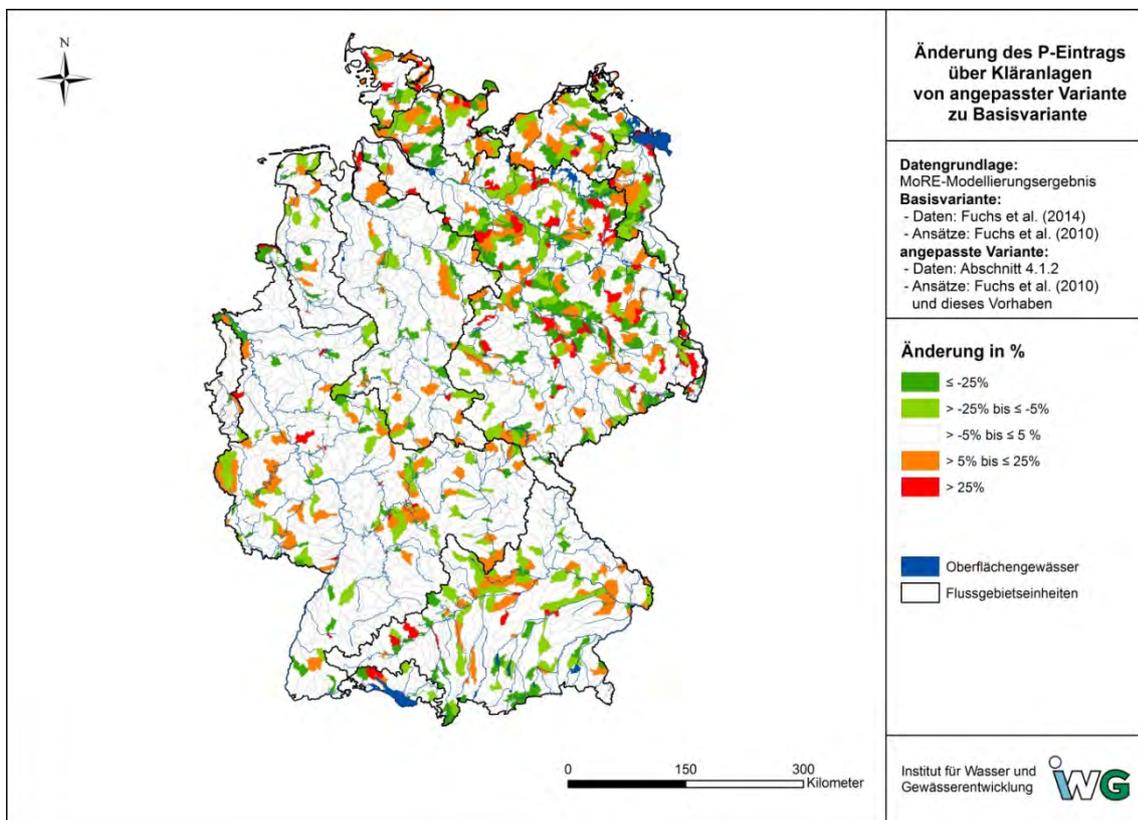


Abbildung 15: Änderung der Phosphor-Einträge über kommunale Kläranlagen von angepasster Variante zu Basisvariante im Jahr 2010 in Deutschland



Bei N ergeben sich insgesamt mit der angepassten Variante noch geringere Änderungen (Tabelle 7). Da für die Aufbereitung der Eingangsdaten für N und P die gleiche Vorgehensweise gewählt wurde und die Berechnungsansätze identisch sind, erscheint das Ergebnis auf den ersten Blick verwunderlich. In der Tat ist es aber so, dass für verschiedene AU unterschiedliche mittlere P- bzw. N-Konzentrationen vorliegen, die sich nicht zwangsläufig gleich verhalten. Für Deutschland resultiert insgesamt eine Änderung der N-Einträge < 0,01 %. Diese Veränderungen sind auch flussgebietsspezifisch vernachlässigbar.

Tabelle 7: Vergleich der Stickstoff-Einträge über kommunale Kläranlagen im Jahr 2010 auf Ebene der Flussgebietseinheiten

| Einzugsgebiet  | Stickstoff-Eintrag Basisvariante [t/a] | Stickstoff-Eintrag angepasste Variante [t/a] | prozentuale Veränderung [%] |
|----------------|--|--|-----------------------------|
| Donau          | 12.744                                 | 12.741                                       | 0,0                         |
| Eider          | 293                                    | 292  | -0,2                        |
| Elbe           | 13.239                                 | 13.238                                       | 0,0                         |
| Ems            | 1.616                                  | 1.616  | 0,0                         |
| Maas           | 1.531                                  | 1.531  | 0,0                         |
| Oder           | 282                                    | 283  | 0,1                         |
| Rhein          | 45.103                                 | 45.085                                       | 0,0                         |
| Schlei/Trave   | 877                                    | 885  | 0,9                         |
| Warnow/Peene   | 680                                    | 681  | 0,1                         |
| Weser          | 6.199                                  | 6.187  | -0,2                        |
| Nordsee        | 67.981                                 | 67.950                                       | 0,0                         |
| Ostsee         | 1.839                                  | 1.848  | 0,5                         |
| Schwarzes Meer | 12.744                                 | 12.741                                       | 0,0                         |
| Deutschland    | 82.564                                 | 82.539                                       | 0,0                         |

### 3.4.3.2 Schwermetall- und PAK<sub>16</sub>-Einträge über kommunale Kläranlagen

Für die Schwermetalle und die PAK<sub>16</sub> ergeben sich insgesamt höhere Einträge mit der angepassten Variante. Die Änderungen liegen auf Bundesebene betrachtet je nach Stoff in der Größenordnung von 3-4 %.

Tabelle 8 zeigt beispielhaft die Gegenüberstellung der Ergebnisse für Zink sowohl auf Ebene der Flussgebietseinheiten als auch für Gesamtdeutschland. Es zeigt sich, dass die Änderungen auf Ebene der Flussgebietseinheiten stark variieren können. Für Zink schwanken die Änderungen zwischen < 1 % (Maas und Ems) und rund 23 % (Eider). Die Änderung der Einträge im Vergleich zur Basisvariante ergibt sich aus der räumlichen Verlagerung der Jahresabwassermengen in Verbindung mit den bundeslandspezifischen Stoffkonzentrationen. Wird durch die Umverteilung jetzt mehr Abwasser in Flussgebietseinheiten verschoben an denen BL mit höheren mittleren Ablaufkonzentrationswerten einen großen Flächenanteil haben, resultiert daraus ein höherer Stoffeintrag für das entsprechende Flussgebiet.

Tabelle 8: Vergleich der Zink-Einträge über kommunale Kläranlagen im Jahr 2010 auf Ebene der Flussgebietseinheiten

| Einzugsgebiet  | Zink-Eintrag Basisvariante [kg/a] | Zink-Eintrag angepasste Variante [kg/a] | prozentuale Veränderung [%] |
|----------------|-----------------------------------|---|-----------------------------|
| Donau          | 35.738                            | 37.834                                  | 5,9                         |
| Eider          | 459                               | 563                                     | 22,5                        |
| Elbe           | 34.599                            | 35.714                                  | 3,2                         |
| Ems            | 8.050                             | 8.102                                   | 0,6                         |
| Maas           | 7.617                             | 7.650                                   | 0,4                         |
| Oder           | 1.078                             | 1.116                                   | 3,5                         |
| Rhein          | 173.694                           | 178.704                                 | 2,9                         |
| Schlei/Trave   | 1.710                             | 1.849                                   | 8,1                         |
| Warnow/Peene   | 1.802                             | 1.938                                   | 7,5                         |
| Weser          | 26.313                            | 27.612                                  | 4,9                         |
| Nordsee        | 250.737                           | 258.350                                 | 3,0                         |
| Ostsee         | 4.585                             | 4.898                                   | 6,8                         |
| Schwarzes Meer | 35.738                            | 37.834                                  | 5,9                         |
| Deutschland    | 291.061                           | 301.082                                 | 3,4                         |

### 3.4.3.3 Empfehlungen zur bundeseinheitlichen Modellierung

Die entwickelte Vorgehensweise zur Modellierung von Kläranlageneinträgen wird für die bundeseinheitliche Modellierung empfohlen, da einerseits die Aufbereitungsschritte für die Eingangsdaten, die vorher im Präprozessing erfolgten, durch die Umsetzung in MoRE besser nachvollzogen werden können. Das entspricht der MoRE-Philosophie bezüglich der Transparenz der erzeugten Ergebnisse. Andererseits wird durch die veränderte Vorgehensweise die Maßnahmenfähigkeit der Eintragsberechnung gewährleistet (s. Abschnitt 4.2.1).

## 3.5 Eintragspfad Kanalisationssysteme

Nach Fuchs et al. (2010a) stellen die Kanalisationssysteme einen bedeutenden Eintragspfad für Schadstoffe in die Oberflächengewässer dar. Dabei umfasst der Eintragspfad Kanalisationssysteme vier Teilpfade:

- Regenwasserkanäle des Trennsystems,
- Mischwasserüberläufe des Mischsystems,
- Gebiete, die an die Kanalisation angeschlossen sind, nicht aber an Kläranlagen und
- Gebiete, die weder an Kläranlagen noch an Kanalisation angeschlossen sind.

Als Folge des hohen Anschlussgrades der Bevölkerung an die Abwasserbehandlung in Deutschland sind die beiden letztgenannten Teilpfade nur noch lokal bis regional von Bedeutung.

Die wichtigen Eingangsdaten für die Ermittlung der Einträge über Kanalisationssysteme in MoRE sind:

- Anzahl der Einwohner,
- Landnutzung: innerörtlich versiegelte Flächen, Gewerbeflächen, urbane Flächen,
- Niederschlagshöhe und
- Informationen über Kanalisationssysteme wie z. B. Anschlussverhältnisse, Kanallängen (nach Art des Entwässerungssystems), Speichervolumen der Regenüberlaufbecken (RÜB) usw.

Weitere Eingangsdaten sind der einwohnerspezifische Wasserverbrauch und Verschmutzungsfrachten von den versiegelten Flächen, sogenannte Oberflächenpotenziale.

Im Folgenden werden die Eingangsdaten und die Modellierungsansätze zur Ermittlung der Einträge über die Kanalisationssysteme dargestellt. Dabei werden zunächst die bislang verwendeten Eingangsdaten und Ansätze, die in Fuchs et al. (2014a) bzw. Fuchs et al. (2010a) detailliert dokumentiert sind, aufgeführt (Abschnitt 3.5.1). Anschließend werden in Abschnitt 3.5.2 die neu abgeleiteten Eingangsdaten und Ansätze dargestellt. Diese resultieren teilweise aus einem Vorgängervorhaben (Fuchs et al. 2012), teilweise wurden sie im Rahmen des aktuellen Vorhabens entwickelt. Abschließend werden die Modellierungsergebnisse, die unter Verwendung der neuen Methodik erzeugt wurden, den Modellierungsergebnissen nach der alten Methodik (Basisvarianten) gegenübergestellt sowie Empfehlungen zur bundeseinheitlichen Modellierung formuliert (Abschnitt 3.5.3).

### **3.5.1 Bisherige Modellierung der Einträge über Kanalisationssysteme**

Bei der Datenaufbereitung ist zu beachten: Liegen die Daten rasterbasiert in einer guten Auflösung vor, so können diese i.d.R. problemlos auf die AU übertragen werden. Dies gilt jedoch nicht für die statistischen Daten (z. B. vom FDZ oder EUROSTAT), welche den Wert eines bestimmten Merkmals als Summe oder Mittelwert für eine administrative Einheit (z. B. Kreis, Gemeinde) angeben. Ist eine administrative Einheit eindeutig einem AU zugeordnet, so können die Werte der Merkmale übernommen werden und ggf. mit den Werten der administrativen Einheiten in der Nachbarschaft verrechnet werden. Sobald eine administrative Einheit jedoch in zwei oder mehreren AU liegt, ist eine merkmalspezifische Aufteilung der Werte durchzuführen. Bislang wurden die Geometrien der administrativen Einheiten mit den Geometrien der AU verschnitten. Anhand der Verhältnisse der Schnittflächen wurden die Merkmale anschließend auf die AU flächengewichtet (bezogen auf die Gesamtfläche der administrativen Einheiten) übertragen. Durch diese Vorgehensweise werden die Daten in Bezug auf ihre räumliche Aussagefähigkeit „homogenisiert“, da davon ausgegangen wird, dass ein Merkmal gleichmäßig über eine administrative Einheit verteilt ist. Dies ist jedoch in der Regel nicht der Fall.

In Tabelle 9 sind die Vorgehensweisen bei der Ableitung der o.g. Eingangsdatensätze und die entsprechenden Grundlagendaten, die bisher in MoRE verwendet wurden, zusammengefasst.

Tabelle 9: Übersicht der bisher verwendeten Grundlagen- und Eingangsdaten zur Modellierung der Einträge über Kanalisationssysteme (Basisvariante MoRE)

| Eingangsdatum auf Analysegebietsebene  | Quellen der Grundlegenden Daten und Ansätze / zeitliche Auflösung | Methode zur Ableitung   |
|--|---|---|
| Anzahl der Einwohner   | EEA (2012) / verfügbar für 2001<br>EUROSTAT (2014a) /jährlich     | Zur Lokalisierung der Bevölkerung in den Analysegebieten wurde der Datensatz zur Bevölkerungsdichte aus dem Jahr 2001 von EEA (2012) verwendet. Diese Informationen wurden jahresweise auf Basis statistischer Daten auf Kreisebene für die Jahre 2002-2011 fortgeschrieben und auf die Analysegebiete übertragen.  |
| innerörtlich versiegelte Flächen   | Ansatz nach Heaney et al. (1976)                                  | Die innerörtlich versiegelte Fläche wird unter Berücksichtigung der Bevölkerungsdichte und der urbanen Fläche nach dem Verfahren von Heaney et al. (1976) jahresweise für die Analysegebiete ermittelt.   |
| Gewerbefläche  | Mohaupt et al. (2001)   | konstanter Wert für alle Analysegebiete als prozentualer Anteil an versiegelter Fläche  |
| Anschlussverhältnisse der Einwohner (Anschlussgrad an Kläranlagen und Kanalnetz) (bislang Vorstufe im Präprozessing zur Erzeugung des Datensatzes der angeschlossenen Einwohner) | FDZ (2013e) / 3-Jahres-Turnus                                     | Die prozentualen Anschlussgrade wurden auf Gemeindeebene anhand der Anschlussverhältnisse der Einwohner ermittelt. Dabei lagen Daten zu Gesamteinwohnern, nur an das Kanalnetz angeschlossenen Einwohnern und nicht angeschlossenen Einwohnern vor. Die Anzahl der Einwohner, die an Kläranlagen angeschlossen sind, wurde als Differenz aus den Gesamteinwohnern und den nicht angeschlossenen sowie den nur an das Kanalnetz angeschlossenen Einwohnern auf Ebene der Gemeinden ermittelt. Aus diesen Anschlussverhältnissen wurden die prozentualen Anschlussgrade auf Gemeindeebene ermittelt.<br>Danach wurden die prozentualen Anschlussgrade flächengewichtet auf die Analysegebiete übertragen und mit dem Datensatz zu den Einwohnern (aus Zeile 1) multipliziert. Letztendlich floss die Anzahl der Einwohner, die angeschlossen oder nicht angeschlossen ist, als Eingangsdatum in MoRE ein. |
| Kanallängen bzw. Anteil des Mischsystems an der Gesamtkanalisation   | FDZ (2013b) / 3-Jahres-Turnus                                     | Der prozentuale Anteil des Mischsystems wird anhand der Längen der Mischwasser- und Schmutzwasserkanäle auf Gemeindeebene ermittelt. Die Kanalnetzlängen wurden zunächst flächengewichtet auf die Analysegebiete übertragen. Anschließend wurde der Quotient aus der Länge der Mischwasserkanäle und der Summe der Längen von Mischwasserkanälen und Schmutzwasserkanälen auf Ebene der Analysegebiete gebildet. Dies stellt den Anteil des Mischsystems dar.   |

| Eingangsdatum auf Analysegebietsebene   | Quellen der Grundlagendaten und Ansätze / zeitliche Auflösung | Methode zur Ableitung   |
|---|---|---|
| Ausbaugrad der Mischwasserbehandlung    | FDZ (2013c) / 3-Jahres-Turnus, Brombach und Michelbach (1998) | Der Ausbaugrad der Mischwasserbehandlung wird als Quotient des spezifischen Beckenvolumens und eines als 100 % definierten Beckenvolumens (22,3 m <sup>3</sup> /ha, nach Brombach und Michelbach (1998)) berechnet. Das spezifische Beckenvolumen hingegen ist der Quotient aus Beckenvolumen und der an das Mischsystem angeschlossenen versiegelten Fläche auf Kreisebene. Im Präprozessing wurden folglich alle benötigten Daten auf Kreisebene aufbereitet. Der Ausbaugrad auf Kreisebene wurde flächengewichtet auf die Analysegebiete übertragen. |
| einwohnerspezifischer Wasserverbrauch   | nach Behrendt et al. (1999)                                   | Dieser Wert wurde als konstanter Wert für alle Analysegebiete verwendet.  |
| stoffliche Daten: Oberflächenpotentiale | Fuchs et al. (2010a) / jährlich                               | Die Schwermetall-Oberflächenpotentiale der innerörtlich versiegelten Flächen werden unter Berücksichtigung der mittleren langjährigen (1983-2011) Niederschlagsabflussmengen, Konzentrationsangaben im Niederschlagsabfluss (Jahresmittelwerte) und dem Abflussbeiwert nach der Methodik von Fuchs et al. (2010a) für die Einzeljahre 2006-2011 als Mittelwerte für Deutschland abgeleitet.   |

### 3.5.2 Neues methodisches Vorgehen

Für die in Tabelle 9 dargestellten Eingangsgrößen zur Modellierung der Einträge über den Eintragspfad „Kanalisationssysteme“ wurden im Rahmen des vorliegenden Vorhabens entweder höher räumlich/zeitlich aufgelöste Eingangsdaten verwendet oder neue Ansätze zur Ableitung der Eingangsdaten entwickelt.

Folgende Datensätze liegen in einer höheren räumlichen Auflösung oder für einen aktuelleren Zeitpunkt vor:

- Gesamteinwohnerzahl (Abschnitt 3.5.2.1) und
- Wasserverbrauch der Einwohner (Abschnitt 3.5.2.2).

Ein Teil der Datensätze musste früher empirisch abgeleitet werden, da keine adäquaten Eingangsdaten zur Verfügung standen. Als Ergebnis aktueller Forschungsvorhaben hat sich die Verfügbarkeit einiger Eingangsdaten deutlich verbessert. Folgende Datensätze stehen in einer deutlich höheren Auflösung – räumlich wie zeitlich zur Verfügung:

- Versiegelte Flächen (Abschnitt 3.5.2.3) und
- Gewerbeflächen (Abschnitt 3.5.2.4).

Die Übertragung statistischer Grundlagendaten auf die AU wurde bisher flächengewichtet durchgeführt. Dieses Vorgehen hatte eine räumliche Homogenisierung der Informationen zur Folge. Um die räumlich differenzierte Information beizubehalten, werden diese nun anhand der entsprechenden Bezugsgrößen auf die AU übertragen. Bezugsgröße für den Eintragspfad „Kanalisationssysteme“ sind bspw. urbane Flächen (versiegelte Flächen) und die Einwohner (Einwohnerzahl). Dies gilt insbesondere für:

- Anschlussverhältnisse der Einwohner (Abschnitt 3.5.2.5),
- Art der Entwässerung (Abschnitt 3.5.2.6) und
- Speichervolumen der Regenüberlaufbecken (Abschnitt 3.5.2.7).

Erstmals wurde im Rahmen des Vorhabens ein Datensatz zum Speichervolumen von Regenklärbecken (RKB) (Abschnitt 3.5.2.8) sowie die Wirkung von Regenbecken (RÜB und RKB) in die Modellierung integriert und damit die bestehende Infrastruktur und deren Wirksamkeit auf Stoffeinträge abgebildet (Abschnitt 3.5.2.9).

Zudem wurden die Ergebnisse aus dem Vorgängerprojekt Fuchs et al. (2012) in das bundeseinheitliche Modell übernommen, die für ausgewählte Schwermetalle städtische von ländlichen Gebieten in ihrem Verschmutzungspotenzial unterscheiden. So wird eine bessere räumliche Differenzierung der Siedlungsräume hinsichtlich des Eintragungsgeschehens möglich (Abschnitt 3.5.2.10).

#### 3.5.2.1 Gesamteinwohnerzahl

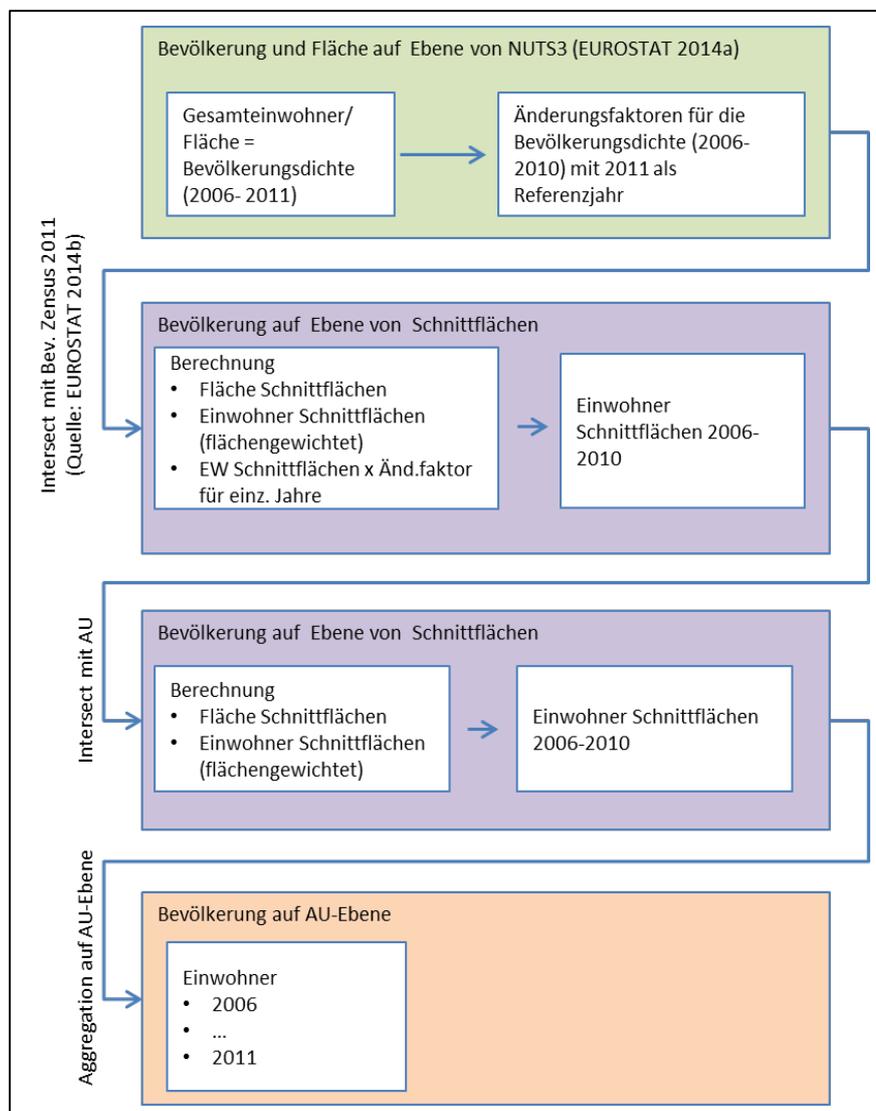
Zur Verbesserung des Eingangsdatums „Gesamteinwohnerzahl“ wurde der aktuellste europäische Datensatz zur Bevölkerungsdichte verwendet (EUROSTAT 2014b). Ausgehend von den Ergebnissen der Volkszählung „Zensus 2011“ wurden für die Erzeugung dieses Datensatzes die Einwohner unter Zuhilfenahme des Landnutzungsdatensatzes CLC2006 auf die Siedlungen verteilt. Der Datensatz gibt den Bevölkerungsstand des Jahres 2011 wider. Als Dateien lag neben einer Shape Datei zur Topologie („GEOSTAT\_grid\_POP\_1K\_2011\_V1\_0“) eine CSV-Datei vor, die die Daten zur Bevölkerungsdichte enthält („GEOSTAT\_grid\_POP\_1K\_2011\_V1\_0“). Beide wurden

miteinander verknüpft und auf Ebene der AU aggregiert. So wurden die Eingangsdaten für das Jahr 2011 generiert.

Um einen räumlich differenzierten Datensatz zur Bevölkerung für die Jahre 2006 bis 2010 zu erzeugen, wurden der Datensatz zur Bevölkerungsdichte aus dem Jahr 2011 (EUROSTAT 2014b) und statistische Daten (EUROSTAT 2014a) verwendet. Die statistischen Daten sollten dabei die Bevölkerungsentwicklung innerhalb der NUTS<sup>2</sup> (Nomenclatur of territorial Units for Statistics) Level 3 (Level 3 steht in Deutschland für die Kreisebene) abbilden. Zunächst wurde aus den statistischen Daten auf Ebene der NUTS3 ein Änderungsfaktor ermittelt, welcher das Verhältnis zwischen den Einwohnerzahlen der einzelnen Jahre (2006-2010) und den Einwohnerzahlen aus dem Jahr 2011 ermittelt. Diese Faktoren wurden anschließend mit dem Datensatz zur Bevölkerungsdichte 2011 jahresweise multipliziert. Anschließend wurden die Daten auf Ebene der AU aggregiert. Die detaillierte Vorgehensweise ist Abbildung 16 zu entnehmen.

In der Summe hat sich die Zahl der Einwohner in Deutschland nach den neuen Datensätzen um ca. 2 % verringert.

Abbildung 16: Vorgehensweise zur Erzeugung von Daten zur Bevölkerungsverteilung für die Jahre 2006-2010



<sup>2</sup> <http://ec.europa.eu/eurostat/de/web/nuts/overview>

### 3.5.2.2 Wasserverbrauch der Einwohner

Der pro Kopf Wasserverbrauch ist zum einen bezogen auf seine zeitliche Entwicklung eine dynamische Größe und sollte auch als solche in der Eintragsmodellierung berücksichtigt werden. Zum anderen zeigen sich auch in der deutschlandweiten Betrachtung räumlich differenziert Unterschiede im Wasserverbrauch. Vom StaBu liegen Informationen zum mittleren Wasserverbrauch auf Ebene der BL für die Jahre 2007 und 2010 vor (StaBu 2013b) (s. Tabelle 10). Es zeigt sich, dass der aktuelle Wasserverbrauch im Durchschnitt niedriger liegt als der bisher einheitlich verwendete Wert von 130 L/(Einwohner·d) und darüber hinaus regional sehr unterschiedlich ist.

Tabelle 10: Wasserverbrauch der Einwohner [L/(Einwohner·d)] für die Jahre 2007 und 2010 für die Bundesländer und als Mittelwert für Deutschland (StaBu 2013b)

| Bundesland/Mittelwert<br>Deutschland | Wasserverbrauch der<br>Einwohner<br>[L/(Einwohner·d)] |        |
|--------------------------------------|---|--------|
|                                      | 2007  | 2010   |
| Baden-Württemberg                    | 116,40  | 115,32 |
| Bayern                               | 133,10  | 129,14 |
| Berlin                               | 111,60  | 112,93 |
| Brandenburg                          | 98,40   | 104,77 |
| Bremen                               | 126,50  | 122,21 |
| Hamburg                              | 134,00  | 134,41 |
| Hessen                               | 122,70  | 121,25 |
| Mecklenburg-Vorpommern               | 100,40  | 106,32 |
| Niedersachsen                        | 128,20  | 126,30 |
| Nordrhein-Westfalen                  | 135,30  | 134,52 |
| Rheinland-Pfalz                      | 118,30  | 119,14 |
| Saarland                             | 115,90  | 112,14 |
| Sachsen                              | 85,30   | 84,19  |
| Sachsen-Anhalt                       | 90,00   | 90,94  |
| Schleswig-Holstein                   | 132,60  | 133,49 |
| Thüringen                            | 90,30   | 88,61  |
| Mittelwert Deutschland               | 121,60  | 120,72 |

Für die Jahre 2008 und 2009 wurden die Werte interpoliert. Für das Jahr 2006 und 2011 wurden die Werte aus 2007 bzw. 2010 übernommen.

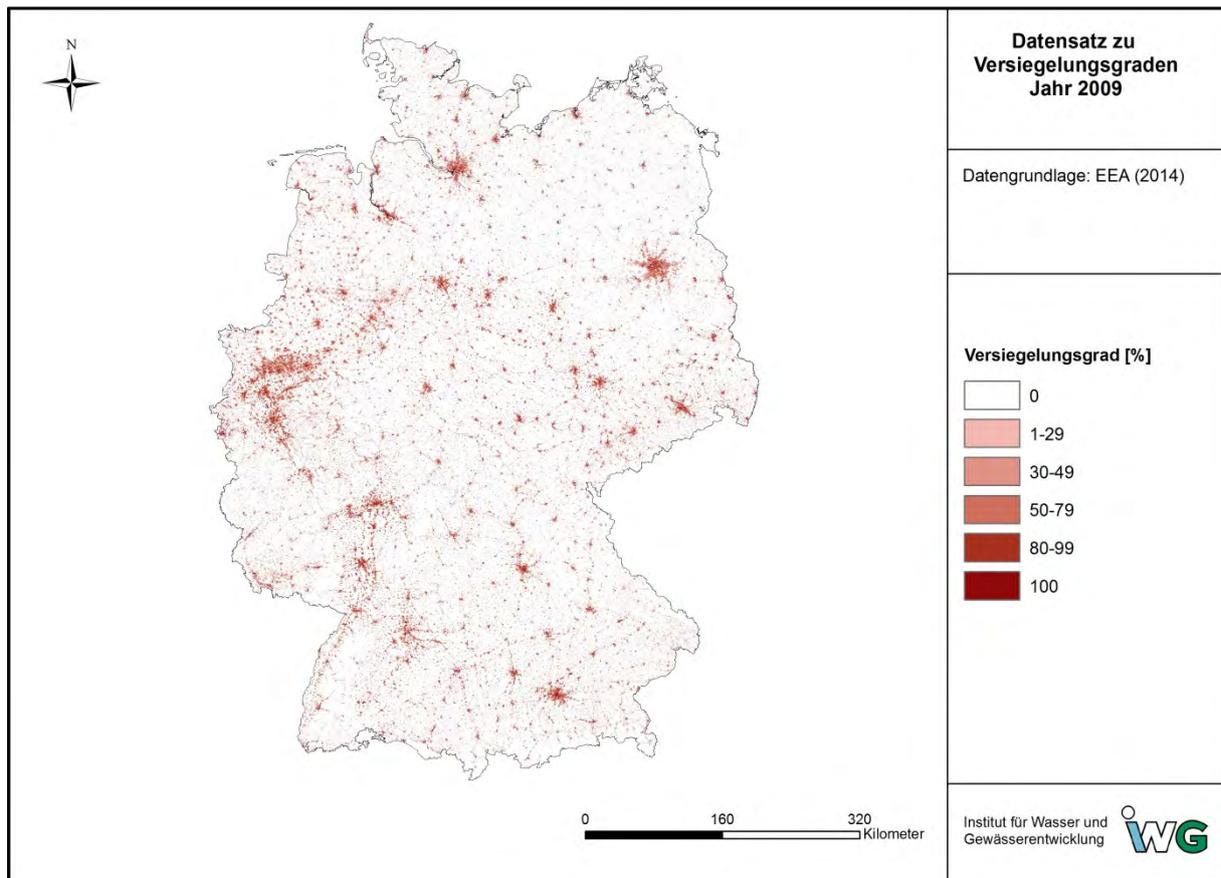
### 3.5.2.3 Versiegelte Flächen

Aufgrund neuer Datensätze müssen versiegelte Flächen nicht mehr nach empirischen Ansätzen, wie in Abschnitt 3.5.1 dargestellt, abgeschätzt werden. Zur Ableitung der innerörtlich versiegelten Flächen sind zwei europaweite Datensätze verfügbar, die für unterschiedliche Zeitpunkte gelten: 2006 (revised) und 2009 (EEA 2014) (Abbildung 17).

Die Satellitendatengrundlage für das Jahr 2006 ist IMAGE2006. Das sind Aufnahmen der Satelliten SPOT-4, SPOT-5 und IRS-P6 LISS-III. Für 2009 wurde IMAGE 2009, bitemporale Daten derselben Sensoren (in 20 m Auflösung) verwendet (Gangknofer et al. 2010).

Beide Datensätze stehen in zwei Auflösungen zur Verfügung: 20 m x 20 m und 100 m x 100 m. Im Rahmen dieses Vorhabens wurde das Raster in der Auflösung von 100 m x 100 m verwendet, da dieses die zeitlichen Veränderungen der Versiegelung besser abbildet (Langanke 2013).

Abbildung 17: Datensatz zu Versiegelungsgraden (Darstellung für Deutschland für das Jahr 2009; EEA 2014) in Deutschland



Die Datensätze umfassen sowohl innerörtlich als auch außerörtlich versiegelte Flächen (wie bspw. Autobahnen usw.), deren Abfluss nicht in die Kanalisation eingeleitet wird. Um die innerörtlich versiegelten Flächen zu ermitteln, wurden die Versiegelungsgrade mit den urbanen Flächen nach CLC2006 (EEA 2013a) verschnitten. Bei der Extraktion der urbanen Flächen aus CLC2006 wurden alle gelisteten Unterklassen der Ebene 3 von der Landnutzungsklasse „Bebaute Flächen“ berücksichtigt.

Für die Berechnung der versiegelten Flächen wurden die prozentualen Versiegelungsgrade in absolute Werte umgerechnet. Insgesamt ergibt sich dadurch eine versiegelte Fläche für Deutschland für das Jahr 2009 von 13.330 km<sup>2</sup>. Der mittlere Versiegelungsgrad der urbanen Flächen liegt bei ca. 45 % (Jahr 2009). Mit dieser Methode liegen die innerörtlichen versiegelten Flächen für das Jahr 2009 um etwa 34 % höher als die bisher von Fuchs et al. (2010a) angenommenen Werte.

Die aus den o.g. Datensätzen abgeleiteten Werte lagen für die Jahre 2006 und 2009 vor. Zwischen diesen Jahren wurden die Werte für die AU interpoliert. Für die Jahre 2010 und 2011 wurden die Werte aus dem Jahr 2009 übernommen.

#### **3.5.2.4 Gewerbeflächen**

Der Anteil der Gewerbeflächen an den Siedlungsflächen kann räumlich differenziert stark variieren. Um diese räumliche Variabilität besser abbilden zu können und die Aussagefähigkeit der Modellergebnisse zu verbessern, wurde der bisher verwendete Ansatz, der einen konstanten prozentualen Wert für alle AU annimmt, verändert.

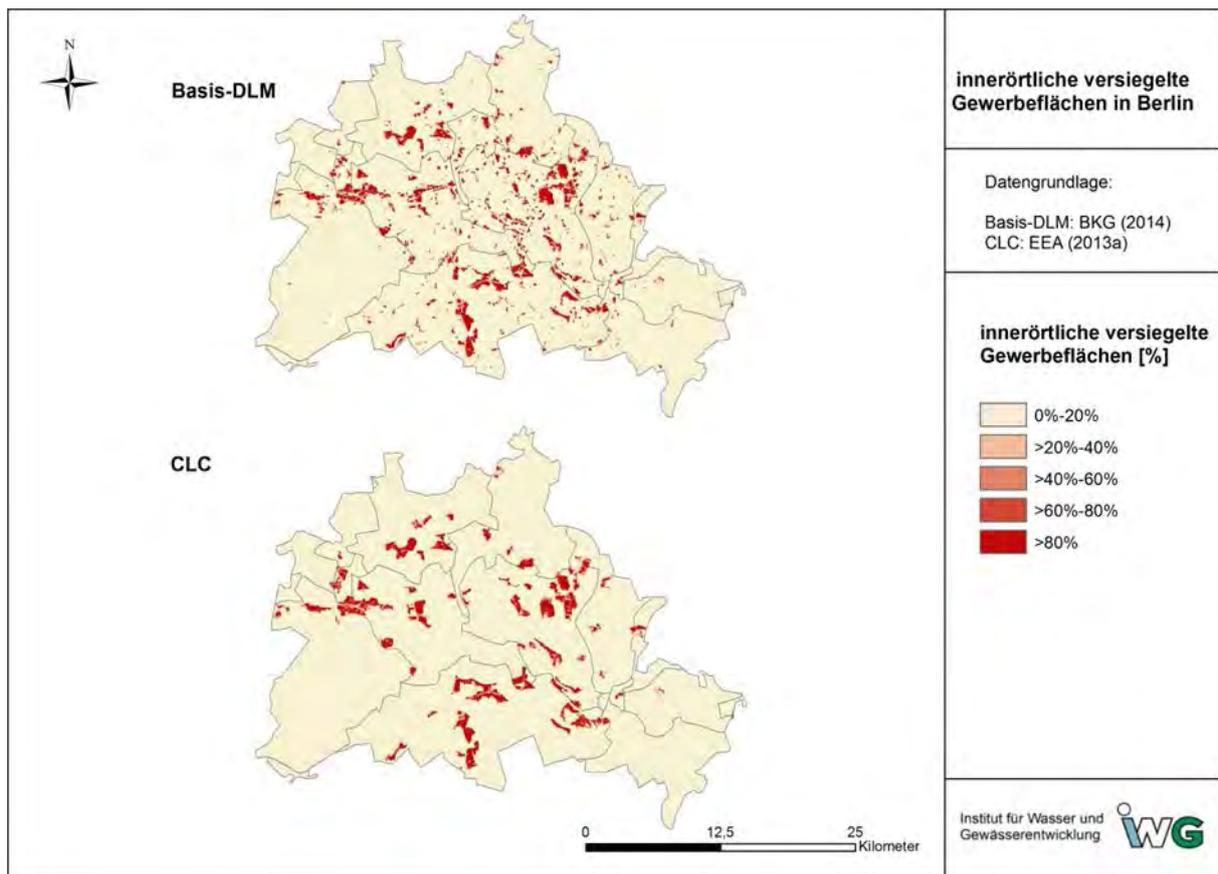
Informationen zur räumlichen Verteilung von Gewerbeflächen liegen grundsätzlich in zwei Datensätzen vor:

- im nur für Deutschland verfügbaren Basis-DLM für das Jahr 2011 und
- im europaweit verfügbaren Datensatz CLC2006.

Um hier eine Auswahl treffen zu können, wurden beide Datensätze zunächst mit den innerörtlichen versiegelten Flächen (Abschnitt 3.5.2.3) und mit den AU Deutschlands verschnitten und die Summe der Gewerbeflächen verglichen. Diese beträgt 2.518 km<sup>2</sup> nach Basis-DLM und 1.640 km<sup>2</sup> nach CLC2006. Das entspricht einer Abweichung von ca. 35 %. Mittels Basis-DLM ist eine deutliche detailliertere Erfassung der innerörtlich versiegelten Gewerbeflächen möglich. Abbildung 18 zeigt beide Datensätze im Vergleich für das Land Berlin. Da der Landnutzungsdatensatz auch in anderen Bereichen der Modellierung verwendet wird und hier bisher mit dem Datensatz CLC2006 gearbeitet wird, wurde aus Kompatibilitätsgründen darauf verzichtet, für die Gewerbeflächen einen anderen Datensatz heranzuziehen. Sollte für die Landnutzung jedoch künftig der Datensatz Basis-DLM oder ein vergleichbarer Datensatz verwendet werden, so sollte dies natürlich auch für die Gewerbeflächen geschehen.

Allerdings stellt auch die Verwendung des CLC2006-Datensatzes eine Verbesserung der Aussagefähigkeit im Vergleich zu dem bisher verwendeten methodischen Ansatz dar.

Abbildung 18: Vergleich der innerörtlich versiegelten Gewerbeflächen aus zwei Datensätzen am Beispiel von Berlin



Für die weitere Modellierung sind nun die versiegelten Gewerbeflächen relevant, die im Mischsystem mit Anschluss an Kläranlagen bzw. nur mit Anschluss an den Kanal, entwässert werden. Die auf Basis des CLC2006 neu erzeugten Werte zu versiegelten Gewerbeflächen sind deutlich höher (Faktor 20) als die mittels empirischem Ansatz geschätzten (Fuchs et al. 2010a).

### 3.5.2.5 Anschlussverhältnisse der Einwohner

Die Anschlussverhältnisse der Einwohner an Kanalnetz und kommunale Kläranlagen wurden aus statistischen Mikrodaten ermittelt. Diese sind auf Gemeindeebene verfügbar. Wie bereits in Tabelle 9 erläutert, sind darin Informationen hinterlegt zu:

- Gesamteinwohnerzahl,
- nur an das Kanalnetz aber nicht an kommunale Kläranlagen angeschlossenen Einwohnern und
- nicht an Kanalisation und kommunale Kläranlagen angeschlossenen Einwohnern.

Die Information zur Anzahl der Einwohner die an Kläranlagen angeschlossen sind, wurde als Differenz aus den Gesamteinwohnern, den nicht angeschlossenen sowie den nur an das Kanalnetz angeschlossenen Einwohnern auf Ebene der Gemeinden ermittelt. Aus diesen Anschlussverhältnissen wurden die prozentualen Anschlussgrade auf Gemeindeebene abgeleitet. So weit ist die Vorgehensweise die gleiche wie bislang.

Der Unterschied im methodischen Vorgehen liegt in der Übertragung der Anschlussgrade der Bevölkerung (Einwohner) an Kanalisation und kommunale Kläranlagen auf die AU-Ebene. Diese erfolgte nicht flächengewichtet wie bislang, sondern anhand der Bezugsgröße „Einwohner“. Hierfür wurden die prozentualen Anschlussgrade für die Jahre 2007 und 2010 auf Gemeindeebene mit den Gesamteinwohnern in Beziehung gesetzt. So entsteht ein Datensatz mit der Anzahl der Einwohner in ihren jeweiligen Anschlussverhältnissen (nur oss und nss<sup>3</sup>). Die Anzahl der an die unterschiedlichen Entsorgungswege angeschlossenen Einwohner wurde anschließend auf AU-Ebene aggregiert und daraus die prozentualen Anschlussgrade auf AU-Ebene ermittelt. Die Werte für die Jahre 2008 und 2009 wurden aus den Jahren 2007 und 2010 interpoliert. Für das Jahr 2006 und 2011 wurden die Werte aus 2007 bzw. 2010 übernommen.

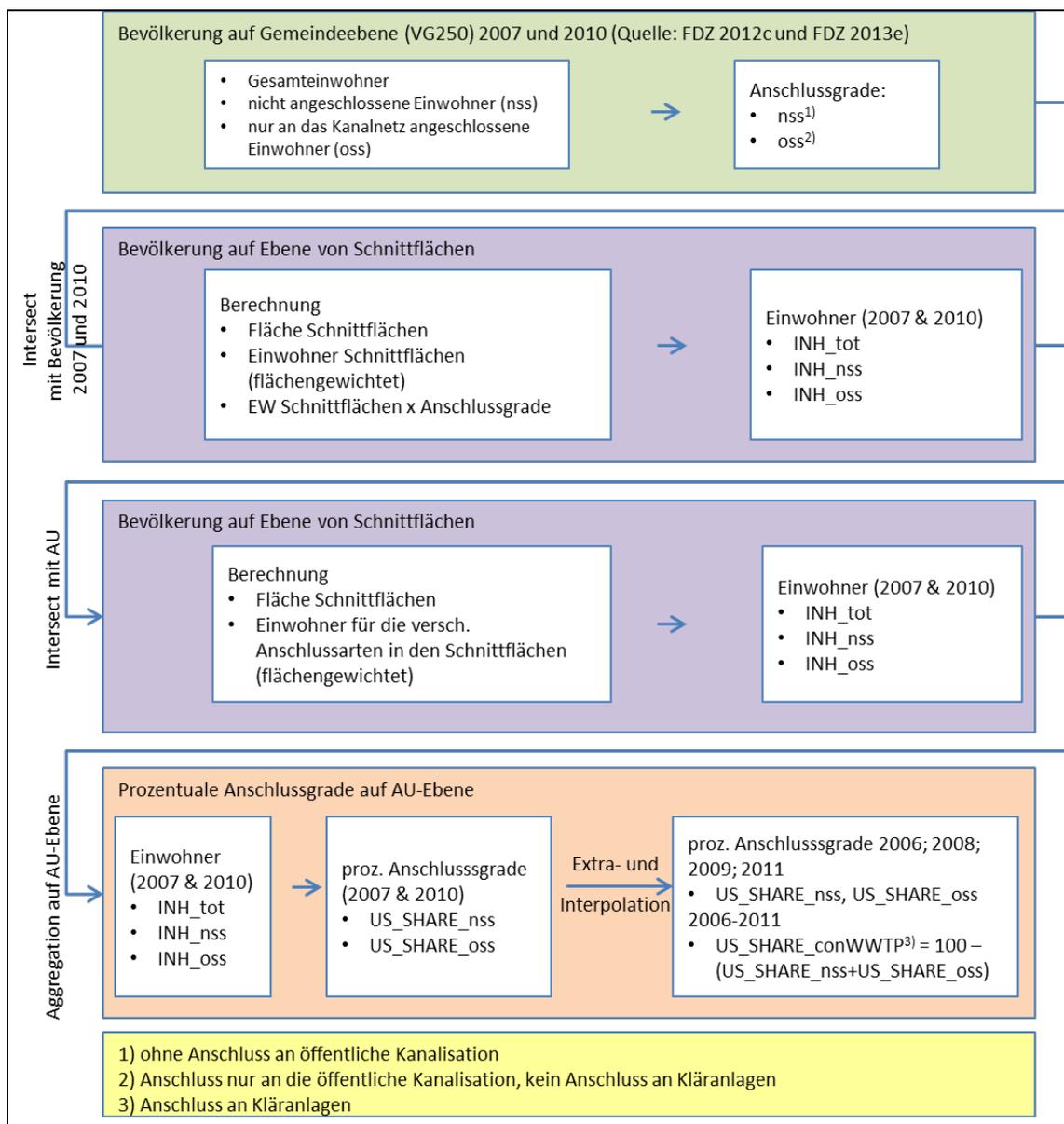
Die prozentualen Anschlussgrade der Einwohner, die an die Kanalisation bzw. nur an Kläranlagen angeschlossen sind, erhält man für die Jahre 2006 bis 2011 durch Differenzenbildung zu 100 %. Die Vorgehensweise ist in Abbildung 19 skizziert.

Zur Berechnung der Anzahl der Einwohner in ihrem jeweiligen Anschlussverhältnis auf AU-Ebene wird der Anschlussgrad auf AU-Ebene noch mit der der Gesamteinwohnerzahl in der AU in Beziehung gesetzt.

---

<sup>3</sup> nur an das Kanalnetz angeschlossene Einwohner und nicht angeschlossene Einwohner

Abbildung 19: Vorgehensweise zur Übertragung der Anschlussverhältnisse auf die Analysegebiete



### 3.5.2.6 Art der Entwässerung

Die Entwässerungsart (Anteil Mischsystem) wird wie in Tabelle 9 dargestellt, aus den Kanalnetzlängen der Mischwasserkanäle und Schmutzwasserkanäle ermittelt. Zur Übertragung der Kanalnetzlängen der Gemeinden auf die AU wurde die Bezugsgröße urbane Fläche verwendet. Zunächst wurden die Daten mit den Gemeindegrenzen (BKG 2007; BKG 2010b) verknüpft und mit den Siedlungsgebieten aus dem Basis-DLM (BKG 2010a; BKG 2014) sowie mit den deutschen AU verschnitten. Die Übertragung der Kanalnetzlängen auf die AU wurde dann siedlungsflächengewichtet durchgeführt. Diese Daten (Längen der Mischwasser- und Schmutzwasserkanäle) wurden erstmals als Variablen in MoRE hinterlegt. Somit wurde ein Teil des bisherigen Präprozessings in MoRE integriert.

Wie bei allen Daten vom FDZ lagen auch hier nur Werte für die Jahre 2007 und 2010 vor. Nach der Erzeugung der Ergebnisse für diese Jahre wurden die restlichen Jahre auf Ebene der AU übernommen (2006 von 2007 und 2011 von 2010) bzw. linear interpoliert (2008 und 2009 aus 2007 und 2010).

Zur Modellierung wird der Anteil des Mischsystems als Quotient aus der Länge der Mischwasserkanäle und der Summe der Längen von Mischwasser- und Schmutzwasserkanälen in MoRE berechnet.

### **3.5.2.7 Speichervolumen der Regenüberlaufbecken**

Das Speichervolumen der RÜB wurde anhand statistischer Daten ermittelt (FDZ 2013c). Diese Daten liegen für den Standort der Kanalnetzbetreiber in einer langen Datenreihe vor. Problematisch an diesem Datensatz ist, dass für die Gemeinden, in denen keine Kanalnetzbetreiber ansässig sind, keine Daten verfügbar sind. Dagegen wird für die Gemeinden, in denen Kanalnetzbetreiber ansässig sind, zu viel Volumen ausgewiesen. Deswegen wird auf einen anderen Datensatz, der auf Ebene von Gemeinden vorliegt, zurückgegriffen. Valide und vollständige Daten lagen jedoch lediglich für das Jahr 2010 vor. Deswegen wurden diese Daten für alle Jahre übernommen. Siehe dazu auch die Ausführungen in Fuchs et al. (2014a).

Zur Übertragung der Daten auf die AU wurde die gleiche Vorgehensweise gewählt wie bei den Kanallängen (Abschnitt 3.5.2.6). Jedoch wurde für die Übertragung nicht die Siedlungsfläche verwendet, sondern die Bezugsgröße innerörtliche versiegelte Fläche im Mischsystem.

### **3.5.2.8 Volumen der Regenklärbecken**

Bislang gab es in MoRE keine Angaben zu RKB. Im Rahmen dieses Vorhabens wurden also erstmals Daten zum Speichervolumen der RKB in die Modellierung integriert. Diese werden benötigt, um die klärtechnische Wirkung von Regenbecken (Abschnitt 3.5.2.9) zu berücksichtigen.

Ebenso wie die Speichervolumen der RÜB stammen die Speichervolumen der RKB aus den statistischen Mikrodaten (FDZ 2013c). Die Übertragung der Speichervolumen der RKB war analog zur Vorgehensweise bei den Speichervolumen der RÜB (Abschnitt 3.5.2.7), wobei die Übertragung der Daten jedoch anhand der versiegelten Fläche im Trennsystem erfolgte.

### **3.5.2.9 Berücksichtigung der klärtechnischen Wirkung von Regenbecken**

Zur Berücksichtigung der Rückhaltewirkung bestehender Regenbecken (RÜB und RKB) bei der Modellierung wurde die Wirksamkeit von RÜB und RKB erstmals in die Modellierung integriert. Dabei werden jedoch nicht alle Becken berücksichtigt, sondern nur Durchlaufbecken. Für diese wird eine Sedimentationswirkung von 20 % (Fuchs et al. 2013c) angenommen.

Daten zur Art von RÜB lagen nur für die Länder Baden-Württemberg (LUBW 2014) und Nordrhein-Westfalen (LANUV 2014) vor. Für Baden-Württemberg lagen zu 88 % des Beckenvolumens Angaben zum Typ vor, in Nordrhein-Westfalen zu allen Becken. Für die beiden Länder wurde der Anteil der Volumen von Durchlaufbecken an dem Volumen von RÜB mit Angaben zur Beckenart ermittelt. Für die RÜB ohne Angaben zur Beckenart wurde angenommen, dass der ermittelte Anteil der Durchlaufbecken auch hierfür gilt. Anschließend wurde der Mittelwert beider Länder den restlichen Ländern zugewiesen (Tabelle 11). Es bleibt zu betonen, dass dies aufgrund von Datenlücken für die restlichen Länder eine erste Abschätzung darstellt.

Tabelle 11: Abschätzung zum prozentualen Anteil von Durchlaufbecken an Regenüberlaufbecken in Deutschland - bezogen auf das Volumen der Becken

| Land                | prozentualer Volumenanteil Durchlaufbecken an Regenüberlaufbecken [%] | Quelle            |
|---------------------|---|-------------------|
| Baden-Württemberg   | 36,7  | (LUBW 2014)       |
| Nordrhein-Westfalen | 50  | (LANUV 2014)      |
| restliche Länder    | 43,4  | Mittelwert BW, NW |

### 3.5.2.10 Regionalisiertes Oberflächenpotenzial

Das Oberflächenpotenzial ist eine Stofffracht, die im jährlichen Mittel von versiegelten Flächen abgewaschen wird. Diese Größe wird anhand gemessener Konzentrationen im Niederschlagsabfluss von Trennsystemen ermittelt. Bislang wurde zur Modellierung der Einträge von Phosphor, Schwermetallen und PAK ein einheitlicher Wert für das Oberflächenpotenzial für alle AU angenommen. Somit konnte keine Differenzierung zwischen städtischen und ländlichen Räumen vorgenommen werden. Diese Räume unterscheiden sich jedoch stark in den anthropogenen Aktivitäten wie bspw. Verkehrsaufkommen und Industrie. Hieraus ergeben sich unterschiedlich hohe direkte Einträge auf die versiegelte Fläche (Abrieb von Bremsen und Reifen, Korrosion metallischer Oberflächen sowie atmosphärische Deposition).

Für die Stoffe Cu und Zn konnte im Rahmen dieses Vorhabens auf regionalisierte Oberflächenpotenziale, die in einem Vorgängervorhaben von Fuchs et al. (2012) abgeleitet wurden, zurückgegriffen werden. Zunächst wurde ein Landnutzungsdatensatz erzeugt, der städtische und ländliche Siedlungsräume voneinander differenziert. Parallel dazu wurde eine Datenbank zu Konzentrationen im Niederschlagsabfluss ausgewertet, welche Einträge zu Messstellen weltweit umfasst. Diese Datenbank enthält neben den genannten Konzentrationen Angaben zu den Eigenschaften und zur Nutzung der Einzugsgebiete der Messstellen. Darüber konnte eine Kategorisierung der Standorte in städtisch und ländlich vorgenommen werden. Für die beiden Kategorien wurde die statistische Verteilung analysiert und der Median gebildet. Anschließend wurden unter Zuhilfenahme des Landnutzungsdatensatzes zu städtischen und ländlichen Räumen für die Stoffe Zink und Kupfer regionalisierte Oberflächenpotenziale ausgewiesen. Für diese Stoffe liegt eine vergleichsweise gute Datenbasis vor.

#### Landnutzungs-Datensatz „städtische“ und „ländliche“ Räume

Zur Unterscheidung städtischer und ländlicher Gebiete wurden in einem ersten Schritt die städtischen Räume ausgewiesen. Hierfür wurde sowohl ein Datensatz zu Agglomerationen als auch alle Städte > 200.000 Einwohner berücksichtigt. Anhand dieser Informationen wurde unter Einbeziehung der Verwaltungsgrenzen der Gemeinden „VG250“ (BKG 2007) die Datenbasis „städtische Räume“ für Deutschland ausgewiesen (Tabelle 12).

Diese Datenbasis wurde anschließend mit den innerörtlichen versiegelten Flächen verschnitten. Hieraus ergibt sich ein Datensatz mit versiegelten Flächen, die bei der Modellierung der Stoffeinträge mit einem höheren stoffspezifischen Oberflächenpotenzial belegt werden. Die restlichen innerörtlichen versiegelten Flächen (ländliche Räume) werden mit einem niedrigeren Oberflächenpotenzial belegt.

Innerhalb von MoRE werden die städtischen und ländlichen Räume den einzelnen Untereintragungspfaden zugewiesen. Dabei wurde die Annahme getroffen, dass alle versiegelten Flächen in städtischen Räumen an Kläranlagen angeschlossen sind, d.h. dass sie entweder dem Misch- oder dem Trennsystem zugeordnet werden. Nur an den Kanal bzw. nicht angeschlossene versiegelte Flächen beinhalten demzufolge keine versiegelten städtischen Flächen. Bei den ländlichen Räumen wurden die versiegelten Flächen dem Misch- oder Trennsystem zugeordnet, wobei auch der Anschlussgrad zu Kläranlagen Berücksichtigung fand. Die versiegelten Flächen, die nur an die Kanalisation bzw. gar nicht angeschlossen sind, wurden über den entsprechenden prozentualen Anteil der Einwohner berechnet.

Tabelle 12: Städtische Räume (Agglomerationsräume) in Deutschland

| Nr. | Agglomeration     |
|-----|-------------------|
| 1   | Aachen            |
| 2   | Berlin            |
| 3   | Bonn              |
| 4   | Bremen            |
| 5   | Düsseldorf        |
| 6   | Dresden           |
| 7   | Frankfurt am Main |
| 8   | Gießen - Wetzlar  |
| 9   | Hagen - Iserlohn  |
| 10  | Hamburg           |
| 11  | Hannover          |
| 12  | Köln              |
| 13  | Karlsruhe         |
| 14  | Leipzig           |
| 15  | München           |
| 16  | Mainz-Wiesbaden   |
| 17  | Mannheim          |
| 18  | Nürnberg          |
| 19  | Ruhrgebiet        |
| 20  | Saarbrücken       |
| 21  | Stuttgart         |
| 22  | Ulm - Neu-Ulm     |
| 23  | Wuppertal         |

### Ableitung repräsentativer Konzentrationen für „städtische“ und „ländliche“ Räume

Fuchs et al. (2010) ermitteln für den Zeitraum 1980-2005 jahresweise das arithmetische Mittel der Konzentrationen basierend auf Brombach und Fuchs (2002, erweitert) und zeigen dabei, dass es im Gegensatz zu den anderen Schwermetallen für Cu und Zn keinen zeitlichen Trend gibt. Aus diesem Grund flossen in die Studie von Fuchs et al. (2012) alle Konzentrationswerte dieses Datenpools ab 1995 ohne Zuordnung zu einem bestimmten Jahr ein. Daraus und aus der kontinuierlichen Erweiterung des Datenpools von Brombach

und Fuchs (2003, erweitert) ergab sich eine größere Anzahl von Messwerten, die es erlaubte, eine statistische Auswertung durchzuführen.

Anhand der verfügbaren Informationen wurde jenen Messstellen des Datenpools, die sich innerhalb einer Siedlung befanden und nicht an einer Autobahn lagen, das Attribut „städtisch“ oder „ländlich“ zugewiesen. Für diese Ausweisung wurden Informationen über das Verkehrsaufkommen und Einwohnerzahlen herangezogen. Lag das Verkehrsaufkommen im Einzugsgebiet der jeweiligen Messstelle bei über 30.000 Kraftfahrzeugen pro Tag, wurde der Messstelle das Attribut „städtisch“ zugewiesen. Waren Informationen über das Verkehrsaufkommen nicht verfügbar, wurden Einwohnerzahlen zu den Städten, in denen die Messstellen lagen, recherchiert. Alle Siedlungen, die mehr als 200.000 Einwohner aufwiesen, wurden als „städtisch“ ausgewiesen. Den übrigen Messstellen wurde das Attribut „ländlich“ zugewiesen.

Die Konzentrationen für Cu und Zn wurden den Messstellen entsprechend in zwei Kategorien unterteilt. So ergaben sich vier Datensätze, die statistisch untersucht wurden. Dabei wurde die Häufigkeitsverteilung ermittelt und als Histogramm ausgewertet (Abbildung 20 und Abbildung 21). Zunächst wird deutlich, dass alle Datensätze eine rechtsschiefe Verteilung aufweisen. Je nach Schwermetall und Siedlungsklasse liegen zwischen 60 und 70 % der Stichprobenwerte unter dem Mittelwert. Somit spiegelt der Median die Verteilung der Daten besser wieder als der arithmetische Mittelwert. Da sich der Median zudem in der Aussagefähigkeit gegenüber Ausreißern robuster verhält, wurde dieser zur besseren Repräsentanz der Werte bei der Ableitung des Oberflächenpotenzials verwendet.

Die Medianwerte der Cu- und Zn-Konzentrationen im Niederschlagsabfluss unterscheiden sich mit 47 µg/L bzw. 265 µg/L in städtischen Räumen deutlich von denen in ländlichen Räumen (29 µg/L bzw. 165 µg/L).

**Abbildung 20:** Häufigkeitsverteilung von Kupfer-Konzentrationen im Niederschlagsabfluss von ländlichen und städtischen Räumen (Fuchs et al. 2012)

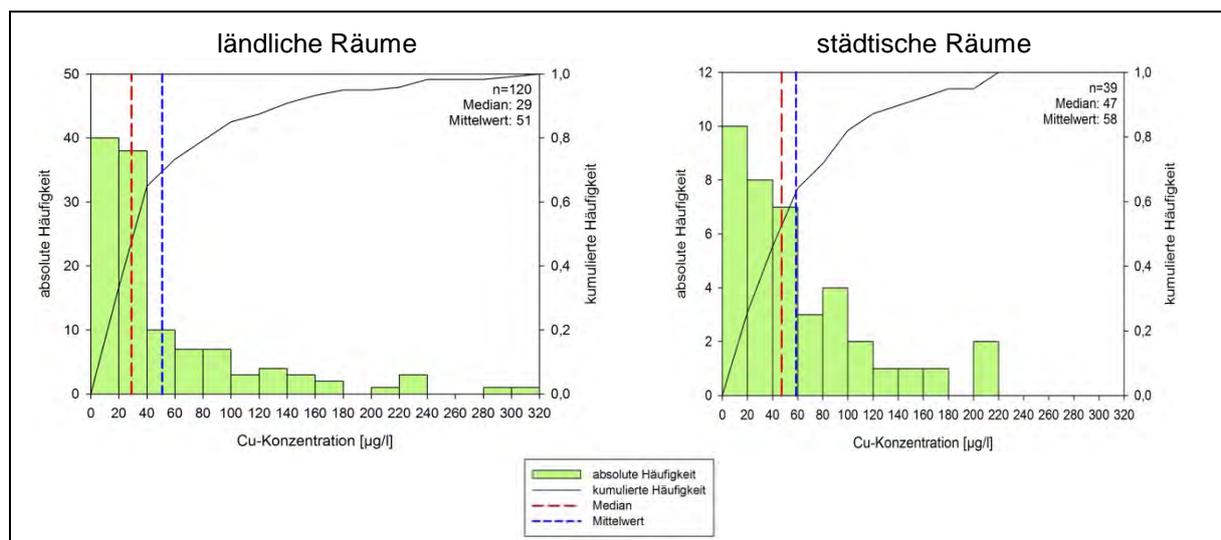
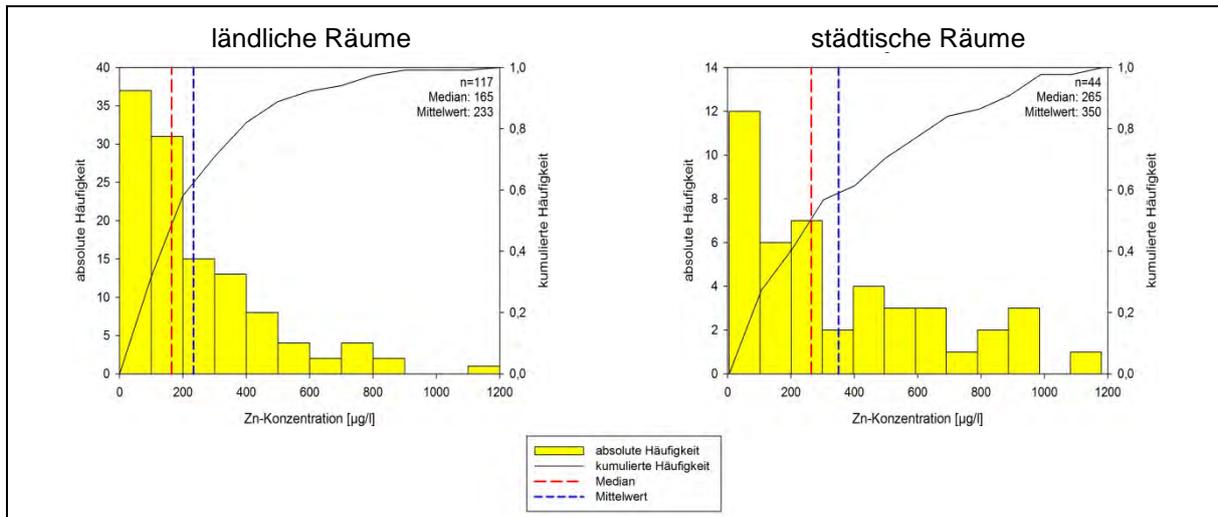


Abbildung 21: Häufigkeitsverteilung von Zink-Konzentrationen im Niederschlagsabfluss von ländlichen und städtischen Räumen (Fuchs et al. 2012)



### Ableitung regionalisierter Oberflächenpotenziale

Über den Median der Stoffkonzentrationen von Niederschlagsabflüssen in städtischen und ländlichen Räumen, den Niederschlagsabfluss sowie die versiegelte Fläche im Trennsystem errechnen sich nach der Vorgehensweise von Fuchs et al. (2010a) regionalisierte Oberflächenpotenziale für Cu und Zn entsprechend Tabelle 13.

Da der Median der Konzentrationen deutlich niedriger ist als das arithmetische Mittel (Abbildung 8 und Abbildung 9), ist das Oberflächenpotenzial, welches auf Basis des Medians abgeleitet wurde, niedriger als bei Fuchs et al. (2010a). Die flächengewichteten Mittel der Oberflächenpotenziale von 120 g/(ha·a) für Cu bzw. 806 g/(ha·a) für Zn liegen um 40 bzw. 50 % niedriger als die in Fuchs et al. (2010a) verwendeten Werte.

Tabelle 13: Regionalisierte Oberflächenpotenziale für Kupfer und Zink nach Fuchs et al. (2014a)

| Gültigkeit                | Oberflächenpotenziale |                    |
|---------------------------|-----------------------|--------------------|
|                           | Kupfer<br>[g/(ha·a)]  | Zink<br>[g/(ha·a)] |
| ländliche Räume           | 101                   | 584                |
| städtische Räume          | 180                   | 1.501              |
| flächengewichtetes Mittel | 120                   | 806                |
| Fuchs et al. (2010a)      | 204                   | 1.631              |
| Veränderung               | -41%                  | -50%               |

### 3.5.3 Ergebnisse und Empfehlungen zur bundeseinheitlichen Modellierung

In den folgenden Abschnitten 3.5.3.1 bis 3.5.3.3 werden die Ergebnisse für die Anpassungen für den Eintragspfad „Kanalisationssysteme“ präsentiert. Zudem wird eine Empfehlung zur weiteren bundeseinheitlichen Modellierung formuliert (Abschnitt 3.5.3.4).

Durch die beschriebenen methodischen Veränderungen haben sich die Ergebnisse der Eintragsmodellierung besonders regional in den AU geändert, in denen auf Grund der

vorhandenen Infrastruktur die angepassten Ansätze besonders zum Tragen kommen. Insgesamt kommt es auch im Mittel zu tendenziell höheren Einträgen in die Kanalisation durch eine mittlere Zunahme der versiegelten Flächen sowie der versiegelten Gewerbeflächen. Bei den restlichen Eingangsdatensätzen hat sich die mittlere Situation in Deutschland kaum verändert. Änderungen können sich aber auch hier regional ergeben, insbesondere auch dadurch, dass die Eingangsdaten nicht mehr flächengewichtet wie bislang auf die AU übertragen werden, sondern auf Basis von passenden Bezugsgrößen (Anschlussverhältnisse der Einwohner, Art der Entwässerung und Speichervolumen Regenüberlaufbecken). Durch die erstmalige Integration eines Datensatzes zum Speichervolumen von RKB sowie die Rückhaltewirkung von Regenbecken (RÜB und RKB) in die Modellierung, wurde die bestehende Infrastruktur und deren Wirksamkeit auf Stoffeinträge abgebildet. Dies wirkt sich im Allgemeinen in allen AU mit entsprechenden Strukturen eintragsmindernd aus.

### **3.5.3.1 Nährstoffeinträge über Kanalisationssysteme**

Die Nährstoffeinträge über Kanalisationssysteme erhöhen sich deutschlandweit nach der angepassten Variante um 24 % auf 24.100 t (N) bzw. 19 % auf 4.160 t (P) (Tabelle 14 und Tabelle 15).

Hinsichtlich der N-Einträge wirken sich bei ansonsten kaum veränderten Eingangsdaten v.a. die höhere versiegelte Fläche und Gewerbefläche (s. Abschnitte 3.5.2.3 und 3.5.2.4) eintragserhöhend aus. Im Gegensatz zu den vorwiegend partikulär gebundenen Stoffen wird bei N kein Rückhalt in Regenbecken angenommen, sodass hier keine weitere rechnerische Reduktion stattfindet. So gesehen stellen die geänderten N-Einträge ein Bild der geänderten Eingangsdaten dar. D.h., dass in AU, in denen die versiegelten Flächen und Gewerbeflächen bislang unterschätzt wurden, die gestiegenen Einträge eng mit den höheren Flächenanteil korrelieren. Flussgebietspezifisch liegen die Änderungen zwischen einer Zunahme um 18 % (Rhein) und 61 % (Oder) (Tabelle 14). Abbildung 22 und Abbildung 23 stellen die spezifischen N-Einträge nach der Basisvariante und der angepassten Variante sowie die daraus resultierenden prozentualen Änderungen auf Ebene der AU dar.

Analog zu N resultieren die im Mittel gestiegenen P-Einträge aus einem höheren Anteil versiegelter Flächen und Gewerbeflächen (s. Abschnitte 3.5.2.3 und 3.5.2.4). Diese erhöhten Einträge in die Kanalisation wurden erstmalig um einen Wirkungsgrad in Regenbecken abgemindert (s. Abschnitt 3.5.2.9). Dies kann sich jedoch nur in AU mit entsprechenden Strukturen eintragsmindernd auswirken, d.h. in AU mit RÜB bzw. RKB sowie einem relevanten Anteil an Durchlaufbecken. Bei P ist also neben dem Einfluss geänderter Eingangsdaten auch ein geänderter Ansatz zu berücksichtigen. Flussgebietspezifisch liegen die Änderungen zwischen einer Zunahme um 13 % (Rhein) und 49 % (Oder) (Tabelle 15). Abbildung 24 und Abbildung 25 stellen die spezifischen P-Einträge nach der Basisvariante und der angepassten Variante sowie die daraus resultierenden prozentualen Änderungen auf Ebene der AU dar.

Hinsichtlich der Nährstoff-Gesamteinträge wirken sich die geänderten Eingangsdaten und Ansätze beim Eintragspfad Kanalisationssysteme bei ansonsten unveränderter Situation eher mäßig aus (Zunahme um 0,75 % (N) bzw. 2,4 % (P)). Dies ist dadurch bedingt, dass dieser Eintragspfad nach Fuchs et al. (2014a) lediglich 3 bzw. 14 % der Gesamteinträge ausmacht.

Tabelle 14: Vergleich der Stickstoff-Einträge über Kanalisationssysteme im Jahr 2010 auf Ebene der Flussgebietseinheiten

| Einzugsgebiet  | Stickstoff-Eintrag Basisvariante [t/a] | Stickstoff-Eintrag angepasste Variante [t/a] | prozentuale Veränderung [%] |
|----------------|--|--|-----------------------------|
| Donau          | 2.420                                  | 2.990  | 24                          |
| Eider          | 68                                     | 96   | 40                          |
| Elbe           | 5.330                                  | 6.520  | 22                          |
| Ems            | 523                                    | 806  | 54                          |
| Maas           | 346                                    | 456  | 32                          |
| Oder           | 131                                    | 211  | 61                          |
| Rhein          | 8.280                                  | 9.740  | 18                          |
| Schlei/Trave   | 179                                    | 250  | 40                          |
| Warnow/Peene   | 176                                    | 261  | 48                          |
| Weser          | 2.090                                  | 2.780  | 33                          |
| Nordsee        | 16.600                                 | 20.400                                       | 23                          |
| Ostsee         | 485                                    | 721  | 49                          |
| Schwarzes Meer | 2.420                                  | 2.990  | 24                          |
| Deutschland    | 19.500                                 | 24.100                                       | 24                          |

Tabelle 15: Vergleich der Phosphor-Einträge über Kanalisationssysteme im Jahr 2010 auf Ebene der Flussgebietseinheiten

| Einzugsgebiet  | Phosphor-Eintrag Basisvariante [t/a] | Phosphor-Eintrag angepasste Variante [t/a] | prozentuale Veränderung [%] |
|----------------|--------------------------------------|--|-----------------------------|
| Donau          | 412                                  | 485  | 18                          |
| Eider          | 16                                   | 20   | 24                          |
| Elbe           | 963                                  | 1.150                                      | 19                          |
| Ems            | 98                                   | 131  | 34                          |
| Maas           | 63                                   | 75   | 18                          |
| Oder           | 31                                   | 47   | 49                          |
| Rhein          | 1.450                                | 1.640                                      | 13                          |
| Schlei/Trave   | 41                                   | 50   | 20                          |
| Warnow/Peene   | 45                                   | 61   | 36                          |
| Weser          | 395                                  | 496  | 26                          |
| Nordsee        | 2.980                                | 3.520                                      | 18                          |
| Ostsee         | 117                                  | 157  | 34                          |
| Schwarzes Meer | 412                                  | 485  | 18                          |
| Deutschland    | 3.510                                | 4.160                                      | 19                          |

Abbildung 22: Spezifische Stickstoff-Einträge über Kanalisationssysteme im Jahr 2010 in Deutschland

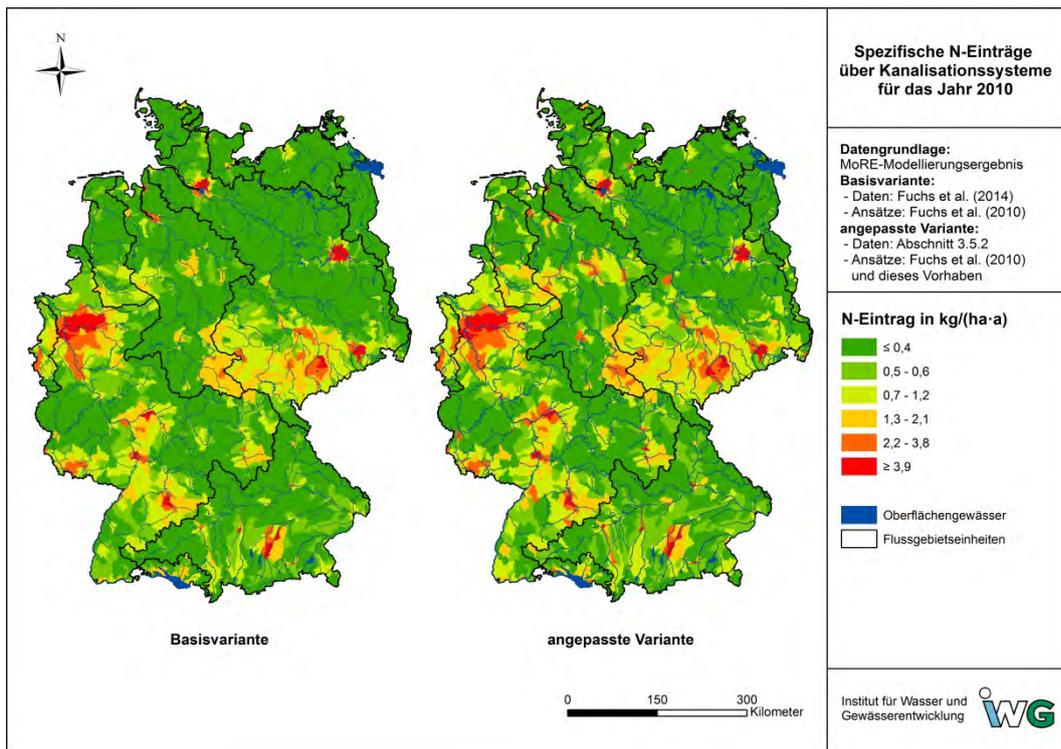


Abbildung 23: Änderung der Stickstoff-Einträge über Kanalisationssysteme von angepasster Variante zu Basisvariante im Jahr 2010 in Deutschland

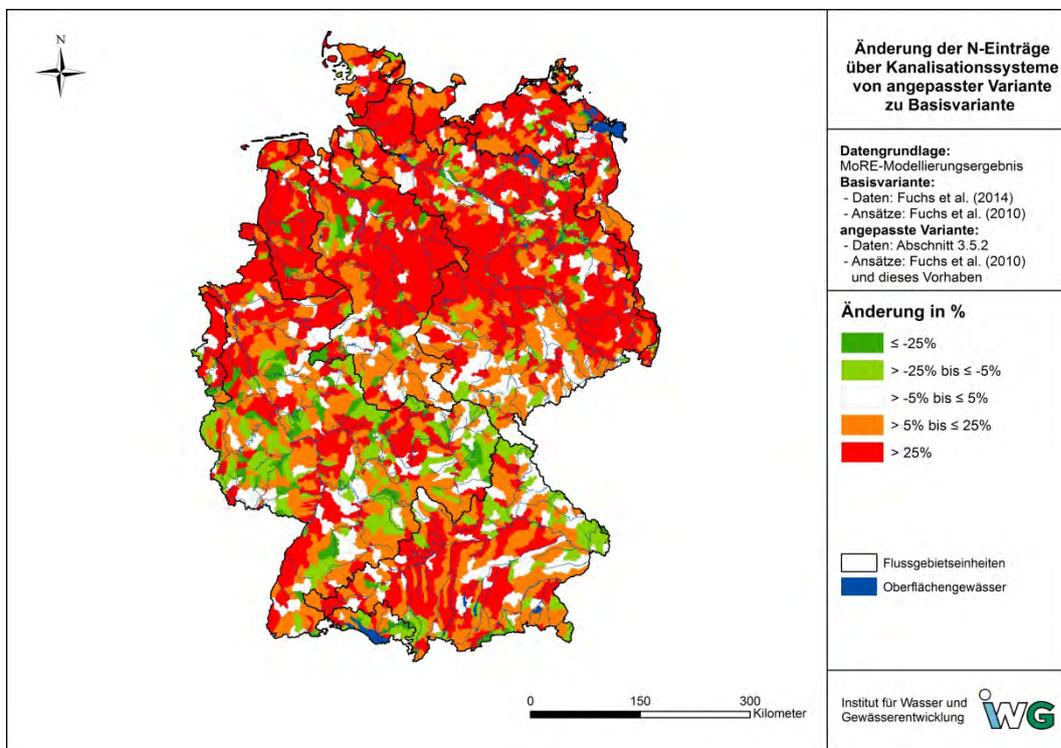


Abbildung 24: Spezifische Phosphor-Einträge über Kanalisationssysteme im Jahr 2010 in Deutschland

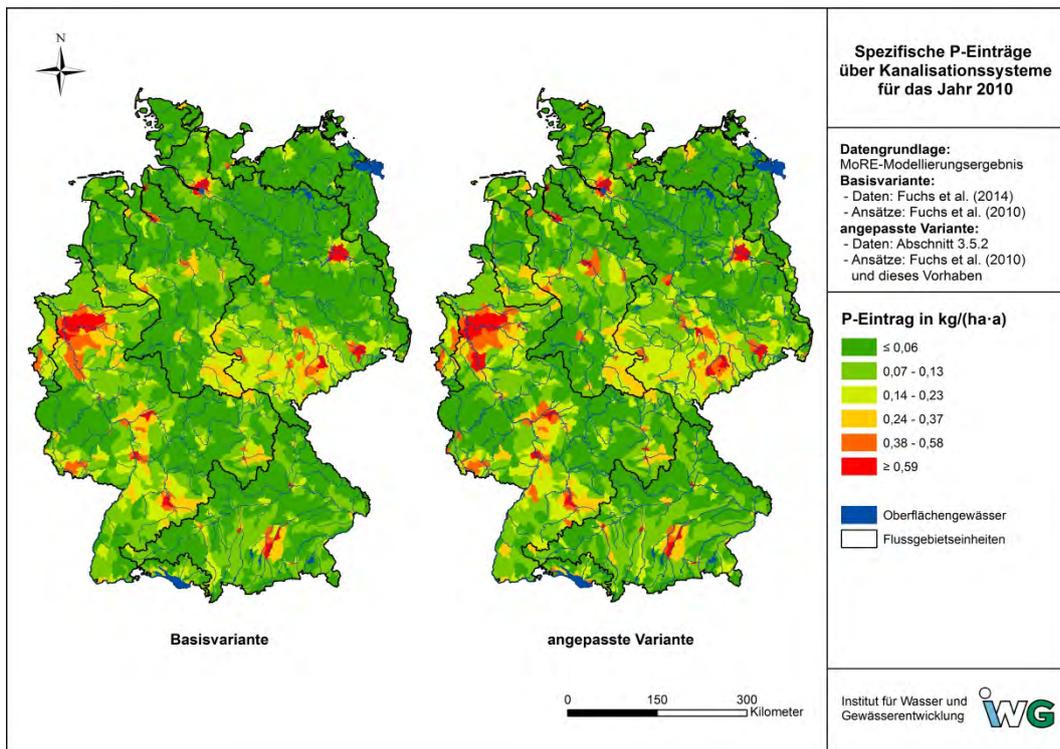
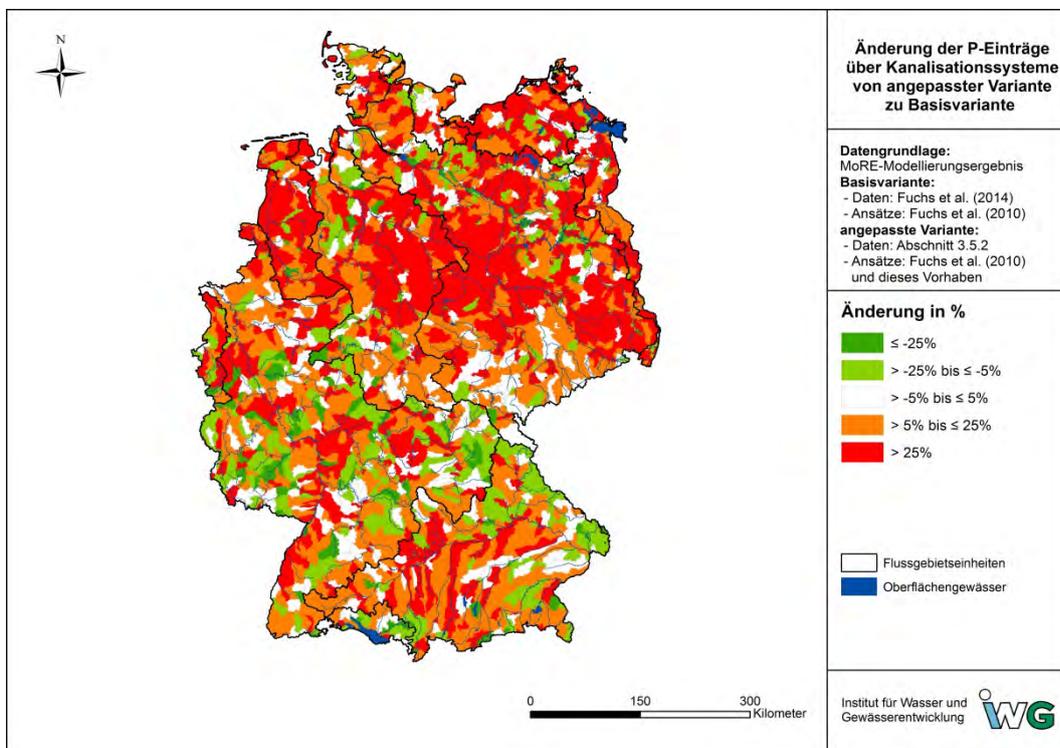


Abbildung 25: Änderung der Phosphor-Einträge über Kanalisationssysteme von angepasster Variante zu Basisvariante im Jahr 2010 in Deutschland



### 3.5.3.2 Schwermetalleinträge über Kanalisationssysteme

Für die Schwermetalle ergeben sich durch die Anpassung der Eingangsdaten und Ansätze unterschiedlich starke Veränderungen hinsichtlich der Einträge über Kanalisationssysteme (Tabelle 16).

Tabelle 16: Vergleich der Schwermetall-Einträge über Kanalisationssysteme im Jahr 2010

| Stoff       | Eintrag Basisvariante [kg/a] | Eintrag angepasste Variante [kg/a] | prozentuale Veränderung [%] |
|-------------|------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| Cadmium     | 525                          | 678                                | 29                          |
| Chrom       | 8.770                        | 11.400                             | 30                          |
| Quecksilber | 226                          | 275                                | 22                          |
| Nickel      | 13.100                       | 16.800                             | 28                          |
| Blei        | 41.200                       | 53.500                             | 30                          |
| Kupfer      | 166.000                      | 122.000                            | -27                         |
| Zink        | 866.000                      | 768.000                            | -11                         |

Bei den Schwermetallen, deren stoffliche Eingangsdaten nicht angepasst wurden (Cd, Cr, Hg, Ni, Pb), ergeben sich etwa 22 bis 30 % höhere Stoffeinträge. Die Veränderungen im Eintragungsgeschehen dieser Stoffe resultieren aus einem deutlich höheren Anteil versiegelter Flächen und Gewerbeflächen (s. Abschnitte 3.5.2.3 und 3.5.2.4) in der angepassten Variante. Diese erhöhten Einträge in die Kanalisation wurden – wie bei P auch – um einen Wirkungsgrad in Regenbecken abgemindert (s. Abschnitt 3.5.2.9). Analog kann sich dies jedoch nur in AU mit entsprechenden Strukturen (RÜB bzw. RKB sowie einem relevanten Anteil an Durchlaufbecken) eintragungsmindernd auswirken. Flussgebietspezifisch liegen die Änderungen zwischen einer Zunahme der Einträge um 14 % (Rhein) bis 58 % (Oder) (Tabelle 17 bis Tabelle 21). Stellvertretend für die Schwermetalle, deren stoffliche Eingangsdaten nicht angepasst wurden, seien die spezifischen Cr-Einträge über Kanalisationssysteme aus Deutschland exemplarisch für die Basisvariante und die angepasste Variante sowie die daraus resultierenden prozentualen Änderungen in Abbildung 26 und Abbildung 27 dargestellt.

Auch bei diesen Schwermetallen wirkt sich die Veränderung der Eingangsdaten und Ansätze beim Eintragungspfad Kanalisationssysteme auf die Gesamteinträge bei ansonsten unveränderter Situation eher mäßig aus (Zunahme um 0,74 % (Ni) bis 5,58 % (Pb)). Dies ist dadurch bedingt, dass dieser Eintragungspfad nach Fuchs et al. (2014a) stoffspezifisch lediglich 3 bzw. 20 % der Gesamteinträge ausmacht.

Die Einträge der Schwermetalle, deren Oberflächenpotenzial angepasst wurde, liegen insgesamt für Deutschland um 27 % (Cu) bzw. 11 % (Zn) unter den Werten von Fuchs et al. (2010a) (Tabelle 16). Hier wirkt sich trotz erhöhter versiegelter Flächen (s. Abschnitt 3.5.2.3) und Gewerbeflächen (s. Abschnitt 3.5.2.4) neben dem Wirkungsgrad von Regenbecken (s. Abschnitt 3.5.2.9) das deutlich niedrigere Oberflächenpotenzial (s. Tabelle 13) rechnerisch eintragungsmindernd aus. In der regionalisierten Betrachtung zeigt sich, dass trotz der im Mittel für Deutschland gesunkenen Einträge in einigen AU die Einträge gestiegen sind. Grund ist, dass in diesen AU ein relevanter Anteil an Agglomerationsräumen mit höheren Oberflächenpotentialen ausgewiesen wurde. Die AU, in denen keine Agglomerationsräume ausgewiesen wurden, verzeichnen geringere Einträge bedingt durch niedrigere Oberflächenpotenziale. Flussgebietspezifisch liegen

die Änderungen der Einträge zwischen einer Abnahme der Cu-Einträge zwischen 41 % (Eider) und 24 % (Elbe) und der Zn-Einträge zwischen 38 % (Eider) und 5 % (Elbe) (Tabelle 22 und Tabelle 23). Die Eintragungssituation für Zn sowie die Änderungen von angepasster Variante zu Basisvariante sind Abbildung 28 bzw. Abbildung 29 zu entnehmen.

Bei ansonsten unveränderter Situation wirken sich die Anpassungen beim Eintragungspfad Kanalisationssysteme auf die Cu- und Zn-Gesamteinträge in einer Reduktion um 10 bzw. 5 % aus. Diese besonders bei Cu starke Reduktion ist bedingt durch die vergleichsweise hohe Relevanz des Eintragungspfad an den Gesamteinträgen.

Tabelle 17: Vergleich der Cadmium-Einträge über Kanalisationssysteme im Jahr 2010 auf Ebene der Flussgebietseinheiten

| Einzugsgebiet  | Cadmium-Eintrag Basisvariante [kg/a] | Cadmium-Eintrag angepasste Variante [kg/a] | prozentuale Veränderung [%] |
|----------------|--------------------------------------|--|-----------------------------|
| Donau          | 59                                   | 74   | 25                          |
| Eider          | 3                                    | 4  | 27                          |
| Elbe           | 143                                  | 190  | 33                          |
| Ems            | 19                                   | 27   | 41                          |
| Maas           | 11                                   | 13   | 22                          |
| Oder           | 6                                    | 10   | 57                          |
| Rhein          | 196                                  | 241  | 23                          |
| Schlei/Trave   | 9                                    | 11   | 22                          |
| Warnow/Peene   | 9                                    | 14   | 42                          |
| Weser          | 69                                   | 95   | 37                          |
| Nordsee        | 441                                  | 570  | 29                          |
| Ostsee         | 25                                   | 35   | 39                          |
| Schwarzes Meer | 59                                   | 74   | 25                          |
| Deutschland    | 525                                  | 678  | 29                          |

Tabelle 18: Vergleich der Chrom-Einträge über Kanalisationssysteme im Jahr 2010 auf Ebene der Flussgebietseinheiten

| Einzugsgebiet  | Chrom-Eintrag Basisvariante [kg/a] | Chrom-Eintrag angepasste Variante [kg/a] | prozentuale Veränderung [%] |
|----------------|------------------------------------|--|-----------------------------|
| Donau          | 959                                | 1.210                                    | 26                          |
| Eider          | 60                                 | 76                                       | 27                          |
| Elbe           | 2.450                              | 3.260                                    | 33                          |
| Ems            | 362                                | 513                                      | 42                          |
| Maas           | 182                                | 221                                      | 21                          |
| Oder           | 122                                | 193                                      | 58                          |
| Rhein          | 3.060                              | 3.800                                    | 24                          |
| Schlei/Trave   | 166                                | 203                                      | 22                          |
| Warnow/Peene   | 179                                | 256                                      | 43                          |
| Weser          | 1.230                              | 1.690                                    | 37                          |
| Nordsee        | 7.340                              | 9.550                                    | 30                          |
| Ostsee         | 466                                | 651                                      | 40                          |
| Schwarzes Meer | 959                                | 1.210                                    | 26                          |
| Deutschland    | 8.770                              | 11.400                                   | 30                          |

Tabelle 19: Vergleich der Quecksilber-Einträge über Kanalisationssysteme im Jahr 2010 auf Ebene der Flussgebietseinheiten

| Einzugsgebiet  | Quecksilber-Eintrag Basisvariante [kg/a] | Quecksilber-Eintrag angepasste Variante [kg/a] | prozentuale Veränderung [%] |
|----------------|--|--|-----------------------------|
| Donau          | 26                                       | 31   | 19                          |
| Eider          | 1  | 1  | 25                          |
| Elbe           | 60                                       | 76   | 26                          |
| Ems            | 7  | 10   | 39                          |
| Maas           | 4  | 5  | 17                          |
| Oder           | 2  | 4  | 55                          |
| Rhein          | 91                                       | 104  | 14                          |
| Schlei/Trave   | 3  | 4  | 21                          |
| Warnow/Peene   | 3  | 5  | 41                          |
| Weser          | 28                                       | 36   | 31                          |
| Nordsee        | 191                                      | 232  | 21                          |
| Ostsee         | 9  | 12   | 37                          |
| Schwarzes Meer | 26                                       | 31   | 19                          |
| Deutschland    | 226                                      | 275  | 22                          |

Tabelle 20: Vergleich der Nickel-Einträge über Kanalisationssysteme im Jahr 2010 auf Ebene der Flussgebietseinheiten

| Einzugsgebiet  | Nickel-Eintrag Basisvariante [kg/a] | Nickel-Eintrag angepasste Variante [kg/a] | prozentuale Veränderung [%] |
|----------------|-------------------------------------|---|-----------------------------|
| Donau          | 1.440                               | 1.800                                     | 25                          |
| Eider          | 86                                  | 109                                       | 27                          |
| Elbe           | 3.620                               | 4.750                                     | 31                          |
| Ems            | 520                                 | 736                                       | 42                          |
| Maas           | 269                                 | 323                                       | 20                          |
| Oder           | 176                                 | 276                                       | 57                          |
| Rhein          | 4.680                               | 5.670                                     | 21                          |
| Schlei/Trave   | 238                                 | 291                                       | 22                          |
| Warnow/Peene   | 257                                 | 367                                       | 43                          |
| Weser          | 1.800                               | 2.440                                     | 36                          |
| Nordsee        | 11.000                              | 14.000                                    | 27                          |
| Ostsee         | 670                                 | 933                                       | 39                          |
| Schwarzes Meer | 1.440                               | 1.800                                     | 25                          |
| Deutschland    | 13.100                              | 16.700                                    | 27                          |

Tabelle 21: Vergleich der Blei-Einträge über Kanalisationssysteme im Jahr 2010 auf Ebene der Flussgebietseinheiten

| Einzugsgebiet  | Blei-Eintrag Basisvariante [kg/a] | Blei-Eintrag angepasste Variante [kg/a] | prozentuale Veränderung [%] |
|----------------|-----------------------------------|---|-----------------------------|
| Donau          | 4.500                             | 5.670                                   | 26                          |
| Eider          | 285                               | 362                                     | 27                          |
| Elbe           | 11.500                            | 15.300                                  | 33                          |
| Ems            | 1.720                             | 2.450                                   | 42                          |
| Maas           | 858                               | 1.040                                   | 21                          |
| Oder           | 584                               | 920                                     | 58                          |
| Rhein          | 14.300                            | 17.600                                  | 23                          |
| Schlei/Trave   | 790                               | 968                                     | 23                          |
| Warnow/Peene   | 853                               | 1.220                                   | 43                          |
| Weser          | 5.820                             | 7.980                                   | 37                          |
| Nordsee        | 34.500                            | 44.700                                  | 30                          |
| Ostsee         | 2.220                             | 3.110                                   | 40                          |
| Schwarzes Meer | 4.500                             | 5.670                                   | 26                          |
| Deutschland    | 41.200                            | 53.500                                  | 30                          |

Tabelle 22: Vergleich der Kupfer-Einträge über Kanalisationssysteme im Jahr 2010 auf Ebene der Flussgebietseinheiten

| Einzugsgebiet  | Kupfer-Eintrag Basisvariante [kg/a] | Kupfer-Eintrag angepasste Variante [kg/a] | prozentuale Veränderung [%] |
|----------------|-------------------------------------|---|-----------------------------|
| Donau          | 18.600                              | 12.900                                    | -31                         |
| Eider          | 1.120                               | 659                                       | -41                         |
| Elbe           | 44.900                              | 34.200                                    | -24                         |
| Ems            | 6.750                               | 4.760                                     | -29                         |
| Maas           | 3.470                               | 2.510                                     | -28                         |
| Oder           | 2.260                               | 1.640                                     | -27                         |
| Rhein          | 60.000                              | 44.200                                    | -26                         |
| Schlei/Trave   | 3.090                               | 2.170                                     | -30                         |
| Warnow/Peene   | 3.310                               | 2.450                                     | -26                         |
| Weser          | 22.900                              | 16.700                                    | -27                         |
| Nordsee        | 139.000                             | 103.000                                   | -26                         |
| Ostsee         | 8.650                               | 6.250                                     | -28                         |
| Schwarzes Meer | 18.600                              | 12.900                                    | -31                         |
| Deutschland    | 166.000                             | 122.000                                   | -27                         |

Tabelle 23: Vergleich der Zink-Einträge über Kanalisationssysteme im Jahr 2010 auf Ebene der Flussgebietseinheiten

| Einzugsgebiet  | Zink-Eintrag Basisvariante [kg/a] | Zink-Eintrag angepasste Variante [kg/a] | prozentuale Veränderung [%] |
|----------------|-----------------------------------|---|-----------------------------|
| Donau          | 94.800                            | 75.000                                  | -21                         |
| Eider          | 5.980                             | 3.710                                   | -38                         |
| Elbe           | 241.000                           | 228.000                                 | -5                          |
| Ems            | 36.200                            | 29.000                                  | -20                         |
| Maas           | 18.100                            | 16.400                                  | -9                          |
| Oder           | 12.200                            | 9.430                                   | -23                         |
| Rhein          | 302.000                           | 270.000                                 | -11                         |
| Schlei/Trave   | 16.600                            | 14.700                                  | -11                         |
| Warnow/Peene   | 17.900                            | 15.600                                  | -13                         |
| Weser          | 122.000                           | 106.000                                 | -13                         |
| Nordsee        | 725.000                           | 653.000                                 | -10                         |
| Ostsee         | 46.600                            | 39.800                                  | -15                         |
| Schwarzes Meer | 94.800                            | 75.000                                  | -21                         |
| Deutschland    | 866.000                           | 768.000                                 | -11                         |

Abbildung 26: Spezifische Chrom-Einträge über Kanalisationssysteme im Jahr 2010 in Deutschland

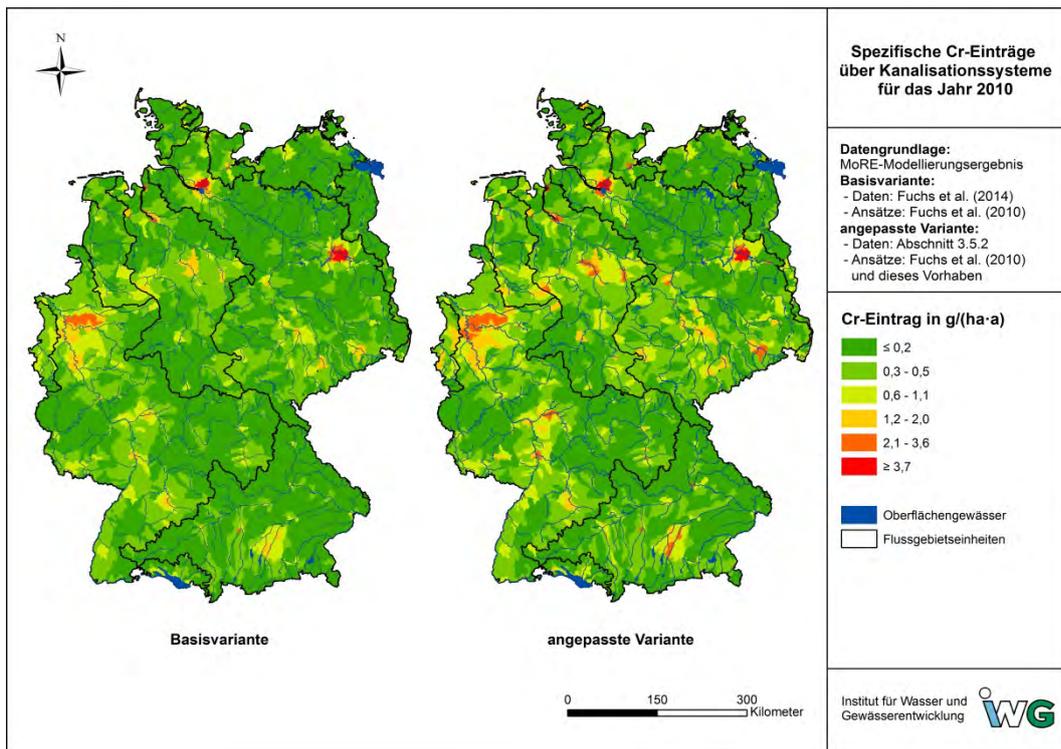


Abbildung 27: Änderung der Chrom-Einträge über Kanalisationssysteme von angepasster Variante zu Basisvariante im Jahr 2010 in Deutschland

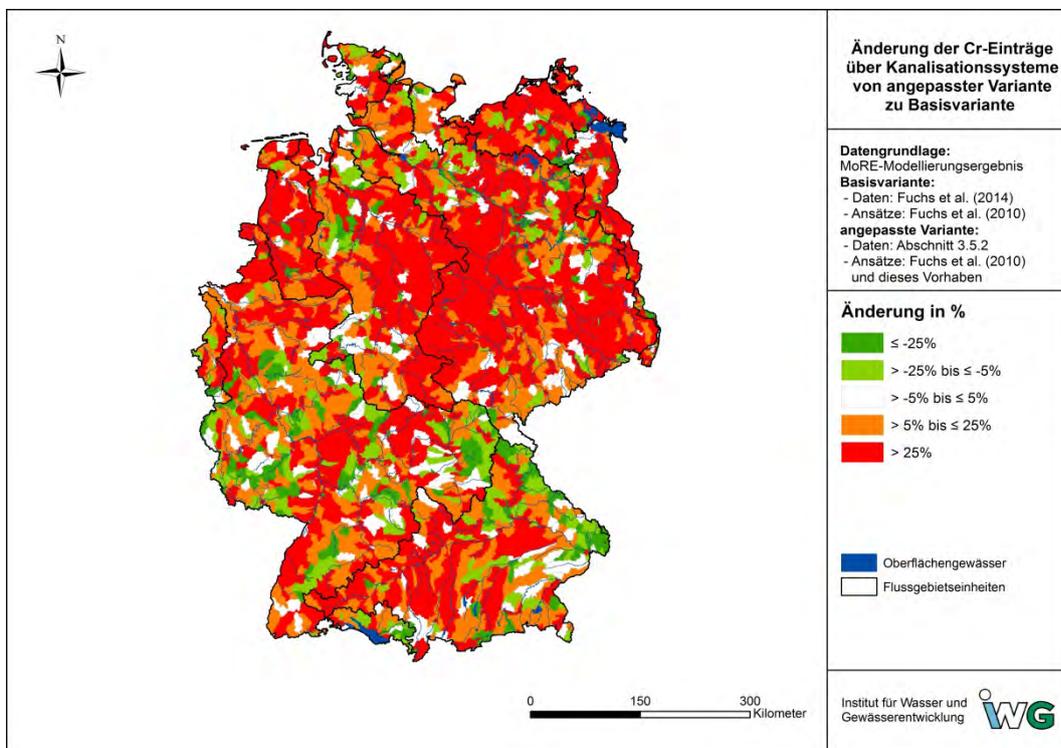


Abbildung 28: Spezifische Zink-Einträge über Kanalisationssysteme im Jahr 2010 in Deutschland

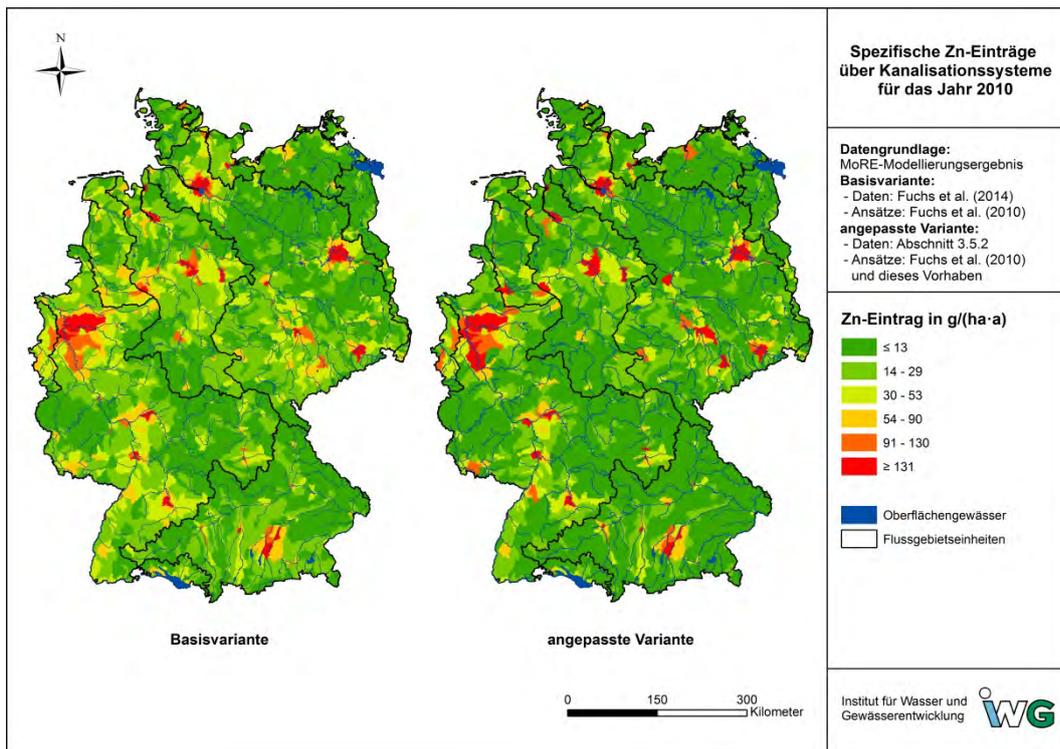


Abbildung 29: Änderung der Zink-Einträge über Kanalisationssysteme von angepasster Variante zu Basisvariante im Jahr 2010 in Deutschland

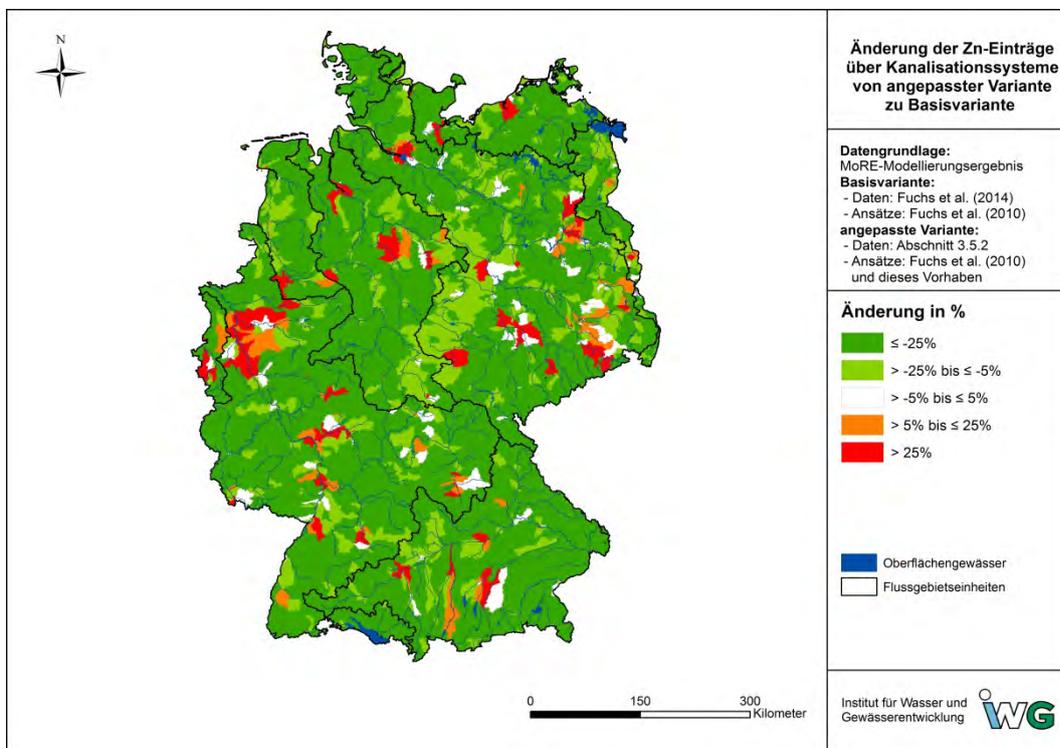
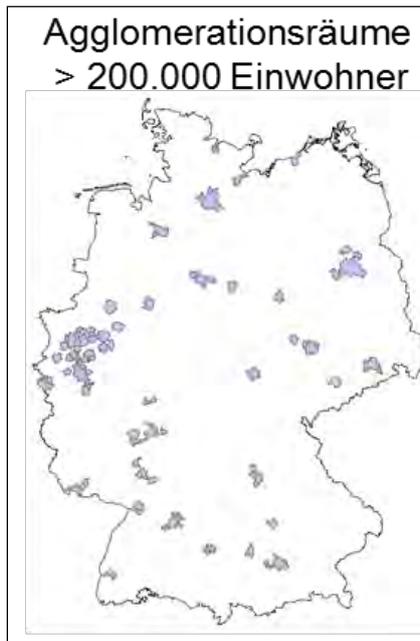


Abbildung 30: Agglomerationsräume in MoRE nach Fuchs et al. (2012) (Abbildung modifiziert) in Deutschland



### 3.5.3.3 PAK<sub>16</sub>-Einträge über Kanalisationssysteme

Die PAK<sub>16</sub>-Einträge erhöhen sich für Gesamtdeutschland nach der angepassten Variante im Mittel um ca. 29 % auf 7.410 kg/a. Die Veränderungen im Eintragungsgeschehen resultieren ebenfalls aus deutlich erhöhten Anteilen versiegelter Flächen (s. Abschnitte 3.5.2.3 und 3.5.2.4) in der angepassten Variante. Diese erhöhten Einträge in die Kanalisation wurden ebenfalls durch den berücksichtigten Rückhalt in Regenbecken abgemindert (s. Abschnitt 3.5.2.9). Analog kann sich dies jedoch nur in AU mit entsprechenden Strukturen eintragungsmindernd auswirken.

Flussgebietsspezifisch liegen die Änderungen der Einträge zwischen einer Zunahme um 20 % (Maas) und 58 % (Oder). Die spezifischen PAK<sub>16</sub>-Einträge über Kanalisationssysteme der Basisvariante und der angepassten Variante sowie der daraus resultierenden prozentualen Änderungen sind in Abbildung 31 und Abbildung 32 für Gesamtdeutschland dargestellt.

Hinsichtlich der Gesamteinträge wirkt sich die methodische Anpassung in einer beachtlichen Zunahme der Einträge aus (11 %). Dies ist dadurch bedingt, dass dieser Eintragungspfad für PAK<sub>16</sub> nach Fuchs et al. (2014a) mit ca. 40 % der bedeutendste Eintragungspfad sind.

Abbildung 31: Spezifische PAK<sub>16</sub>-Einträge über Kanalisationssysteme im Jahr 2010 in Deutschland

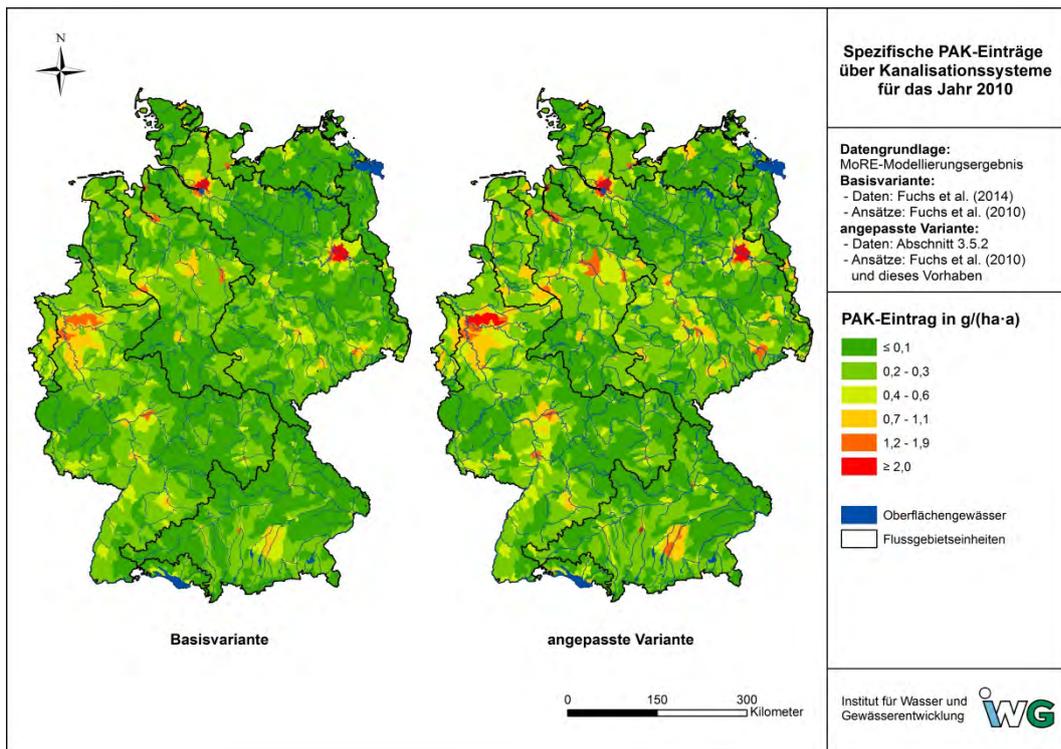


Abbildung 32: Änderung der PAK<sub>16</sub>-Einträge über Kanalisationssysteme von angepasster Variante zu Basisvariante im Jahr 2010 in Deutschland

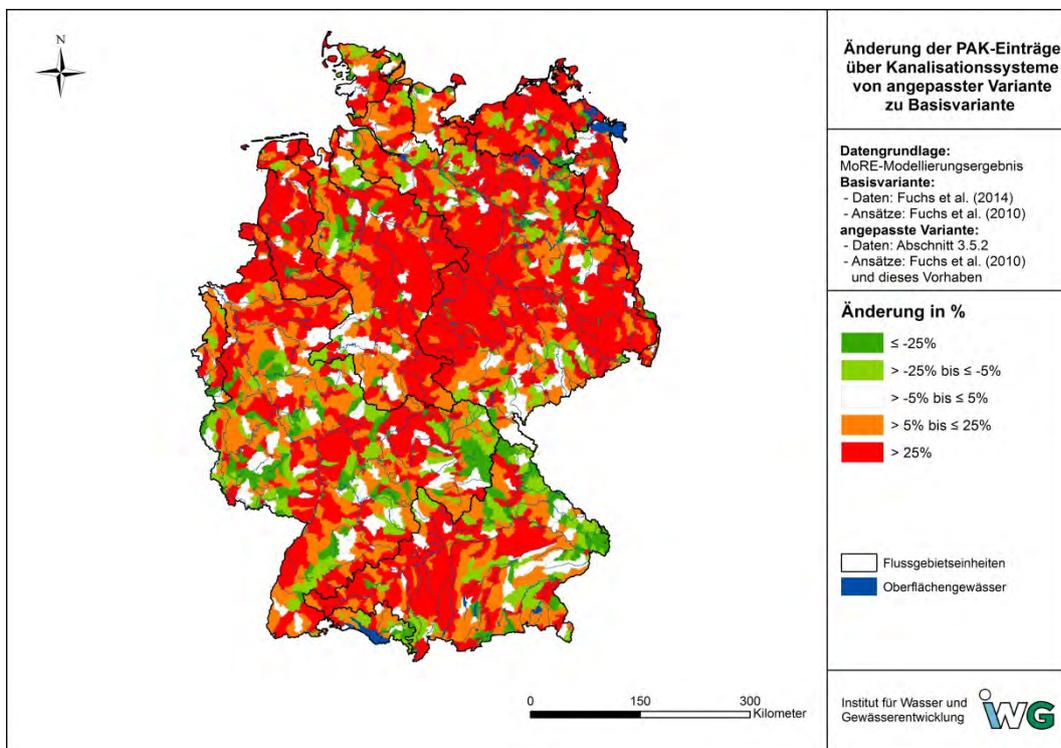


Tabelle 24: Vergleich der PAK<sub>16</sub>-Einträge über Kanalisationssysteme im Jahr 2010 auf Ebene der Flussgebietseinheiten

| Einzugsgebiet  | PAK <sub>16</sub> -Eintrag Basisvariante [kg/a] | PAK <sub>16</sub> -Eintrag angepasste Variante [kg/a] | prozentuale Veränderung [%] |
|----------------|---|---|-----------------------------|
| Donau          | 624   | 781   | 25                          |
| Eider          | 41  | 53  | 27                          |
| Elbe           | 1.620   | 2.120   | 31                          |
| Ems            | 251   | 356   | 42                          |
| Maas           | 122   | 146   | 20                          |
| Oder           | 85  | 134   | 58                          |
| Rhein          | 1.950   | 2.370   | 22                          |
| Schlei/Trave   | 115   | 141   | 23                          |
| Warnow/Peene   | 124   | 178   | 44                          |
| Weser          | 828   | 1.130   | 36                          |
| Nordsee        | 4.810   | 6.180   | 28                          |
| Ostsee         | 324   | 452   | 40                          |
| Schwarzes Meer | 624   | 781   | 25                          |
| Deutschland    | 5.760   | 7.410   | 29                          |

### 3.5.3.4 Empfehlungen

Die neu erzeugten Eingangsdaten für die Modellierung von Einträgen über Kanalisationssysteme werden zur Übernahme in die bundeseinheitliche Modellierung empfohlen, da es sich dabei um aktuelle sowie räumlich und zeitlich besser aufgelöste Daten handelt. Es ist davon auszugehen, dass mit den beschriebenen methodischen Ansätzen die Aussagefähigkeit der Modellergebnisse hinsichtlich dieses Eintragspfades verbessert wird.

Ein Teil der Datensätze musste früher empirisch abgeleitet werden, da keine adäquaten Eingangsdaten zur Verfügung standen. Als Ergebnis aktueller Forschung hat sich die Verfügbarkeit und Qualität einzelner Eingangsdaten deutlich verbessert.

Die Übertragung statistischer Grundlagendaten auf die AU wurde bisher flächengewichtet durchgeführt. Dieses Vorgehen hatte eine räumliche Homogenisierung der Informationen zur Folge. Um die räumlich differenzierte Information beizubehalten, wurden diese nun anhand der fachlich begründeten Bezugsgrößen auf die AU übertragen. So wird in der Modellierung die tatsächliche Eintragsituation differenzierter und plausibler abgebildet.

Erstmals wurde im Rahmen des Vorhabens ein Datensatz zum Speichervolumen von RKB integriert. Zusätzlich wurde die Wirkung von RKB und RÜB in der Modellierung berücksichtigt. Dies stellt einen wichtigen Schritt bei der Abbildung bestehender Infrastrukturen dar.

Zudem wurden die Ergebnisse aus dem Vorgängerprojekt Fuchs et al. (2012) in das bundeseinheitliche Modell übernommen. Hiernach werden für ausgewählte Schwermetalle städtische von ländlichen Gebieten in ihrem Verschmutzungspotenzial unterschieden und damit eine bessere räumliche Differenzierung der Siedlungsräume und der Stoffeintrag aus diesen Räumen erreicht (Abschnitt 3.5.2.10).

Trotz der umfangreichen Weiterentwicklungen, gibt es nach wie vor weiteren Verbesserungsbedarf bei der Modellierung von Einträgen über Kanalisationssysteme. Dies betrifft die Entwicklung von regionalisierten Oberflächenpotenzialen für die Schwermetalle Cd, Cr, Hg, Ni und Pb und für die PAK. Bei den Stoffe, die hauptsächlich über atmosphärische Deposition auf versiegelte Flächen eingetragen werden (bspw. Hg), könnte die atmosphärische Deposition dem Oberflächenpotenzial gleich gesetzt werden. Bei den restlichen Stoffen müssten – ähnlich wie bei Cu und Zn – geeignete Daten zur Klassifikation erhoben werden.

Dringender weiterer Verbesserungsbedarf besteht bei den Daten, die zu den Entwässerungssystemen vorliegen. Aus wissenschaftlicher Sicht ist es sinnvoll, auf Ebene von Kläranlagen-Einzugsgebieten zu modellieren. Hierfür müssen die notwendigen Daten jedoch flächendeckend verfügbar sein. Dies betrifft insbesondere:

- die Abgrenzung der Einzugsgebiete einzelner Kläranlagen,
- die Beschreibung der Charakteristik der Einzugsgebiete der Kläranlagen (Landnutzung, angeschlossene Einwohner und Gewerbe) und
- die Zuordnung von Daten zu Entwässerungssystemen (Anschlussgrade, Entwässerungsart, Regenbecken) zu den Kläranlageneinzugsgebieten.

Zudem sollte die Datenbasis zur Art der Regenbecken (s. Abschnitt 3.5.2.9) erweitert werden, um verlässlichere Eingangsdaten für die Modellierung bereit zu stellen.

## **3.6 Erosion**

Erosion ist ein wesentlicher Eintragungspfad für die Stoffeintragsmodellierung, der gleichzeitig äußerst schwer zu quantifizieren ist. Um die Erosionsberechnung auf großer Skala zu verbessern muss man einerseits die empirischen Ansätze verbessern, andererseits sollte die Verwendung von genaueren Eingangsdatensätzen ebenfalls zu einer Verbesserung der Ergebnisse führen. Im Rahmen eines Workshops zum Thema Erosion wurde daher empfohlen, die bisher verwendete Bodenabtragsberechnung auf Basis der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (ABAG) mit einem besser aufgelösten Digitalen Geländemodell (DGM) durchzuführen (Abschnitt 3.6.1), da Steigung und Hanglänge wichtige Faktoren für die Stärke von Erosionsereignissen sind. Zudem sollten Vergleichsrechnungen mit den Bodenabträgen des Stoffeintragsmodells STOFFBILANZ durchgeführt werden (Abschnitt 3.6.2) um die Auswirkungen der anderen Eingangsdatensätze und Berechnungsmethoden abzuschätzen. Zudem wurden räumlich höher aufgelöste Eingangsdaten aus einem Vorgängervorhaben in die Modellierung übernommen (Abschnitt 3.6.3). Die daraus entstandenen Empfehlungen zur weiteren Vorgehensweise für die bundeseinheitliche Modellierung sind Abschnitt 3.6.4 zu entnehmen.

### **3.6.1 Ermittlung des Bodenabtrags anhand unterschiedlicher Geländemodelle**

Um die Veränderung des Bodenabtrags bei der Verwendung eines höher aufgelösten DGM zu prüfen, wurde der Bodenabtrag einmal mit dem SRTM-Geländemodell (NASA 2005) mit einer Auflösung von 100 m und einmal mit dem EU-Geländemodell (EEA 2013b) mit einer Auflösung von 25 m berechnet. Wie im folgenden Abschnitt gezeigt, führt ein höher aufgelöstes Geländemodell bei Beibehaltung der Berechnungsmethode zu höheren Bodenabträgen. In diesem Fall ergab die Berechnung mit dem DGM 25 gegenüber dem DGM 100 für die Jahre 2006 bis 2011 einen im Mittel um 6,3 % höheren

Bodenabtrag. Auch andere Studien (z. B. Olson; 2013; Gertner et al.; 2002) zeigen diesen Effekt.

Dabei ist die Abweichung auf tendenziell steileren Flächen, die häufig auf Grund der Geländebedingungen als Grünlandflächen und Waldflächen genutzt werden, tendenziell stärker, als auf ackerbaulich genutzten Flächen (Abbildung 33). Ein Grund dafür ist, dass ein höher aufgelöstes Geländemodell das tatsächliche Gefälle sehr viel besser abbildet, wohingegen bei gröberen Geländemodellen eine stärkere Mittelung der Steigungen zu erwarten ist. Dies führt bei der Bodenabtragsberechnung nach ABAG zu höheren Hangneigungsfaktoren (S-Faktoren) und damit zu höheren Bodenabträgen. Am deutlichsten trifft dieser Effekt in hügeligem bis alpinem Gelände auf, wo sich der Unterschied durch die unterschiedliche Auflösung am stärksten darstellt. Abbildung 34 zeigt, dass das 25 m Höhenmodell sowohl im Histogramm, als auch bei der kumulativen Verteilungsfunktion deutlich nach rechts, also in Richtung höherer Neigung verschoben ist. Dieser Effekt tritt sowohl im flacheren Gelände auf, hier das Voralpengebiet des Inneinzugsgebiets, als auch in steileren Bereichen, hier die nördlichen Kalkalpen in Bayern und Österreich.

Abbildung 33: Übersicht über Abweichungen der Bodenabträge bei Verwendung zweier verschiedener Höhenmodelle

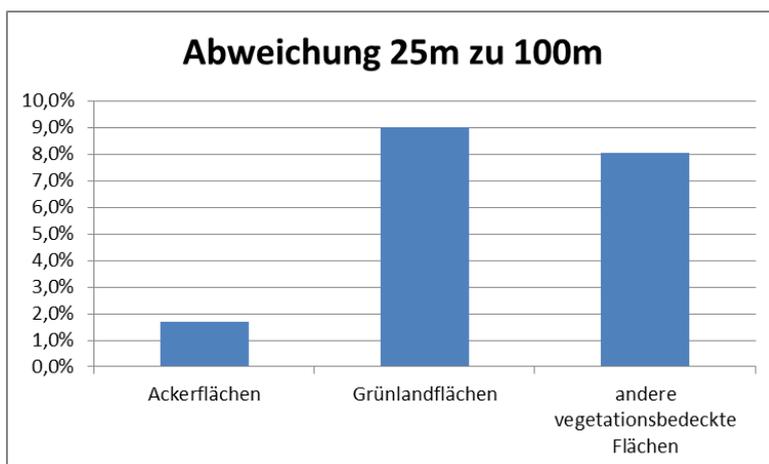
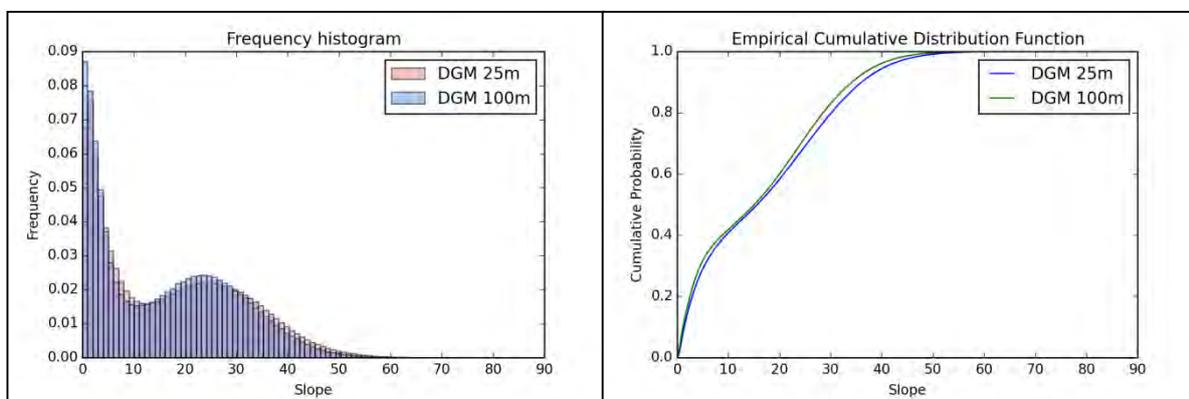


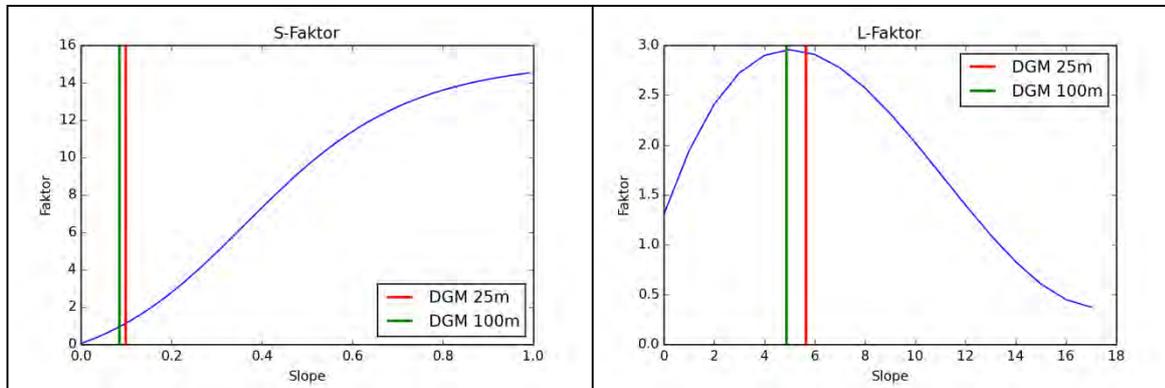
Abbildung 34: Frequenz-Histogramm und eCDF-Diagramm am Beispiel der 25 m und 100 m Höhenmodelle im Einzugsgebiet des Inn



Eine höhere Geländeneigung hat dabei vor allem Einfluss auf die Höhe des Hangneigungsfaktors der ABAG, dem S-Faktor (Abbildung 35). Im Mittel über große Gebiete ist der Unterschied dabei gering, jedoch kann es regional starke Abweichungen

geben. Ein wesentliches Problem äußert sich dabei in der ABAG selbst, da diese keine Deposition abbildet. Bei der Nutzung von feineren Höhenmodellen werden dadurch Strukturen mit abgebildet, deren Skala nicht mit dem langfristigen und mittelnden Ansatz der ABAG vereinbar ist.

**Abbildung 35:** Darstellung der S- und L-Faktoren der ABAG (blaue Kurve) mit durchschnittlichen Steigungswerten der verschiedenen Höhenmodelle



Um also einen räumlich höher aufgelösten Datensatz für das Höhenmodell zu verwenden, müssen sowohl detaillierte Analysen der Veränderung der räumlichen Verteilung des Bodenabtrags durchgeführt werden als auch das Sedimenteintragsverhältnis neu kalibriert werden. Das Sedimenteintragsverhältnis, das den tatsächlichen Eintrag über Erosion in die Gewässer beschreibt, wurde in der aktuellen Modellierung unter Verwendung des DGM100 abgeleitet. Die Neuberechnung des Sedimenteintragsverhältnisses erfordert neben großen Datenmengen eine erhebliche zeitliche Investition, sodass dies in diesem Vorhaben nicht vorgenommen werden konnte.

### 3.6.2 Vergleich des Bodenabtrags und Sedimenteintrags mit den Ergebnissen des Modells STOFFBILANZ

Das Modell STOFFBILANZ (Gebel et al. 2012) wird durch die Gesellschaft für Angewandte Landschaftsforschung (GALF) bR, Dresden entwickelt. Es handelt sich um ein Modell für die wasserwirtschaftliche Maßnahmenplanung auf der Mesoskala. Die Berechnung von Bodenabtrag und Sedimenteintrag erfolgt in STOFFBILANZ auf Rasterebene (Auflösung 500 m) für ganz Sachsen. Dabei kommt für die Bodenabtragsberechnung genau wie in MoRE die ABAG zum Einsatz, wobei einzelne Faktoren der ABAG anders abgeleitet werden (vgl. hierzu auch Tabelle 26). Der Sedimenteintrag wird anders als in MoRE ebenfalls auf Rasterebene berechnet und damit räumlich differenziert betrachtet. In MoRE erfolgt die Sedimenteintragsmodellierung aktuell noch mit mittleren Werten auf Einzugsgebietsebene.

In MoRE sind aktuell für ganz Deutschland zwei Versionen für die Erosions-Modellierung hinterlegt:

- Die Basisvariante berechnet die Erosion auf Basis des CLC2000 Landnutzungsdatensatzes mit den Berechnungs-Ansätzen aus Fuchs et al. (2010a).
- Im Projekt „Neuimplementierung“ wurde die Erosion auf Basis des DLM 2008 Landnutzungsdatensatzes berechnet (vgl. Fuchs et al. (2012)).

In Zusammenarbeit mit GALF wurden vier Testgebiete in Sachsen ausgewählt, in welchen der Eintragspfad Erosion eine große Relevanz hat (Tabelle 25). Anhand dieser Testgebiete werden die Ergebnisse der Bodenabtrags- und Sedimenteintragsmodellierung verglichen.

**Tabelle 25: Ausgewählte Einzugsgebiete und ihre Charakteristika für die Vergleichsrechnung von MoRE und STOFFBILANZ zum Eintragspfad Erosion**

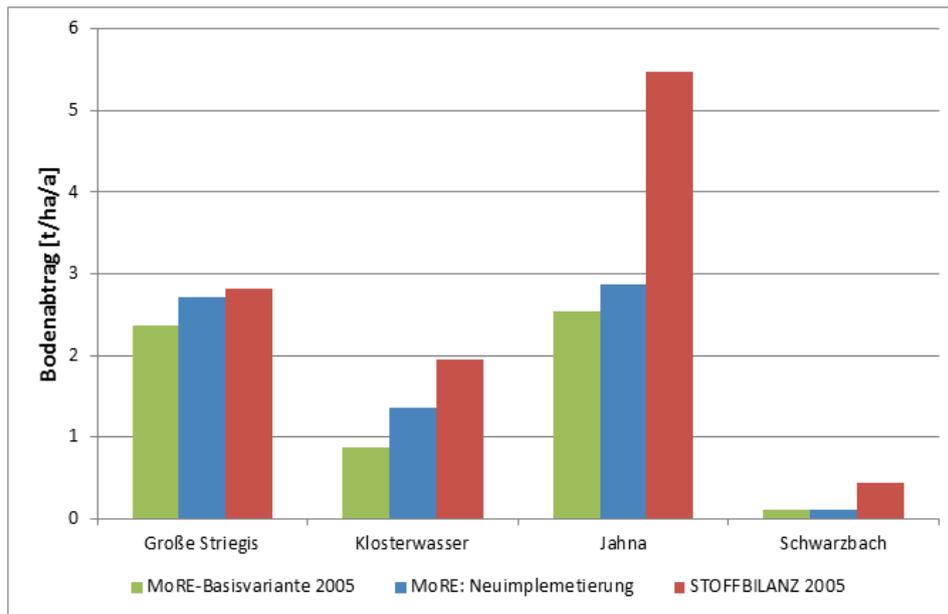
| Name des Gewässers | Einzugsgebietseigenschaften |                      |   |                                     |                      |
|--------------------|-----------------------------|----------------------|---|-------------------------------------|----------------------|
|                    | Größe [km <sup>2</sup> ]    | Mittlere Neigung [°] | Anteil Ackerflächen (Landnutzungsdatensatz) [%] |                                     |                      |
|                    |                             |                      | MoRE-Basisvariante: (CORINE 2000)               | MoRE-Neuimplementierung: (DLM-2008) | STOFFBILANZ: (ATKIS) |
| Große Striegis     | 284                         | 4,1                  | 74  | 56                                  | 58                   |
| Kloster-wasser     | 107                         | 2,2                  | 73  | 52                                  | 59                   |
| Jahna              | 242                         | 2,8                  | 94  | 82                                  | 86                   |
| Schwarz-bach       | 182                         | 0,8                  | 48  | 40                                  | 39                   |

In Abhängigkeit der für die Modellierung verwendeten Datensätze zeigen sich bereits bezogen auf die Landnutzungsdaten große Unterschiede. Der Anteil der Ackerfläche in den Untersuchungsgebieten ist bei CLC2000 z.T. deutlich höher als beim DLM 2008 und den ATKIS-Daten, die in der gleichen Größenordnung liegen. Dies wirkt sich bei der Berechnung der Sedimenteinträge durch eine größere verfügbare Bodenabtragsfracht aus.

### 3.6.2.1 Vergleich der Bodenabtragsberechnung

Die Ergebnisse der Berechnung des mittleren potentiellen Bodenabtrags sind in Abbildung 36 dargestellt. Es fällt auf, dass das Modell STOFFBILANZ in allen vier Gebieten – trotz einem teilweise niedrigeren Anteil an Ackerflächen – vergleichsweise höhere Bodenabträge simuliert. Besonders gravierend sind die Unterschiede für das Gebiet der Jahna, wo die Bodenabträge von STOFFBILANZ ungefähr das Doppelte der Vergleichsergebnisse von MoRE Basisvariante 2005 bzw. MoRE-Neuimplementierung betragen. Alle drei Ansätze liefern aber für das Jahnagebiet die höchsten Bodenabträge, gefolgt von den Gebieten Große Striegis, Klosterwasser und Schwarzbach.

Abbildung 36: Vergleichsrechnung zum Bodenabtrag zwischen MoRE und STOFFBILANZ



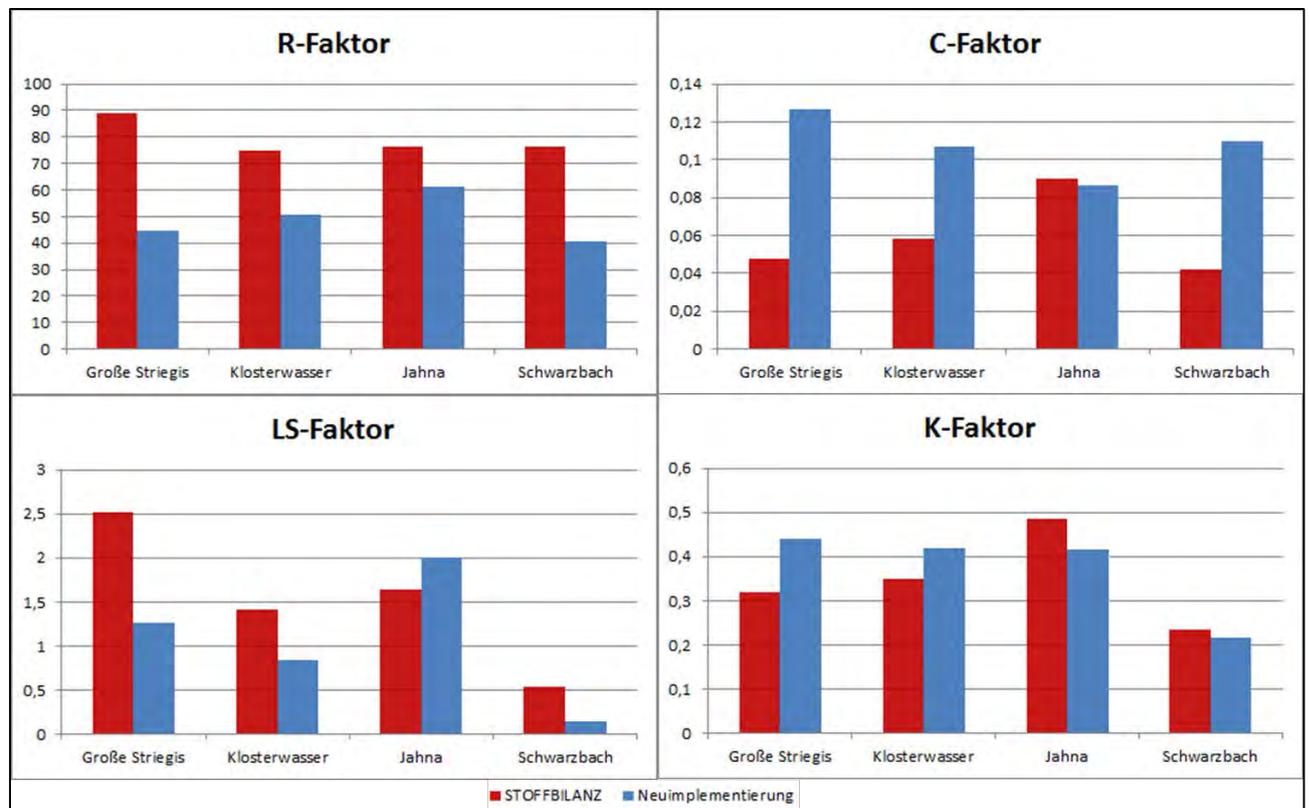
Beim Vergleich der Methodik der beiden Modelle ist festzustellen, dass sowohl die Grundlagendaten als auch die Formeln für die Ableitung der Faktoren für die ABAG unterschiedlich sind (vgl. Tabelle 26 und Abbildung 37).

Tabelle 26: Methodische Unterschiede bei der Berechnung der Faktoren der ABAG: „STOFFBILANZ“ vs. „MoRE-Neuimplementierung“

| Faktor                   | STOFFBILANZ  | MoRE-Neuimplementierung  |
|--------------------------|--|--|
| R (Regenerositätsfaktor) | Nicht dokumentiert   | Abgeleitet aus den langjährigen mittleren Sommerniederschlägen auf Basis von Niederschlagsdaten des Deutschen Wetterdienst in einem 1 km x 1 km Raster (1971-2000) und aktualisierten Regressionsgleichungen.  |
| S (Hangneigungsfaktor)   | Verhältnis des Bodenabtrags eines Hanges gegebener Neigung zum Standardhang der USLE (9 % Neigung)<br>Die Datengrundlage ist nicht dokumentiert. | Bestimmt auf Grundlage des digitalen Geländemodells für Deutschland in einer Rasterweite von 25 m (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) 2007). Die Hanglänge wurde unter Einbeziehung von Nutzungsstrukturen, Schlaggrenzen und weiteren Landschaftselementen, die als Barriere wirken wie z.B. Straßen und Fließgewässer, abgeleitet.<br>$LS = (l/22)m \cdot s/9 \cdot (s/9)0,5$ |
| L (Hanglängenfaktor)     | Verhältnis des Bodenabtrags eines Hanges gegebener Länge zum Standardhang der USLE (22 m Länge)  |  |

| Faktor                            | STOFFBILANZ   | MoRE-Neuimplementierung  |
|-----------------------------------|---|--|
| K<br>(Bodenerodierbarkeitsfaktor) | Nicht dokumentiert.   | Ermittelt von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe nach Hennings (2000) nutzungsdifferenziert für jede der 68 Leitbodeneinheiten der Bodenübersichtskarte 1000 (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) 1998) in Abhängigkeit von ihrer Lage in einem der vier Klimagebiete Deutschlands  |
| C (Bodenbedeckungsfaktor)         | Räumlich differenzierte Ermittlung eines gemeindebezogenen C-Faktors erfolgt auf Basis einer Gemeinde Agrarstatistik (z. B. InVeKoSDaten) für konventionell und konservierend bearbeitete Ackerflächen. Mit diesem Verfahren können 91 % der Variation der exakten C-Faktoren erfasst werden. | Zur Bestimmung der C-Faktoren wurde der Verfahrensansatz der additiven Ermittlung nach Schwertmann et al. (1990) herangezogen. Als räumliche Bewertungsebene wurden die 502 Naturraumeinheiten des Bundesamtes für Naturschutz gewählt. Neben einer Version für eine konventionelle Bodenbearbeitung wurden weiterhin drei Szenarien (25 %, 50 % und 100 %) konservierender Bodenbearbeitung erstellt. |

Abbildung 37: Vergleich der Faktoren der ABAG zwischen STOFFBILANZ und MoRE-Neuimplementierung



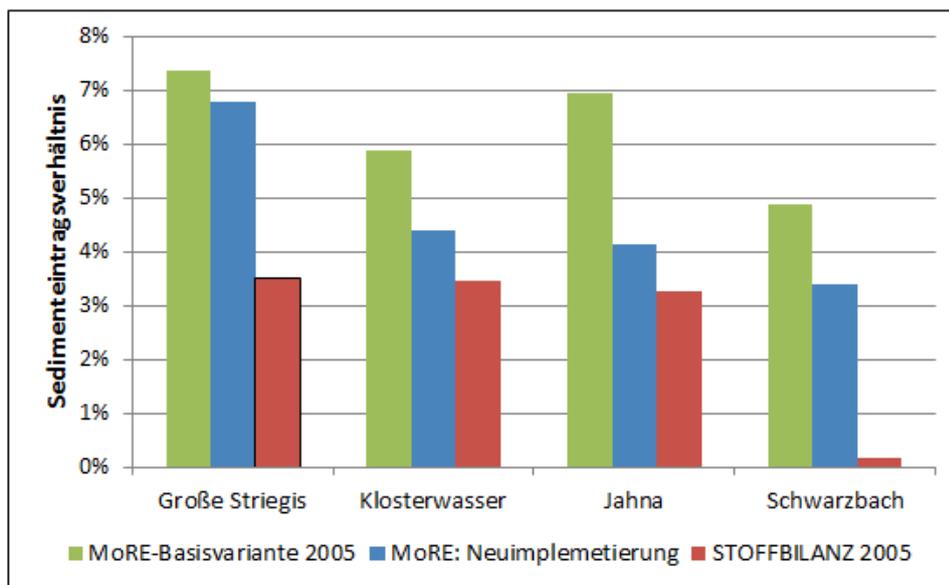
### 3.6.2.2 Vergleich der Sedimenteintragsmodellierung

Die beiden Modelle verwenden unterschiedliche Ansätze zur Berechnung des Sedimenteintragsverhältnisses. Das Sedimenteintragsverhältnis gibt an, welcher Anteil des Bodenabtrages tatsächlich ins Gewässer gelangt.

Das Modell STOFFBILANZ berechnet den Sedimenteintrag über die Anbindungswahrscheinlichkeit, die durch eine Funktion von Bodenabtrag, Oberflächenabfluss und Gewässerdistanz abgebildet wird. Die Gewässerdistanz wird auf Basis des DGM Q2 (20 m) errechnet (Präprozessing), Bodenabträge und Oberflächenabflüsse basieren auf dem 500 m Raster. Hydrologisch nicht angebundene Flächen werden zuvor ausgeklammert. Hierfür wird in einem Präprozessingverfahren ebenfalls das DGM Q2 einschließlich der ATKIS-Landnutzung verwendet.

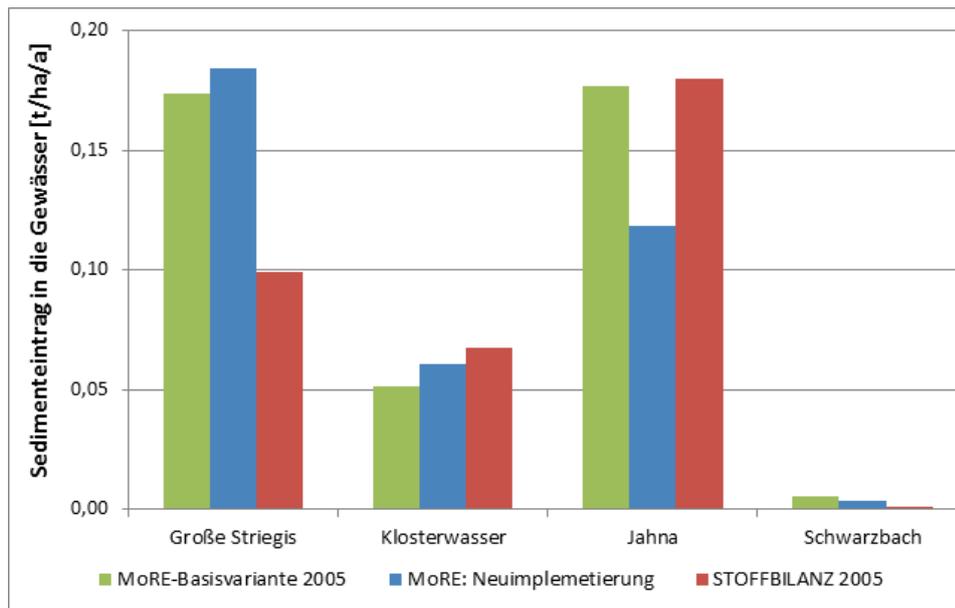
MoRE-Neuimplementierung generiert den Sedimenteintrag aus dem Bodenabtrag für diejenigen Flächen, die eine Gewässerdistanz von 500 m unterschreiten. Das Sedimenteintragsverhältnis wird dabei als mittlerer Wert für das jeweilige Einzugsgebiet berechnet. Neben methodischen Differenzen ist also auch eine unterschiedliche Auflösungsschärfe vorhanden.

Abbildung 38: Vergleichsrechnung zum Sedimenteintragsverhältnis zwischen MoRE und STOFFBILANZ



In Abbildung 38 ist das Sedimenteintragsverhältnis im Vergleich dargestellt. MoRE berechnet in beiden Varianten höhere Sedimenteintragsverhältnisse als STOFFBILANZ. In Abbildung 39 sind die Ergebnisse der Berechnung der Sedimenteinträge für die beiden Modelle dargestellt. Hier ergibt sich durch das Zusammenspiel von Unterschieden in der Landnutzungsverteilung, der Bodenabtragsberechnung und der Sedimenteintragsmodellierung ein uneinheitliches Bild.

Abbildung 39: Vergleichsrechnung zum Sedimenteintrag zwischen MoRE und STOFFBILANZ



Beim Vergleich der Sedimenteinträge ergibt die Simulation von STOFFBILANZ deutlich geringere Frachten für die Große Striegis. Im Jahnagebiet simuliert STOFFBILANZ dagegen deutlich höhere Einträge im Vergleich zu MoRE-Neuimplementierung und ungefähr gleich hohe Einträge im Vergleich zur MoRE-Basisvariante.

Die Unterschiede sind hier auf die jeweilige methodische Herangehensweise zurück zu führen.

### 3.6.3 Bisherige und neue Eingangsdaten zu Schwermetallgehalten in Oberböden und Gestein

Bisher lagen die Schwermetallkonzentrationen im Ackeroberboden in MoRE als mittlere Werte für die BL vor. Die Quantifizierung der Emissionen durch natürliche Erosion basiert auf einem mittleren geogenen Hintergrundgehalt für Deutschland.

Für die Verbesserung der Datengrundlagen zum Eintragspfad Erosion wurden im Rahmen eines Vorgängervorhabens (Fuchs et al. 2012) die Oberbodenkonzentrationen für Schwermetalle auf landwirtschaftlich genutzten sowie natürlichen Flächen (Flächen mit natürlicher Bedeckung und Gebirgsflächen) anhand von Daten auf Länderebene regionalisiert. Eine ausführliche Darstellung der Vorgehensweise findet sich in Fuchs et al. (2012).

Nach den durchgeführten Anpassungen ergeben sich für Deutschland je nach Schwermetall unterschiedlich starke Veränderungen hinsichtlich der Einträge über Erosion (Tabelle 16). Die Einträge von Cd und Hg ändern sich hiernach im Mittel für Deutschland kaum. Relevante Änderungen ergeben sich bei Ni (plus 11 %), Cu (plus 19 %), Cr (plus 22 %), Zn (plus 34 %) sowie Pb (plus 42 %).

Tabelle 27: Schwermetalleinträge über Erosion im Jahr 2010

| Stoff       | Schwermetalleintrag  |                            |                             |
|-------------|----------------------|----------------------------|-----------------------------|
|             | Basisvariante [kg/a] | angepasste Variante [kg/a] | prozentuale Veränderung [%] |
| Cadmium     | 1.230                | 1.270                      | 3                           |
| Chrom       | 183.000              | 223.000                    | 22                          |
| Kupfer      | 76.100               | 90.600                     | 19                          |
| Quecksilber | 303                  | 303                        | 0                           |
| Nickel      | 133.000              | 147.000                    | 11                          |
| Blei        | 149.000              | 212.000                    | 42                          |
| Zink        | 308.000              | 414.000                    | 34                          |

Hinsichtlich der Gesamteinträge sind die Auswirkung der geänderten Eingangsdaten und Ansätze beim Eintragspfad Erosion bei ansonsten unveränderter Situation für die meisten Schwermetalle eher mäßig. So ist bei Cd, Cu, Hg, Ni, Zn von einer maximalen Zunahme von ca. 4 % im Mittel der Jahre 2006-2011 auszugehen. Dies ist trotz teilweise erheblich gesteigener Einträge über Erosion (z.B. bei Cu, Ni, Zn) v.a. darin begründet, dass dieser Eintragspfad hinsichtlich der Gesamteinträge nicht so relevant ist.

Die Gesamteinträge von Cr und Pb hingegen, die zu über der Hälfte von Erosionsereignissen herrühren, steigen im Mittel der Jahre 2006-2011 mit 14 % bzw. 24 % stark an.

Beim Vergleich der flächenspezifischen Einträge in den AU zeigen sich jedoch regional starke Unterschiede. So ist bspw. eine Erhöhung der Schwermetallfrachten in den Mittelgebirgsregionen von Deutschland ersichtlich. Diese Zunahme ist plausibel, da diese Regionen geogen bedingt höhere Schwermetallgehalte in den Oberböden aufweisen. Lokale Belastungsschwerpunkte in den Flussgebieten können somit durch die detaillierten Eingangsdaten besser erfasst werden.

Die folgenden Abbildungen geben beispielhaft die Veränderungen für Cr und Pb wider.

Abbildung 40: Spezifische Chrom-Einträge über Erosion im Jahr 2010 in Deutschland

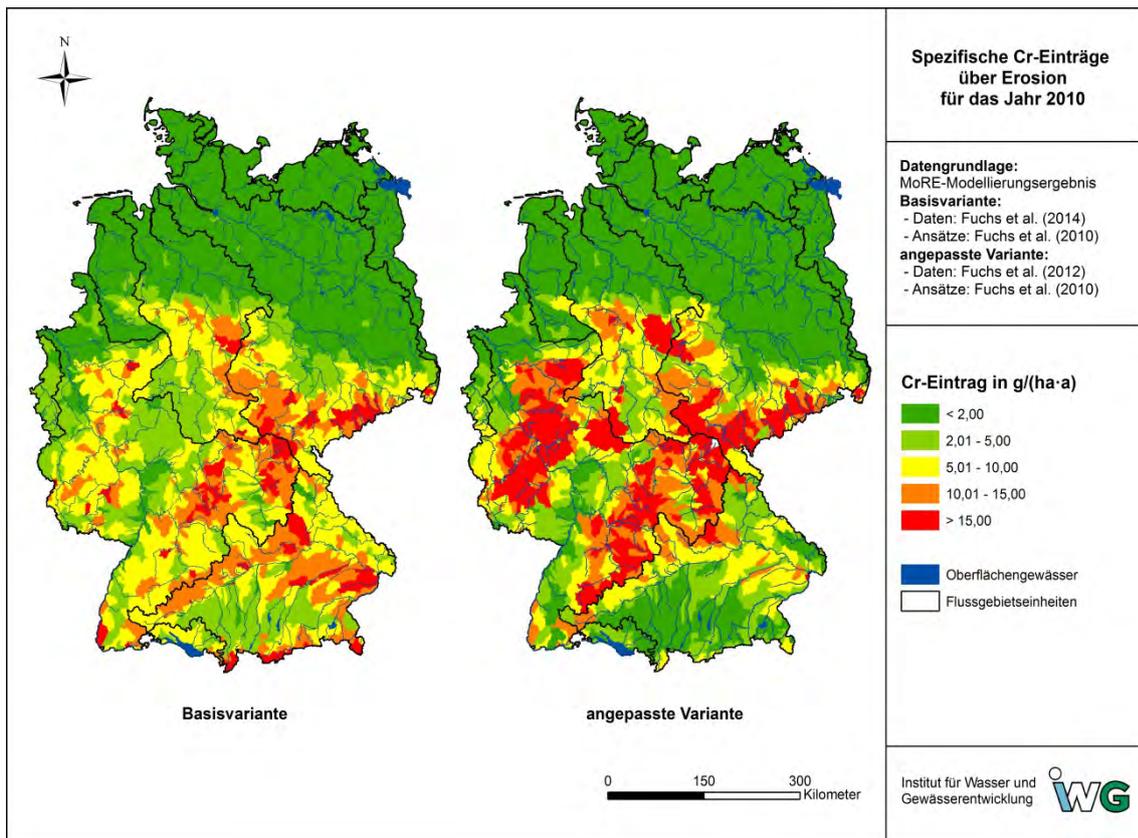


Abbildung 41: Änderung der Chrom-Einträge über Erosion von angepasster Variante zur Basisvariante im Jahr 2010 in Deutschland

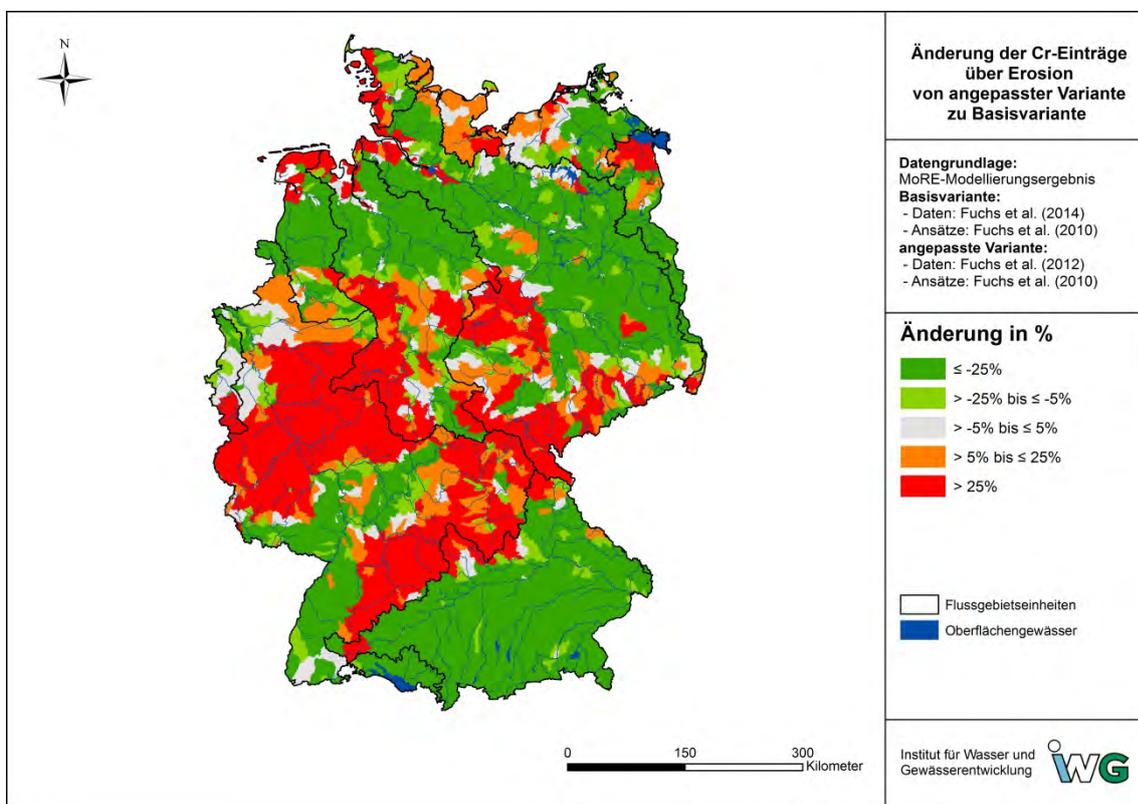


Abbildung 42: Spezifische Blei-Einträge über Erosion im Jahr 2010 in Deutschland

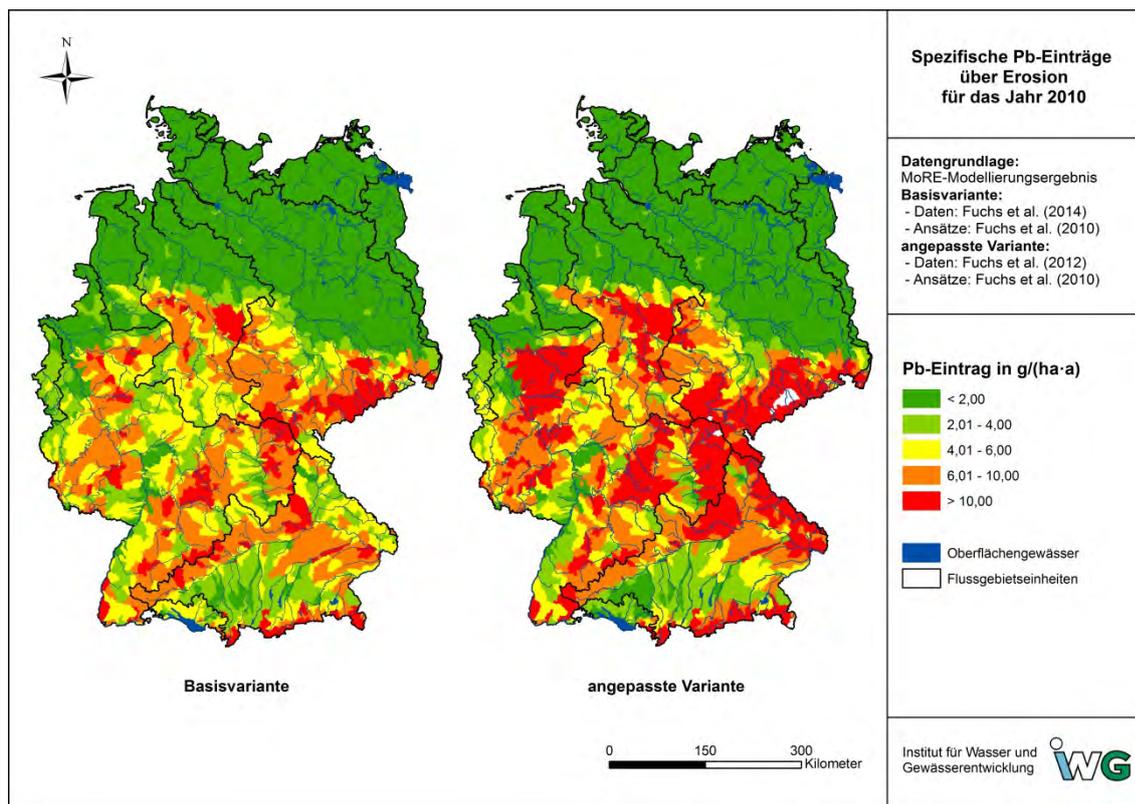
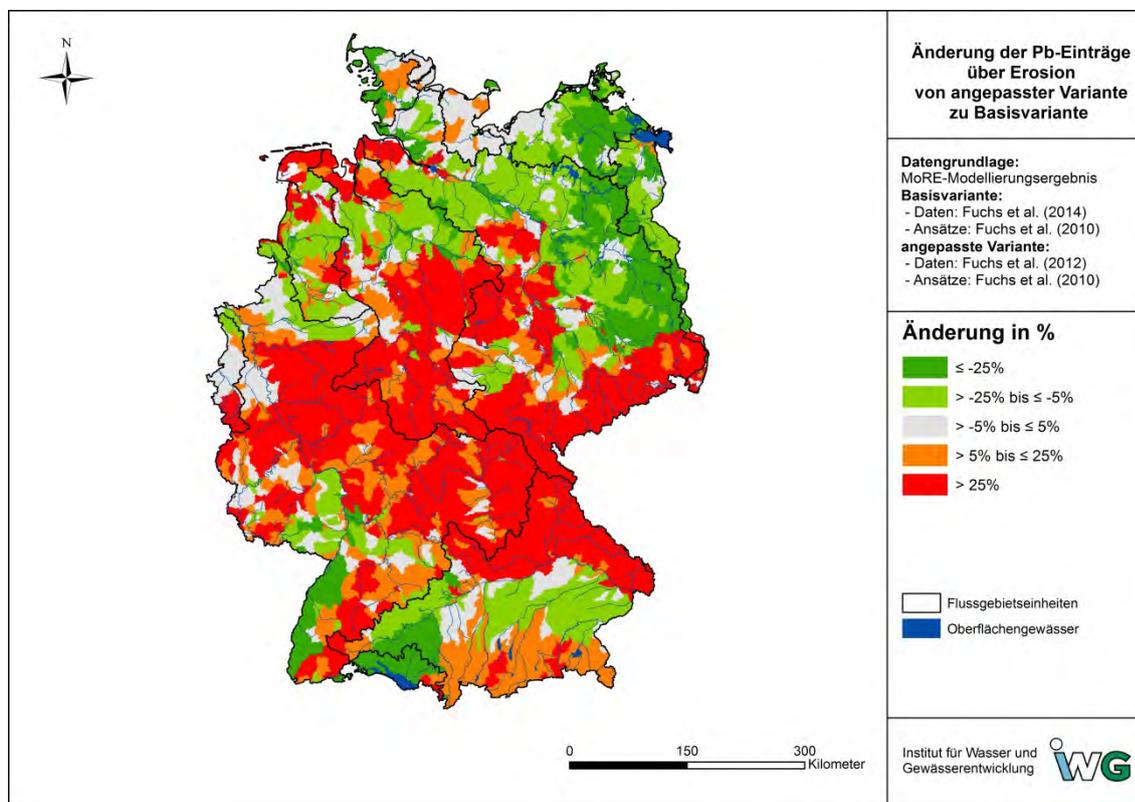


Abbildung 43: Änderung der Blei-Einträge über Erosion von angepasster Variante zur Basisvariante im Jahr 2010 in Deutschland



### 3.6.4 Empfehlungen zur bundeseinheitlichen Modellierung

Hinsichtlich der Eingangsdaten für die Berechnung des Bodenabtrages ist wird Folgendes empfohlen:

- Eine Verwendung des 25 m Höhenmodells (oder besser) sollte auch einhergehen mit höher aufgelösten Daten für die anderen Faktoren der ABAG (v.a. Boden und Landnutzung, aber auch Niederschlag) um eine Ungleichgewichtung der verschiedenen Faktoren zu verhindern.
- Wünschenswert wären auch höher aufgelöste grenzübergreifende Eingangsdaten (Niederschlag, Landnutzung und Boden), um auch für die ausländischen Einzugsgebiete eine konsistente und gute Datenlage zu gewährleisten.
- Langfristig sollte es Ziel sein, sofern die Datenlage das zulässt, stärker prozessorientierte Erosionsmodelle zu entwickeln, die in der Lage sind, den Erosions- und Depositionsprozess in seiner räumlichen und zeitlichen Ausdehnung besser abzubilden.
- Eine Übernahme der räumlich höher aufgelösten Eingangsdaten in Bezug auf Schwermetallgehalte in Oberböden und Gestein.

Im Rahmen eines weiteren UBA-Vorhabens (Inn-Vorhaben, FKZ 3713 24 225) wird derzeit ein neuer Ansatz für das Sedimenteintragsverhältnis entwickelt. Dieser hängt von der Lage und den Eigenschaften der Sedimentlieferflächen sowie von der Morphologie und der Landnutzung entlang des Transportwegs zum Gewässer ab. Diese komplexe Interaktion räumlich verteilter Gebietseigenschaften kann nicht hinreichend durch gemittelte morphologische Parameter erfasst werden. Deshalb soll ein räumlich verteilter Ansatz zur Quantifizierung des Sedimenteintragsverhältnisses integriert werden, wobei für jede Lieferfläche ein spezifisches Sedimenteintragsverhältnis ermittelt wird. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse könnten nach Abschluss des Projektes einer Prüfung zur Übernahme in das bundeseinheitliche Modell unterzogen werden.

## 3.7 Eintragspfad Dränagen

Die Stoffeinträge über Dränagen werden über das Produkt der mittleren Stoffkonzentration im Dränwasser und des Dränabflusses berechnet. Im Folgenden wird die bisherige Vorgehensweise zur Ableitung von Eingangsdaten und Modellierung der Einträge über den Eintragspfad Dränagen (Abschnitt 3.7.1 und 3.7.2) sowie die Anpassungen der Eingangsdaten und der Modellierungsansätze (Abschnitt 3.7.3) beschrieben. Die erzeugten Ergebnisse sind in Abschnitt 3.7.4 dargestellt und diskutiert.

### 3.7.1 Dränierte Flächen

Die Dränflächen werden anhand der Methodik nach Behrendt et al. (1999) geschätzt. Zur Verbesserung dieses Eingangsdatum sollten bei den BL vorliegende Informationen zu dränierten Flächen verwendet werden. Als Basis sollten die von der FGG Elbe im Jahr 2013 im Rahmen eines eigenen Vorhabens abgefragten Dränflächen verwendet werden. Anschließend sollten diese Informationen ebenfalls von den weiteren BL abgefragt werden. Bei der Analyse der für die FGG Elbe vorliegenden Daten wurde jedoch festgestellt, dass der Begriff „Dränfläche“ nicht eindeutig belegt ist. Das kann zu unterschiedlichen Einschätzungen des Umfangs der dränierten Flächen in unterschiedlichen BL, d.h. zu Inkonsistenzen führen. Aus diesem Grund wurde auf eine Verwendung dieser Daten verzichtet. So wird im Rahmen dieses Vorhabens zur Ableitung

der dränierten Flächen weiterhin die bisherige Methodik nach Behrendt et al. (1999) verwendet.

### 3.7.2 Bisherige Modellierung der Einträge über Dränagen

#### 3.7.2.1 Dränspende

Bisher wurde die Dränspende für die AU in Anlehnung an Kretzschmar (1977) auf Basis der jährlichen Sommer- und Winterniederschläge berechnet. Dabei setzt sich der Dränabfluss aus 50 % der Winter- und 10 % der Sommerniederschläge zusammen.

#### 3.7.2.2 Berechnung der Stickstoffkonzentration im Dränwasser

Zur Ableitung der Stoffkonzentrationen im Dränwasser wurden bisher Stickstoff-Abbauprozesse durch die mikrobielle Aktivität in der Bodenzone über einen undifferenzierten (bezogen auf die gesamte landwirtschaftlich genutzte Flächen (Acker, Grünland) Exponenten zur Berücksichtigung der Denitrifikation abgebildet. Die Stickstoffkonzentration im Dränwasser berechnet sich entsprechend aus dem Stickstoff-Überschuss auf landwirtschaftlichen Nutzflächen, der Dränspende und dem Exponenten zur Beschreibung der Denitrifikation in der Bodenzone (Behrendt et al. 1999). Der Exponent wurde bisher von Behrendt et al. (1999) mit 0,85 angegeben.

#### 3.7.2.3 PAK<sub>16</sub>-Konzentration im Dränwasser

Die PAK<sub>16</sub>-Einträge über Dränagen werden als Produkt aus der mittleren PAK<sub>16</sub>-Konzentration im Dränwasser des AU und dem Dränagenabfluss des AU ermittelt. Repräsentative PAK<sub>16</sub>-Konzentrationen zu einzelnen AU liegen derzeit jedoch nicht vor. Deshalb wurden für die PAK<sub>16</sub>-Konzentration im Dränwasser bislang Daten aus Studien zu Grundwasserkonzentrationen verwendet. Weitere Erläuterungen dazu finden sich in Abschnitt 3.8.2.

### 3.7.3 Neues methodisches Vorgehen

#### 3.7.3.1 Dränspende

In dem veränderten methodischen Ansatz wird die jährliche Dränspende als Summe monatlicher Dränspenden auf Basis von Monatsniederschlägen und monatspezifischen Faktoren zur Berücksichtigung der Dränspende abgeleitet. Die verwendeten Daten und Methoden zur Ableitung der Faktoren sind in Hirt et al. (2011) ausführlich beschrieben und basieren auf beobachteten monatlichen Dränspenden.

Die in MoRE neu eingebundenen Faktoren zur Berechnung der monatlichen Dränspende sind in Tabelle 28 zusammengefasst. Die Monatsniederschläge basieren auf dem Niederschlagsdatensatz des GPCC (2011).

Tabelle 28: Monatliche Faktoren zur Berechnung der Dränspende

| Monat   | Faktor |
|---------|--------|
| Januar  | 0,64   |
| Februar | 0,70   |
| März    | 0,64   |
| April   | 0,41   |

| Monat     | Faktor |
|-----------|--------|
| Mai       | 0,24   |
| Juni      | 0,10   |
| Juli      | 0,09   |
| August    | 0,08   |
| September | 0,10   |
| Oktober   | 0,16   |
| November  | 0,24   |
| Dezember  | 0,47   |

Mit dem Ansatz nach Hirt et al. (2011) können die unterschiedliche saisonale Verteilung der monatlichen Gebietsniederschläge und die daraus resultierenden Dränspenden besser berücksichtigt werden. Eine höhere zeitliche Auflösung der Eingangsdaten erlaubt eine bessere Abbildung der realen Zusammenhänge und Wechselwirkungen im Modell und trägt zum besseren Systemverständnis bei. Daher ist es grundsätzlich von Vorteil bei vertretbarem Aufwand zeitlich höher aufgelöste Datensätze zu verwenden.

### 3.7.3.2 Berechnung der Stickstoff-Konzentration im Dränwasser

Es ist davon auszugehen, dass sich das Denitrifikationspotential von Grün- und Ackerland unterscheidet. Unter Grünlandflächen ist von einer höheren Denitrifikationskapazität auszugehen, die im Ergebnis in entsprechend niedrigeren Stickstoff-Einträgen in die Gewässer resultiert. Daher ist es sinnvoll nicht wie bisher einen, sondern landnutzungsspezifische Exponenten für die Abbildung der Denitrifikation zu berücksichtigen. Die jetzt verwendeten Exponenten berücksichtigen Grün- und Ackerland und liegen für Grünland bei 0,7 und für Ackerland bei 0,85 (Kreins et al. 2010).

### 3.7.3.3 PAK<sub>16</sub>-Konzentration im Dränwasser

Aufgrund nicht vorhandener Messwerte im Dränagenwasser und unter der Annahme, dass PAK aufgrund ihrer Stoffeigenschaften im Boden i.d.R. vollständig zurückgehalten werden, wird bei der Modellierung nun der Wert Null verwendet.

## 3.7.4 Ergebnisse

### 3.7.4.1 Dränspende und Dränabfluss

Die Ergebnisse der Modellierung der Stoffeinträge für den bisherigen methodischen Ansatz (Basisvariante) und den neuen Berechnungsansatz werden exemplarisch für das Jahr 2010 miteinander verglichen.

Bei einer Mittelung der Faktoren zur Berücksichtigung der Dränspende für die Sommer- und Wintermonate ergeben sich vergleichbare Werte wie in Kretzschmar (1977). Der Dränabfluss macht etwa 52 % der Winterniederschläge und knapp 13 % der Sommerniederschläge aus.

Die Dränspende nach dem Berechnungsansatz von Hirt et al. (2011) ist in Abbildung 44 im Vergleich zu der Variante von Kretzschmar (1977) dargestellt. Im Wesentlichen ergeben sich Änderungen in der räumlichen Differenzierung der Dränspende. Die räumliche Verteilung der Zu- bzw. Abnahme der Dränspende ist Abbildung 45 zu

entnehmen. Die Änderungen für die einzelnen AU liegen in der Größenordnung von -7 % bis +10 % und im Mittel für Deutschland bei 2 %. Es kann zusammengefasst werden, dass sich keine großen Änderungen für Deutschland ergeben aber die räumliche Verteilung der Höhe der Dränspende ändert sich durch die unterschiedliche Verteilung der monatlichen Niederschläge. Auffällig ist, dass sich im Donau-Einzugsgebiet, Rheinland-Pfalz, Hessen und im nördlichen Teil von Niedersachsen überwiegend eine erhöhte Dränspende ergibt. In Brandenburg und Schleswig-Holstein resultiert eine niedrigere Dränspende für die Variante nach Hirt et al. (2011). Die Gebiete mit höheren Dränspenden sind bis auf den nördlichen Teil Niedersachsens Regionen mit Jahresniederschlägen über 800 mm/a. Die Änderungen sind allerdings nicht nur auf die Verteilung der Summe der Jahresniederschläge zurückzuführen, sondern tatsächlich auch auf die bessere zeitliche Auflösung und Verteilung der Monatsniederschläge. Für die Sommermonate ergibt sich durch die angepasste Variante nach Hirt et al. (2011) für alle AU eine höhere Dränspende als bei der Basisvariante, für die Wintermonate dagegen überwiegend eine niedrigere Dränspende.

Der Dränabfluss ist ein Produkt aus der Dränspende und der dränierten Fläche, sodass er sich proportional zur Dränspende verändert.

Das dargestellte angepasste Vorgehen ist vorteilhaft einerseits im Hinblick auf die korrektere Abbildung der Zusammenhänge und Wechselwirkungen in MoRE, andererseits auf zukünftige Entwicklungen und saisonale Betrachtungen.

#### **3.7.4.2 Stickstoff-Einträge über Dränagen**

In diesem Abschnitt werden die Auswirkungen der geänderten Eingangsdaten (N-Überschuss) (Abschnitt 3.3) und Modellansätze zusammen betrachtet.

Mit der zeitlich und landnutzungsspezifisch differenzierten Berechnung der Dränspende und der auf den geänderten N-Überschuss basierenden Stickstoff-Konzentration im Dränwasser (s. Kapitel 3.7.3.1 und 3.7.3.2) wurde für Deutschland für das Jahr 2010 insgesamt ein um 26 % niedrigerer Stickstoffeintrag über Dränagen berechnet. Bei einem neu berechneten Eintrag von ca. 70.500 t/a ist das ein Rückgang von ca. 24.600 t/a im Vergleich zur Basisvariante. Je nach Flussgebietseinheit liegen die Änderungen zwischen -20 und -32 %, was mit der Verteilung von Acker- und Grünland in den Gebieten zusammenhängt. Tabelle 29 fasst die Ergebnisse für die Flussgebiete und die Meeresgebiete zusammen. Bezogen auf die Gesamt-Stickstoffeinträge ist im Mittel für Deutschland – bei ansonsten unveränderten Eintragspfaden – eine Reduktion von ca. 4 % festzustellen.

Durch die Verwendung des landnutzungsspezifischen Exponenten zur Berechnung der Denitrifikation werden Grünlandflächen mit einer niedrigeren Potenz berücksichtigt. Das führt bei der Berechnung der Stickstoff-Konzentration im Abfluss von dränierten Grünlandflächen zu niedrigeren Werten. Zusätzlich dazu kommen die niedrigeren flächenspezifischen N-Überschüsse hinzu, die sich ebenfalls auf die berechneten Konzentrationen im Dränabfluss vermindern auswirken. Im Zusammenspiel mit der veränderten Dränspende ergeben sich im Vergleich mit der Basisvariante die in Tabelle 29 dargestellten Stickstoff-Einträge über Dränagen.

Tabelle 29: Vergleich der Stickstoff-Einträge über Dränagen im Jahr 2010 auf Ebene der Flussgebietseinheiten

| Einzugsgebiet  | Stickstoff-Eintrag Basisvariante [t/a] | Stickstoff-Eintrag angepasste Variante [t/a] | prozentuale Veränderung [%] |
|----------------|--|--|-----------------------------|
| Donau          | 10.500                                 | 7.720  | -26                         |
| Eider          | 8.850                                  | 5.990  | -32                         |
| Elbe           | 32.200                                 | 24.700                                       | -23                         |
| Ems            | 5.400                                  | 3.620  | -33                         |
| Maas           | 79                                     | 54   | -32                         |
| Oder           | 2.100                                  | 1.690  | -20                         |
| Rhein          | 15.900                                 | 11.300                                       | -29                         |
| Schlei/Trave   | 3.250                                  | 2.590  | -20                         |
| Warnow/Peene   | 6.870                                  | 5.500  | -20                         |
| Weser          | 9.980                                  | 7.310  | -27                         |
| Nordsee        | 72.400                                 | 53.000                                       | -27                         |
| Ostsee         | 12.200                                 | 9.780  | -20                         |
| Schwarzes Meer | 10.500                                 | 7.720  | -26                         |
| Deutschland    | 95.100                                 | 70.500                                       | -26                         |

Abbildung 44: Dränspende im Jahr 2010 in Deutschland

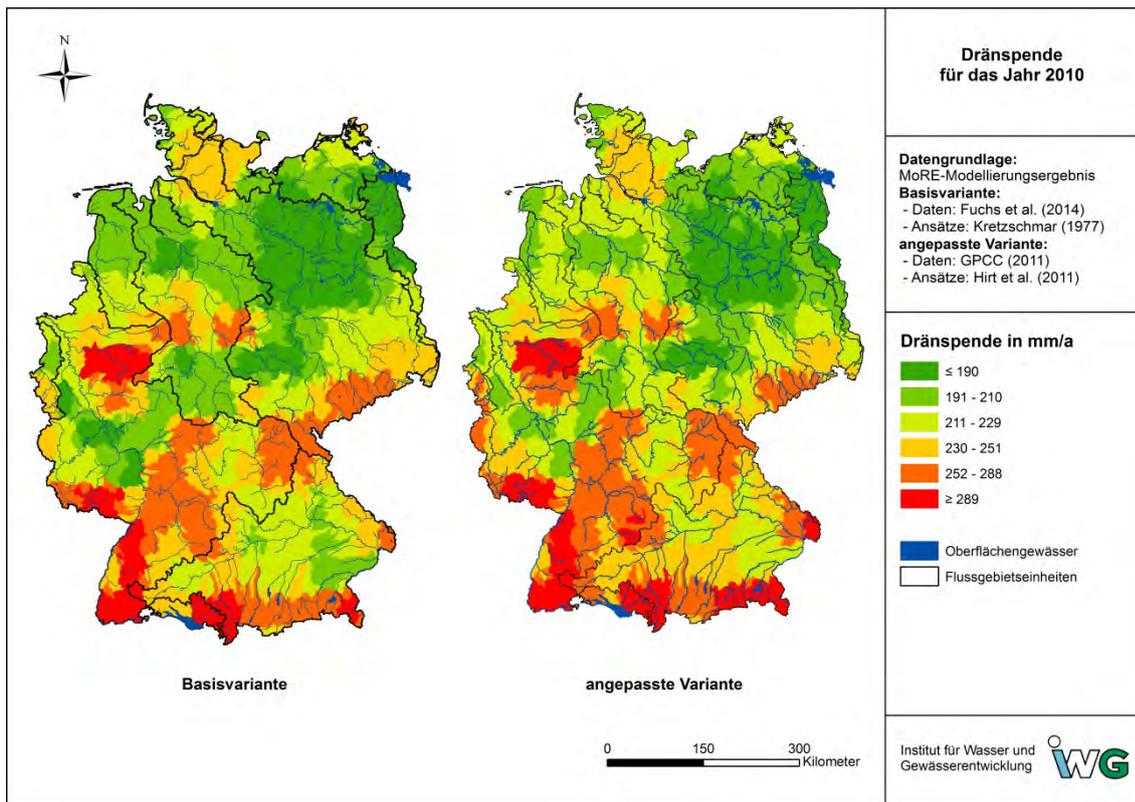


Abbildung 45: Änderung der Dränspende von angepasster Variante zu Basisvariante im Jahr 2010 in Deutschland

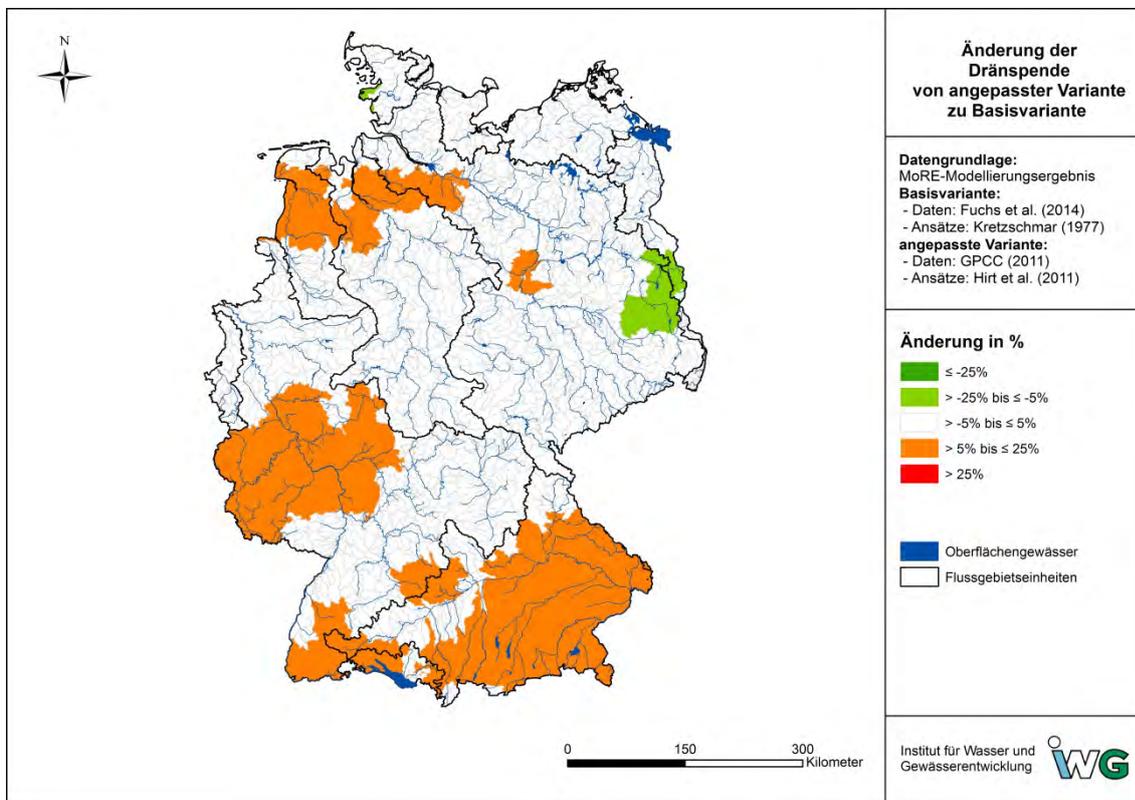


Abbildung 46: Spezifische Stickstoff-Einträge über Dränagen im Jahr 2010 in Deutschland

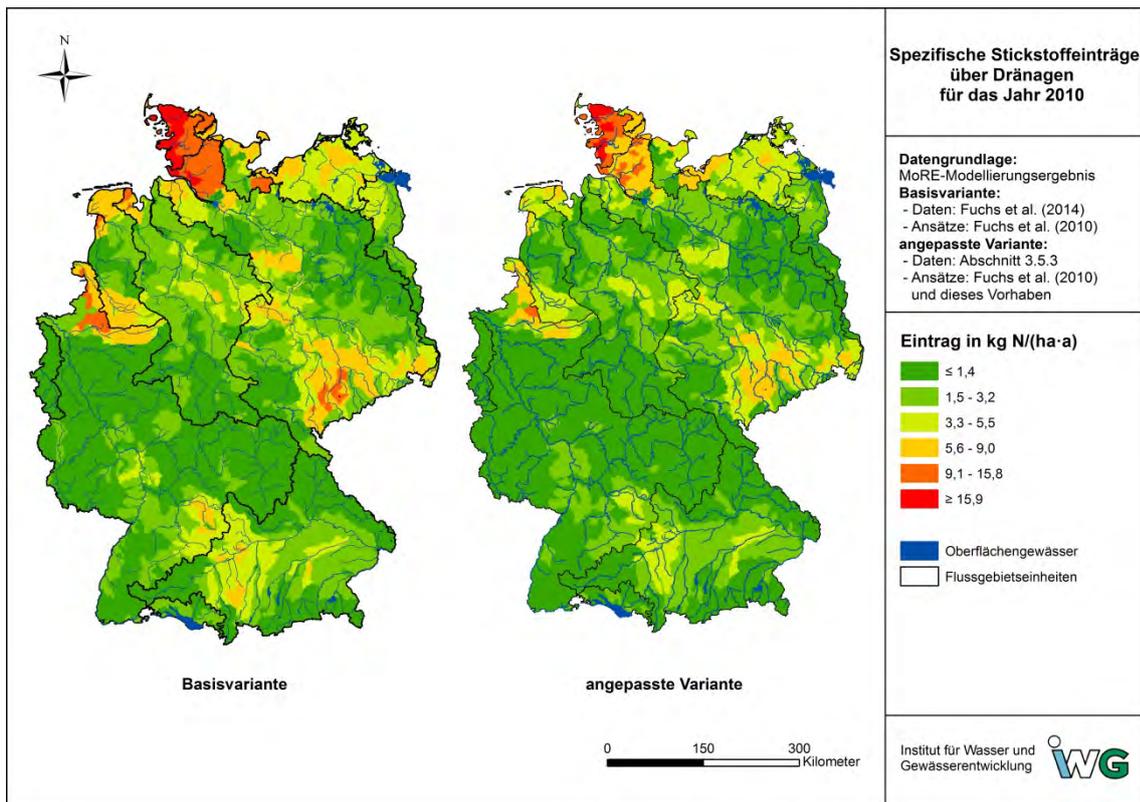
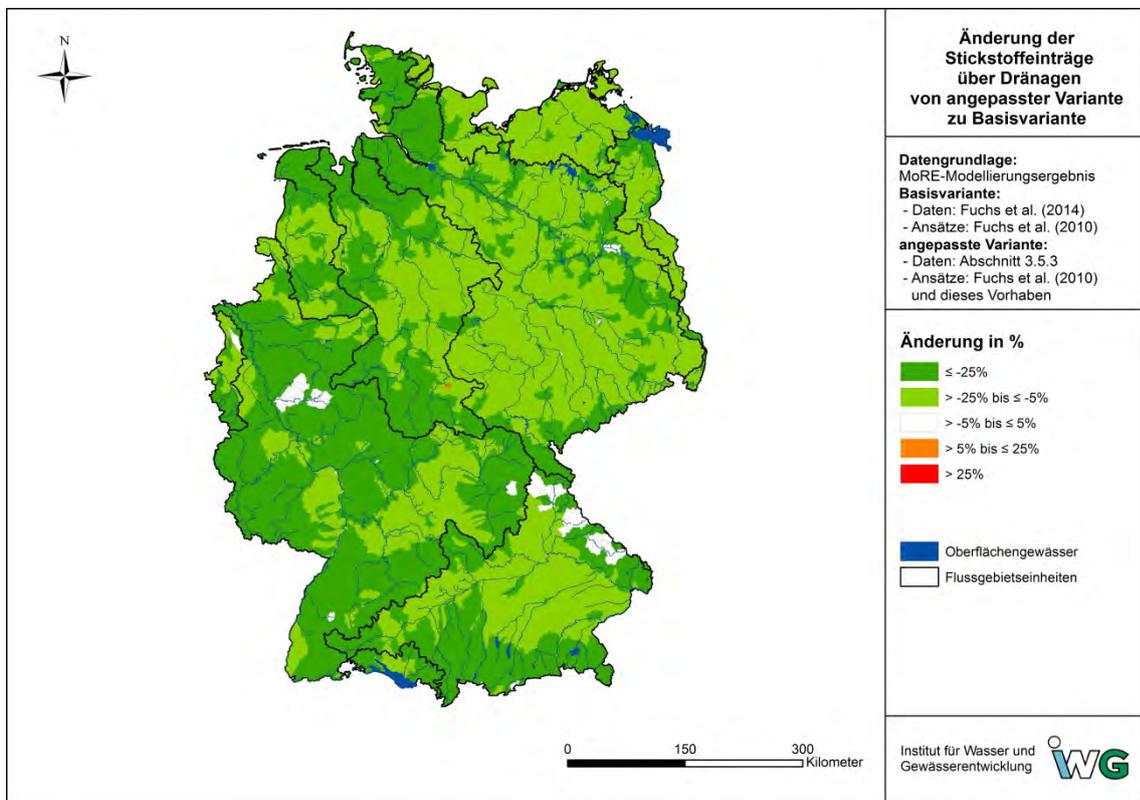


Abbildung 47: Änderung der Stickstoff-Einträge über Dränagen von angepasster Variante zu Basisvariante im Jahr 2010 in Deutschland



### 3.7.4.3 Einträge über Dränagen für Phosphor, Schwermetalle und PAK<sub>16</sub>

Bei Phosphor, bei der Gruppe der Schwermetalle und bei den PAK<sub>16</sub> berechnen sich die Einträge über Dränagen wie bei Stickstoff über das Produkt aus der Stoffkonzentration im Dränwasser und dem Dränabfluss.

Für Phosphor werden in MoRE regionalisierte Konzentrationen im Dränwasser in Abhängigkeit von den Bodenarten nach Behrendt et al. (1999) berechnet. Bei der Berechnung der Phosphor-Einträge mit der Dränspende der angepassten Variante ergibt sich für Deutschland ein um etwa 2 % höherer Eintrag. In Tabelle 30 sind die Phosphor-Einträge der Berechnungsvariante von Fuchs et al. (2014a) und der angepassten Variante für die Flussgebietseinheiten und die Meeresgebiete aufgelistet. Die Zunahme der Einträge ist nur auf die Zunahme der Dränspende bzw. des Grundwasserabflusses zurückzuführen.

Tabelle 30: Vergleich der Phosphor-Einträge über Dränagen im Jahr 2010 auf Ebene der Flussgebietseinheiten

| Einzugsgebiet  | Phosphor-Eintrag Basisvariante [t/a] | Phosphor-Eintrag angepasste Variante [t/a] | prozentuale Veränderung [%] |
|----------------|--------------------------------------|--|-----------------------------|
| Donau          | 156                                  | 165  | 6                           |
| Eider          | 69                                   | 67   | -3                          |
| Elbe           | 294                                  | 295  | 0                           |
| Ems            | 94                                   | 97   | 4                           |
| Maas           | 1                                    | 1  | 0                           |
| Oder           | 15                                   | 15   | 0                           |
| Rhein          | 242                                  | 252  | 4                           |
| Schlei/Trave   | 19                                   | 19   | -1                          |
| Warnow/Peene   | 50                                   | 50   | -1                          |
| Weser          | 127                                  | 130  | 2                           |
| Nordsee        | 827                                  | 843  | 2                           |
| Ostsee         | 84                                   | 84   | -1                          |
| Schwarzes Meer | 156                                  | 165  | 6                           |
| Deutschland    | 1.070                                | 1.090                                      | 2                           |

Bei den Schwermetallen liegt die Konzentration im Dränwasser nicht als regionalisiertes Eingangsdatum vor. Da der Dränabfluss im linearen Zusammenhang zur Dränspende steht, ändern sich die Stoffeinträge entsprechend der Änderungen der Dränspende in der angepassten Variante zu der Basisvariante von Fuchs et al. (2014a). Exemplarisch für die Schwermetalle werden die resultierenden Zn-Einträge über Dränagen für die zwei Varianten im Jahr 2010 in Tabelle 31 gezeigt. Für Deutschland ergibt sich eine Zunahme der Zn-Einträge über Dränagen von 1 %. Auf Ebene der AU beträgt die Spannweite der Änderungen im Jahr 2010 -6 bis +11 %.

Tabelle 31: Vergleich der Zink-Einträge über Dränagen im Jahr 2010 auf Ebene der Flussgebietseinheiten

| Einzugsgebiet  | Zink-Eintrag Basisvariante [kg/a] | Zink-Eintrag angepasste Variante [kg/a] | prozentuale Veränderung [%] |
|----------------|-----------------------------------|---|-----------------------------|
| Donau          | 11.500                            | 12.200                                  | 6                           |
| Eider          | 7.840                             | 7.640                                   | -3                          |
| Elbe           | 39.400                            | 39.300                                  | 0                           |
| Ems            | 4.290                             | 4.410                                   | 3                           |
| Maas           | 95                                | 99                                      | 3                           |
| Oder           | 2.730                             | 2.700                                   | -1                          |
| Rhein          | 20.000                            | 20.800                                  | 4                           |
| Schlei/Trave   | 3.860                             | 3.820                                   | -1                          |
| Warnow/Peene   | 9.130                             | 9.090                                   | 0                           |
| Weser          | 12.100                            | 12.400                                  | 2                           |
| Nordsee        | 83.800                            | 84.600                                  | 1                           |
| Ostsee         | 15.700                            | 15.600                                  | -1                          |
| Schwarzes Meer | 11.500                            | 12.200                                  | 6                           |
| Deutschland    | 111.000                           | 112.000                                 | 1                           |

Für die PAK<sub>16</sub> werden nun Einträge von 0 kg/a ermittelt.

### 3.7.5 Empfehlungen zur bundeseinheitlichen Modellierung

Zeitlich und räumlich höher aufgelöste Eingangsdaten sind grundsätzlich zu bevorzugen, vor allem im Hinblick auf zukünftiger Modellweiterentwicklung und eine mögliche Disaggregation der jährlichen Eintragsberechnung. Zudem tragen die höher aufgelösten Daten zu einer besseren Abbildung der realen Eintragsituation bei und sind zukünftig zu empfehlen.

## 3.8 Eintragspfad Grundwasser

Der Eintragspfad Grundwasser ist für manche Stoffe sehr relevant (bspw. N). Die Einträge über diesen Eintragspfad werden aus dem Produkt von mittlerer Stoffkonzentration im Grundwasser und dem Grundwasserabfluss berechnet. Für Stickstoff resultieren durch die neue Übertragungsmethodik der N-Überschüsse von den Kreisen auf die AU (Abschnitt 3.3) niedrigere flächenspezifische N-Überschüsse, die dazu führen, dass die berechneten mittleren Sickerwasser- und Grundwasserkonzentrationen niedriger liegen, dementsprechend auch die Einträge.

In diesem Kapitel werden die N-Einträge (Abschnitt 3.8.1) und die PAK<sub>16</sub>-Einträge (Abschnitt 3.8.2) im Vergleich zu der Basisvariante beschrieben und quantifiziert.

### 3.8.1 Ergebnisse der Stickstoff-Einträge über Grundwasser

In diesem Abschnitt werden die Auswirkungen der geänderten Eingangsdaten (N-Überschuss, vgl. Abschnitt 3.3) und der Wasserbilanz (s. Abschnitt 3.7.3.1) zusammen betrachtet. Die Ergebnisse der Modellierung der Stoffeinträge über Grundwasser für die

zwei Berechnungsvarianten werden exemplarisch für das Jahr 2010 miteinander verglichen.

Anhand der vorgenommenen Anpassungen wurde für Deutschland für das Jahr 2010 insgesamt ein um 13 % niedrigerer Stickstoffeintrag über Grundwasser berechnet. Bei einem neu berechneten Eintrag von ca. 301.000 t/a handelt es sich um eine Reduktion um ca. 44.000 t/a im Vergleich zur Basisvariante. Je nach Flussgebietseinheit liegen die Änderungen zwischen -8 und -16 %, was aus dem Zusammenspiel der Verteilung der landwirtschaftlichen Nutzflächen mit der atmosphärischen Deposition hervorgeht. Tabelle 32 fasst die Ergebnisse für die Flussgebietseinheiten und die Meeresgebiete zusammen. Abbildung 48 und Abbildung 49 geben einen Überblick über die räumliche Verteilung der flächenspezifischen N-Einträge über Grundwasser und ihre Veränderung nach Durchführung der Anpassungsarbeiten. Bei ansonsten unveränderten Eingangsdaten und Ansätzen in den anderen Eintragungspfaden für die Jahre 2006-2011 ist von einer Abnahme der Gesamteinträge um ca. 7 % auszugehen.

Die Reduktion der Einträge über den Grundwasserpfad erklärt sich daraus, dass die mittleren flächenspezifischen N-Überschüssen durch die neue Übertragungsmethodik niedriger liegen.

**Tabelle 32: Vergleich der Stickstoff-Einträge über Grundwasser im Jahr 2010 auf Ebene der Flussgebietseinheiten**

| Einzugsgebiet  | Stickstoff-Eintrag Basisvariante[t/a] | Stickstoff-Eintrag angepasste Variante [t/a] | prozentuale Veränderung [%] |
|----------------|---------------------------------------|--|-----------------------------|
| Donau          | 87.200                                | 78.200                                       | -10                         |
| Eider          | 5.840                                 | 5.180  | -11                         |
| Elbe           | 56.400                                | 50.600                                       | -10                         |
| Ems            | 18.500                                | 15.600                                       | -16                         |
| Maas           | 5.000                                 | 4.320  | -14                         |
| Oder           | 2.680                                 | 2.440  | -9                          |
| Rhein          | 122.000                               | 103.000                                      | -16                         |
| Schlei/Trave   | 4.190                                 | 3.700  | -12                         |
| Warnow/Peene   | 5.060                                 | 4.640  | -8                          |
| Weser          | 38.500                                | 33.700                                       | -12                         |
| Nordsee        | 246.000                               | 212.000                                      | -14                         |
| Ostsee         | 11.900                                | 10.800                                       | -9                          |
| Schwarzes Meer | 87.200                                | 78.200                                       | -10                         |
| Deutschland    | 345.000                               | 301.000                                      | -13                         |

Abbildung 48: Spezifischer Stickstoff-Einträge über Grundwasser im Jahr 2010 in Deutschland

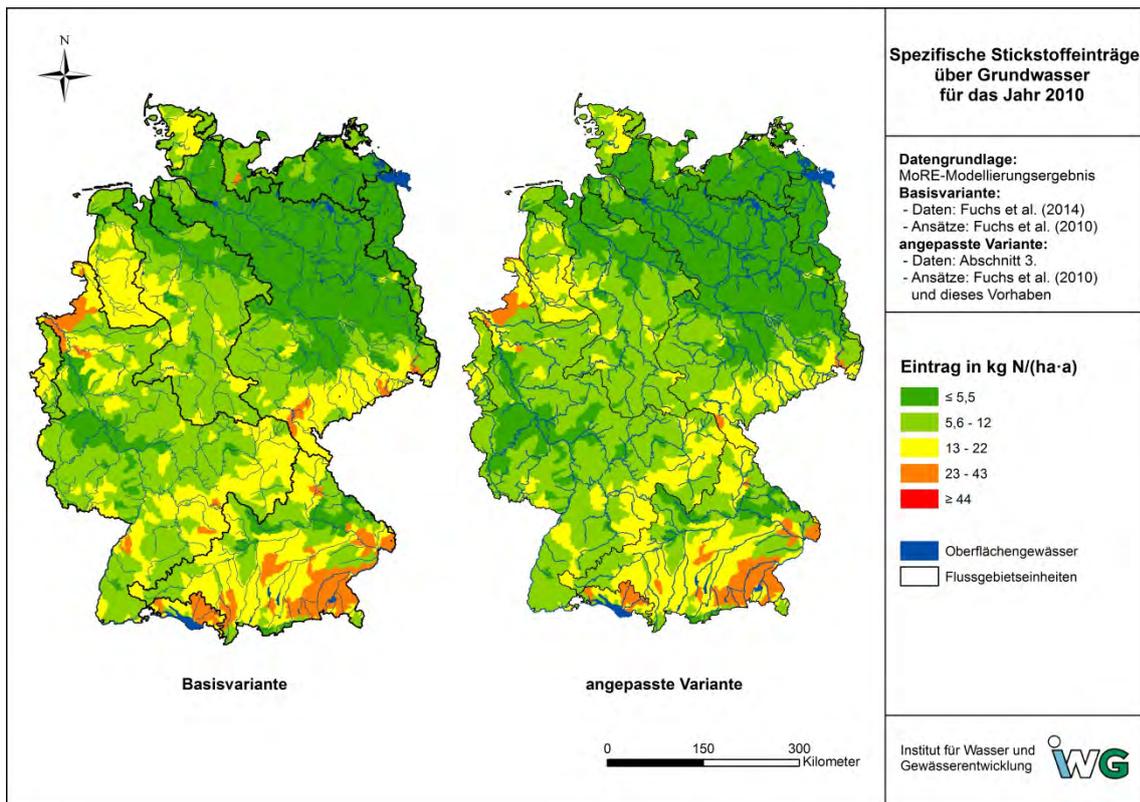
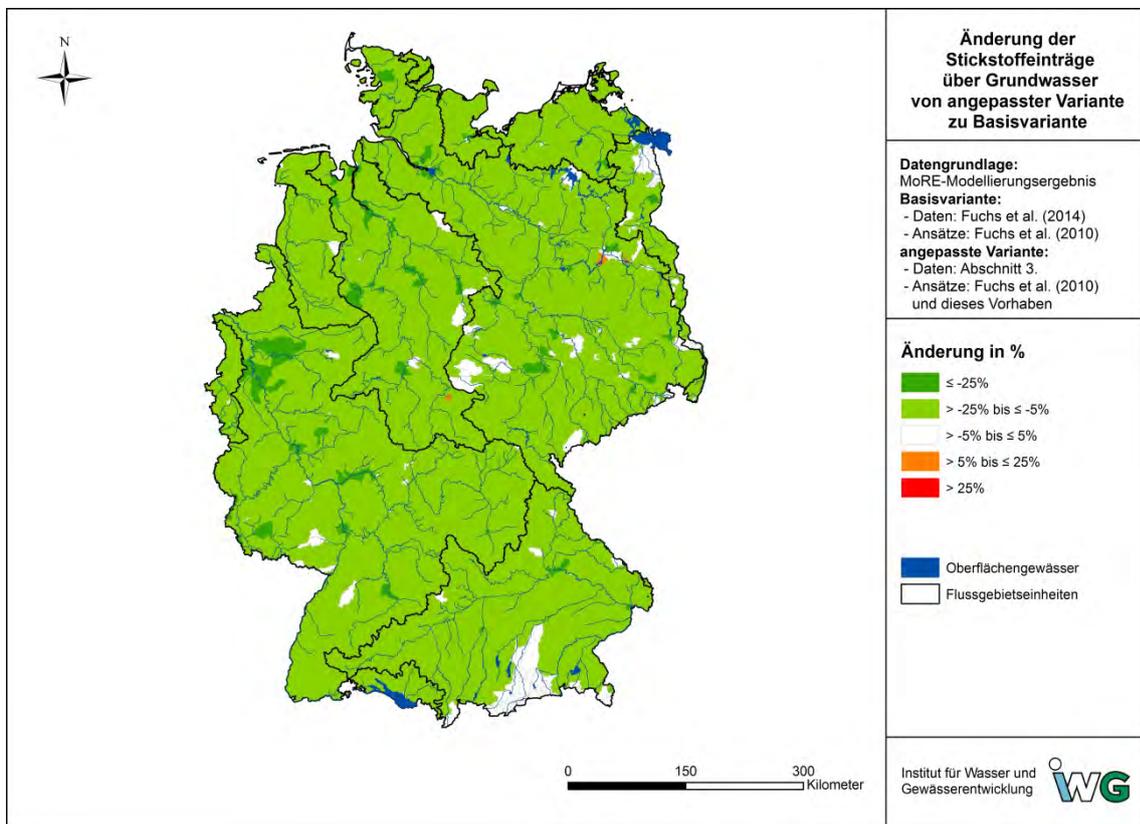


Abbildung 49: Änderung der Stickstoff-Einträge über Grundwasser von angepasster Variante zu Basisvariante im Jahr 2010 in Deutschland



### **3.8.2 Bisherige Modellierung der PAK<sub>16</sub>-Einträge und neue Methodik**

Die PAK<sub>16</sub>-Einträge über Grundwasser werden ebenfalls als Produkt aus einer mittleren Schadstoff-Konzentration im Grundwasser des AU und dem Grundwasserabfluss des AU ermittelt. Repräsentative Schadstoffkonzentrationen zu einzelnen AU liegen derzeit jedoch nicht vor. Deshalb wird hier auf mittlere Konzentrationen aus Studien zurückgegriffen.

So wurden für die PAK<sub>16</sub>-Konzentration im Grundwasser bislang Daten aus einer Studie verwendet, die im Grundwasser keine PAK<sub>16</sub> nachweisen konnte. Trotzdem wurden die Werte kleiner BG bislang mit der halben Nachweisgrenze in die Modellierung berücksichtigt. Unter der Annahme, dass PAK aufgrund ihrer Stoffeigenschaften auf dem Weg ins Grundwasser im Boden i.d.R. vollständig zurückgehalten werden, wird nun bei der Modellierung nicht mehr die Hälfte der Nachweisgrenze verwendet, sondern der Wert Null. So werden über Grundwasser für Deutschland also nicht mehr 379 kg/a PAK<sub>16</sub>-Einträge ermittelt, sondern 0 kg/a.

Sicherlich gibt es Gebiete in Deutschland (bspw. Altlasten), deren PAK-Konzentrationen im Grundwasser über einer angewandten BG liegen. Nach Einschätzung der Autoren handelt es sich hierbei jedoch um Ausnahmen, zu denen leider auch verlässliche aktuelle Daten fehlen.

Bei ansonsten gleicher Datenbasis und gleichen Ansätzen verringern sich die PAK<sub>16</sub>-Gesamteinträge in Deutschland durch diese Anpassung um 3 %.

### **3.8.3 Empfehlungen zur bundeseinheitlichen Modellierung**

Für die bundeseinheitliche Modellierung wird empfohlen die oben beschriebenen Vorgehensweisen sowohl für Stickstoff als auch die PAK zu verwenden. Für Stickstoff ist diese angesichts des Eingangsdatums N-Überschuss die plausiblere Herangehensweise, da die N-Einträge über den Grundwasserpfad auf die absoluten N-Überschüsse bezogen werden. Für die PAK wird die aktuelle Datenlage für den Eintragspfad Grundwasser und die daraus zu treffenden Annahmen adäquater berücksichtigt.

## **3.9 Zusammenfassung und Fazit zu den Anpassungen der Eingangsdaten und Modellansätze**

Im Rahmen des Vorhabens wurden die Eingangsdaten und Ansätze bei fünf Eintragspfaden angepasst:

- kommunale Kläranlagen,
- Kanalisationssysteme,
- Erosion,
- Dränagen,
- Grundwasser.

Einerseits wurden höher räumlich und zeitlich aufgelöste Eingangsdaten verwendet. Des Weiteren wurde bei der Übertragung statistischer Daten von der primären Ebene (Gemeinde, Kreise) auf die AU die dazugehörige Bezugsgröße berücksichtigt. So kann die räumliche Verteilung der Daten besser durch die Modellierung abgebildet werden.

Die Verwendung zeitlich und räumlich höher aufgelöster Daten erforderte Anpassungen in den Modellansätzen. Dies war insbesondere für die landnutzungsdifferenzierte Abbildung von Prozessen nötig.

Bei den vorgenommenen Anpassungen wurde insgesamt darauf geachtet, dass das Modell in sich stimmig bleibt. Dies bezieht sich sowohl auf die räumliche Auflösung der Eingangsdaten als auch auf die Ansätze. Infolgedessen wurden nicht immer die höchst aufgelösten Datensätze und Ansätze verwendet, vielmehr wurden Datensätze und Ansätze verwendet, die zueinander passen. So wurde bspw. der Landnutzungsdatensatz Basis-DLM (BKG 2014) – obwohl im Prinzip besser geeignet – nicht für die Eintragsmodellierung verwendet, da der Bodenabtrag, der im Rahmen des letzten Vorhabens zur Aktualisierung der Stoffeinträge erstellt wurde (Fuchs et al. 2014a), auf einem anderen Datensatz aufbaut (CLC2006). Unterschiedliche Datensätze hätten insgesamt zu Inkonsistenzen bezogen auf die Datengrundlagen geführt. Aus den durchgeführten Anpassungen resultieren also Eingangsdaten und Ansätze, die mit dem Ziel der Modellierung – eine überregionale Eintragsmodellierung durchzuführen – in Einklang stehen.

Generell stellt sich die Frage nach der Konsistenz und Kompatibilität von Eingangsdaten neben der Landnutzung bei weiteren allgemeinen Eingangsdaten (bspw. Daten zu Entwässerungssystemen: Anschlussgrade, Entwässerungsart, Regenwasserbehandlung) und bei den meisten stoffbezogenen Eingangsdaten (bspw. Ablaufkonzentrationen/-frachten von Kläranlagen, Stoffbilanzen der Oberböden, Oberbodengehalte, Depositionsraten u.v.m.). Dabei gilt prinzipiell, dass allgemeine Grundlagendaten aus Deutschland, die für Forschungsnehmer verfügbar sind, i.d.R. eine deutlich bessere räumliche und zeitliche Auflösung aufweisen als Datensätze, die europaweit verfügbar sind. Dies gilt auch in Bezug zu stoffbezogenen Grundlagendaten, welche zudem zu weiten Teilen für die ausländischen Einzugsgebietsanteile fehlen, sodass hier auf mittlere Verhältnisse zurückgegriffen wird.

In MoRE wurden im Rahmen dieses Vorhabens die technischen Voraussetzungen für Modellierungen mit Varianten von Eingangsdaten geschaffen. Die Frage, welcher Datensatz der „bessere“ ist, kann nur unter Berücksichtigung der Zielsetzung und durch den Vergleich von modellierten Werten mit Messwerten beantwortet werden. Dieser Vergleich könnte bspw. für Stoffkonzentrationen in verschiedenen Abflusskomponenten oder für Stoffgehalte in Oberböden erfolgen. Je nach Fragestellung sind hierfür angepasste Monitoringprogramme erforderlich. Ziel wäre dabei das Vorliegen robuster mittlerer Konzentrationen für unterschiedliche Abflusskomponenten für die gegebene Anwendung.

Zur Validierung der modellierten Einträge werden modellierte Gewässerfrachten abgeleitet und diese mit beobachteten Gewässerfrachten verglichen, um daraus die Modelleffizienz zu ermitteln. Dieser Vergleich ist jedoch nur bedingt geeignet, um Aussagen über die Qualität der Eingangsdaten und Ansätze aus der Eintragsmodellierung zu treffen. Dies liegt an dem unterschiedlichen Fokus von Eintragsmodellierung und Gewässermessprogrammen. Bei der Eintragsmodellierung liegt das primäre Augenmerk auf den transportierten Massen (d.h. Frachten). Die Standardmessprogramme, die in Deutschland durchgeführt werden, legen den Fokus auf die Abbildung der mittleren Gewässerkonzentration. So wird die Probenahme im Rahmen dieser Programme entweder als Einzelprobe oder als zeitproportionale Mischprobe durchgeführt. Für die Abschätzung der beobachteten Gewässerfracht aus diesen Daten ist zu berücksichtigen, dass große Unsicherheiten bezüglich der Höhe der Frachten entstehen können, da Informationen zum Abfluss nicht adäquat in die Probenahme einfließen. So sind

einerseits bspw. bei n-wöchigen Einzelproben zwar Informationen zur Abflusshöhe am Messtag vorhanden, jedoch gleichzeitig große Lücken in dem zeitlichen Verlauf der Konzentration zwischen zwei Messtagen. Andererseits ist bei zeitproportionalen Mischproben der zeitliche Verlauf der Konzentration zwar gut abgebildet, die Höhe des Abflusses wird – aufgrund einer anderen Zielsetzung – bei der Probenahme jedoch vernachlässigt. Es ist demzufolge davon auszugehen, dass die beobachteten Gewässerfrachten mit großen Unsicherheiten behaftet sind. Welchen Teil der tatsächlichen Gewässerfracht sie darstellen, ist derzeit nicht verallgemeinerbar.

Letztendlich kann also ein Vergleich der Modellergebnisse mit den beobachteten Gewässerfrachten nicht zwangsläufig den Beweis erbringen, dass die angepassten Eingangsdaten und Ansätze tatsächlich besser sind. Aufgrund des Mangels an alternativen Datensätzen wird die Validierung der Eintragsmodellierung bislang dennoch anhand der beobachteten Gewässerfrachten durchgeführt. Um bessere Aussagen zur Modellgüte treffen zu können, empfehlen die Forschungsnehmer, für die Validierung der Eintragsmodellierung geeignete Gewässergütedaten an ausgewählten Messstellen zu erheben und zur Verfügung zu stellen.

Bei einer ansonsten auch inkonsistenten Datenbasis zur Eintragsmodellierung (Deutschland vs. Ausland) sollte bei der Modellvalidierung zudem darauf geachtet werden, dass nur Gütemessstellen herangezogen werden, deren Einzugsgebiet zu einem überwiegenden Teil in Deutschland liegt. So wird verhindert, dass Effekte wie die unterschiedliche Güte von Eingangsdaten den Vergleich verzerren. Inwieweit sich die inkonsistente Datenbasis bei den Ergebnissen und deren Verlässlichkeit niederschlägt, kann derzeit nicht abgeschätzt werden und wäre Bestandteil weiterer Untersuchungen. Aus diesem Grunde wird im Rahmen dieses Vorhabens der Gewässerfrachtvergleich nur für die AU durchgeführt, deren Einzugsgebiet vollständig in Deutschland liegt. Dieser Empfehlung folgend, können im Rahmen einer Weiterentwicklung der Stoffeintragsmodellierung die best verfügbaren Datensätze für Deutschland verwendet werden.

## 4 Umsetzung der überregionalen Maßnahmen in MoRE

Im folgenden Abschnitt wird die Umsetzung überregionaler Maßnahmen in MoRE dargestellt. Ausgehend von der Analyse der MP der Länder wurden Maßnahmen strategischer, überregionaler Bedeutung identifiziert und in Zusammenarbeit mit den Ländern abgestimmt (Abschnitt 4.1). Anschließend erfolgte die Auswahl der Maßnahmen, die in der Modellierung umgesetzt werden. Eine Beschreibung der ausgewählten Maßnahmen ist Abschnitt 4.2 zu entnehmen. Zudem wurden Steckbriefe für die Maßnahmen erstellt (Anhang 10.2). Gleichzeitig wurde die Architektur von MoRE so angepasst, dass Maßnahmen auf Ebene von AU und für einzelne Punktquellen abgebildet werden können (vgl. dazu die Abschnitte 2.2.2.5 bzw. 2.2.2.1). Die ökonomische Bewertung von Maßnahmen wird in Abschnitt 5 beschrieben.

### 4.1 Ableitung der überregionalen Maßnahmen und Maßnahmenwirkungen

Als Grundlage zur Identifikation überregionaler Bewirtschaftungsziele und zur Ausweisung strategischer, überregional wirksamer Maßnahmen wurden die BWP und MP der Länder und FGGen systematisch ausgewertet. Insbesondere wurden die BWP und MP der Länder Baden-Württemberg, Bayern, Hamburg, Nordrhein-Westfalen, Schleswig-Holstein, Sachsen und Hessen sowie der FGGen Weser und Elbe gesichtet. Diese umfassen etwa 80 % der Fläche Deutschlands. Zur Analyse dieser Dokumente wurde eine qualitative Inhaltsanalyse durchgeführt. Basierend auf der Zielstellung des Vorhabens - Abschätzung der Relevanz einzelner Maßnahmen für das gesamte Bundesgebiet sowie eine erste Einschätzung der Wirkung und Kosten von Maßnahmen - wurde ein Kriterienkatalog erstellt (s. Tabelle 33).

Tabelle 33: Kriterien zur inhaltlichen Analyse der Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenpläne

| Fragen  |
|---|
| Beschreibung der Maßnahmen + Anzahl der betroffenen Wasserkörper/ Planungseinheiten/ Koordinierungsräumen in einzelnen Teileinzugsgebieten und Länder |
| Raumbezug der Maßnahmen (Vorhandensein der GIS-Daten)   |
| Angaben zu Wirksamkeiten einzelner Maßnahmen  |
| Angaben zu Kosten einzelner Maßnahmen   |

Im Ergebnis dieser Auswertung wurde eine Liste der in den verschiedenen Flussgebieten identifizierten Maßnahmen (Abschnitt 4.1.1) und eine Übersicht zu deren Raumbezug (Abschnitt 4.1.2) erarbeitet. Auf Basis dieser Informationen wurde eine Priorisierung hinsichtlich der Relevanz der einzelnen Maßnahmen durchgeführt (Abschnitt 4.1.3). Anschließend wurden in Abstimmung mit dem B/L AK Stoffeintragsmodellierung Maßnahmen ausgewählt, die für eine strategische, überregionale Planung relevant sind (Abschnitt 4.1.4).

#### 4.1.1 Erstellung von Maßnahmenlisten

Für die Ausweisung der Maßnahmen wurde mit Ausnahme einiger Länder der von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) entwickelte Maßnahmenkatalog verwendet. Eine gemeinsame Auswertung und Zusammenfassung der MP der Länder, die andere, vom LAWA-Katalog abweichende Maßnahmenbezeichnungen verwendet haben, mit den LAWA-konformen MP ist nicht möglich.

Der Maßnahmenkatalog der LAWA unterscheidet insgesamt 107 Maßnahmen in Umsetzungsmaßnahmen und konzeptionelle Maßnahmen. Umsetzungsmaßnahmen sind Maßnahmen, die einen unmittelbaren positiven Einfluss auf den Zustand der Gewässer haben. Es handelt sich dabei meistens um bauliche Maßnahmen. Konzeptionelle Maßnahmen hingegen sind vorbereitende Tätigkeiten für Umsetzungsmaßnahmen z. B. Ursachenanalysen und Beratungsmaßnahmen. In Hinblick auf die Modellierung von Maßnahmenwirksamkeiten wurden bei der Auswertung der MP vorrangig die Umsetzungsmaßnahmen näher analysiert. Eine Modellierung konzeptioneller Maßnahmen ist in MoRE nicht möglich, da diese i.d.R. nicht direkt die Wirksamkeit verschiedener Stoffeintrags-Prozesse abbilden.

Die Umsetzungsmaßnahmen werden in sechs Belastungstypen klassifiziert, welche wiederum in 33 Belastungsgruppen unterteilt sind. Lediglich drei von sechs Belastungstypen weisen jedoch einen direkten Bezug zu Stoffeinträgen auf:

- „Punktquellen“,
- „Diffuse Quellen“ und
- „Andere anthropogene Auswirkungen“.

Für dieses Vorhaben wurden davon vorrangig jene Maßnahmen betrachtet, die sich sowohl auf Oberflächenwasserkörper beziehen als auch einen Stoffbezug haben. Diese sind in Tabelle 34 mit ihrer Zugehörigkeit zu Belastungstypen sowie Belastungsgruppen aufgeführt. Dabei handelt es sich um sehr vielfältige und z. T. detaillierte Maßnahmen.

Im weiteren Auswahlprozess wurde der ausgewiesene Raumbezug der Maßnahmen ausgewertet (Abschnitt 4.1.2) und darauf aufbauend die Relevanz der einzelnen Maßnahmen abgeleitet (Abschnitt 4.1.3).

Tabelle 34: Maßnahmenliste Projekt "Maßnahmeneffizienz"

| Belastungstyp  | Belastungsgruppe  | Maßnahmenbezeichnung   |
|--|---|--|
| Punktquellen   | Bergbau   | Maßnahmen zur Reduzierung punktueller Stoffeinträge aus dem Bergbau (OW)   |
|  | Industrie / Gewerbe   | Neubau und Anpassung von industriellen/ gewerblichen Kläranlagen   |
|  |   | Optimierung der Betriebsweise industrieller/ gewerblicher Kläranlagen  |
|  |   | Sonstige Maßnahmen zur Reduzierung der Stoffeinträge durch industrielle/ gewerbliche Abwassereinleitungen                        |
|  | Kommunen / Haushalte  | Anschluss bisher nicht angeschlossener Gebiete an bestehende Kläranlagen   |
|  |   | Ausbau kommunaler Kläranlagen zur Reduzierung der Phosphoreinträge   |
|  |   | Ausbau kommunaler Kläranlagen zur Reduzierung der Stickstoffeinträge   |
|  |   | Ausbau kommunaler Kläranlagen zur Reduzierung sonstiger Stoffeinträge  |
|  |   | Interkommunale Zusammenschlüsse und Stilllegung vorhandener Kläranlagen  |
|  |   | Neubau und Anpassung von kommunalen Kläranlagen  |
|  |   | Neubau und Sanierung von Kleinkläranlagen  |
|  |   | Optimierung der Betriebsweise kommunaler Kläranlagen   |
|  | Misch- und Niederschlagswasser  | Sonstige Maßnahmen zur Reduzierung der Stoffeinträge durch kommunale Abwassereinleitungen  |
|  |   | Neubau und Anpassung von Anlagen zur Ableitung, Behandlung und zum Rückhalt von Misch- und Niederschlagswasser                   |
|  |   | Optimierung der Betriebsweise von Anlagen zur Ableitung, Behandlung und zum Rückhalt von Misch- und Niederschlagswasser          |
| Sonstige Punktquellen  | Sonstige Maßnahmen zur Reduzierung der Stoffeinträge durch Misch- und Niederschlagswassereinleitungen |  |
| Diffuse Quellen  | Sonstige Punktquellen   | Maßnahmen zur Reduzierung der Stoffeinträge aus anderen Punktquellen (OW)  |
|  | Altlasten / Altstandorte  | Maßnahmen zur Reduzierung diffuser Stoffeinträge aus Altlasten und Altstandorten   |
|  | Bebaute Gebiete   | Maßnahmen zur Reduzierung diffuser Stoffeinträge von befestigten Flächen   |
|  | Bergbau   | Maßnahmen zur Reduzierung diffuser Belastungen infolge Bergbau (OW)  |
|  | Bodenversauerung  | Maßnahmen zur Reduzierung der Belastungen infolge Bodenversauerung   |
|  | Landwirtschaft  | Anlage von Gewässerschutzstreifen zur Reduzierung der Nährstoffeinträge  |
|  |   | Maßnahmen zur Reduzierung der auswaschungsbedingten Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft (OW)                                |
|  |   | Maßnahmen zur Reduzierung der direkten Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft  |
|  |   | Maßnahmen zur Reduzierung der Einträge von Pflanzenschutzmitteln aus der Landwirtschaft (OW)                                     |
|  |   | Maßnahmen zur Reduzierung der Nährstoffeinträge durch Drainagen aus der Landwirtschaft   |
|  |   | Sonstige Maßnahmen zur Reduzierung der Nährstoff- und Feinmaterialeinträge durch Erosion und Abschwemmung aus der Landwirtschaft |
| Umsetzung und Aufrechterhaltung von spezifischen Wasserschutzmaßnahmen in Trinkwasserschutzgebieten (OW) |   |  |
| Sonstige diffuse Quellen   | Maßnahmen zur Reduzierung der Belastungen aus anderen diffusen Quellen (OW)                           |  |
| Unfallbedingte Einträge  | Maßnahmen zur Vermeidung von unfallbedingten Einträgen  |  |
| Andere anthropogene Auswirkungen   | Fischereiwirtschaft   | Maßnahmen zum Initialbesatz bzw. zur Besatzstützung  |
|  |   | Maßnahmen zur Reduzierung der Belastungen infolge Fischerei in Fließgewässern  |
|  |   | Maßnahmen zur Reduzierung der Belastungen infolge Fischerei in Küsten- und Übergangsgewässern                                    |
|  |   | Maßnahmen zur Reduzierung der Belastungen infolge Fischerei in stehenden Gewässern   |
|  | Maßnahmen zur Reduzierung der Belastungen infolge Fischteichbewirtschaftung                           |  |
|  | Sonstige anthropogene Belastungen   | Maßnahmen zur Reduzierung anderer anthropogener Belastungen (OW)   |

#### 4.1.2 Raumbezug der Maßnahmen

Der Raumbezug der ausgewiesenen Maßnahmen spielt eine große Rolle bei der Aussage über die Relevanz derselben. Der Raumbezug der MP ist jedoch nicht einheitlich. Manche Länder wählten als räumliche Bezugsebene die WK (Sachsen, Schleswig-Holstein, Bayern und Baden-Württemberg). Andere Länder bezogen die Maßnahmen auf größere räumliche Einheiten wie z. B. Wasserkörpergruppen (Nordrhein-Westfalen) oder PE (FGG Elbe, FGE FGG Weser). Der unterschiedliche Raumbezug erschwert die Auswertung und führt zu starken Einschränkungen bei der Interpretation der Relevanz der einzelnen Maßnahmen.

Zur Beurteilung kommt erschwerend hinzu, dass die räumlichen Bezugsebenen selbst bundesweit nicht nach einheitlichen Kriterien abgeleitet wurden. Das hat zur Folge, dass angefangen auf WK-Ebene deren Anzahl und Flächengrößen von BL zu BL stark schwanken.

#### 4.1.3 Relevanz der Maßnahmen

Da weder in den BWP noch den MP Informationen über die Wirksamkeit der Maßnahmen verfügbar waren, erfolgte die Priorisierung der Umsetzungsmaßnahmen auf Basis der Häufigkeit der Nennung auf Ebene der kleinsten in den MP aufgeführten räumlichen Einheit. Daraus wurde die Relevanz einer Maßnahme in einem Land oder in einer Flussgebietseinheit ermittelt. Die Relevanz der Umsetzungsmaßnahmen mit Ortsbezug WK ist Tabelle 35 zu entnehmen.

Tabelle 35: Priorisierung von Umsetzungsmaßnahmen mit Bezug zum Wasserkörper

| Maßnahme Code                    | Belastungstyp   | Belastungsgruppen              | Maßnahmenbezeichnung   | Anzahl der Maßnahmen mit Ortsbezug "WK" | Relative Bedeutung der Umsetzungsmaßnahme |
|----------------------------------|-----------------|--------------------------------|--|---|---|
| 30                               | Diffuse Quellen | Landwirtschaft                 | Maßnahmen zur Reduzierung der auswaschungsbedingten Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft (OW)                                | 956                                     | 14,23%                                    |
| 27                               | Diffuse Quellen | Landwirtschaft                 | Maßnahmen zur Reduzierung der direkten Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft  | 880                                     | 13,10%                                    |
| 10                               | Punktquellen    | Misch- und Niederschlagswasser | Neubau und Anpassung von Anlagen zur Ableitung, Behandlung und zum Rückhalt von Misch- und Niederschlagswasser                   | 755                                     | 11,24%                                    |
| 29                               | Diffuse Quellen | Landwirtschaft                 | Sonstige Maßnahmen zur Reduzierung der Nährstoff- und Feinmaterialeinträge durch Erosion und Abschwemmung aus der Landwirtschaft | 670                                     | 9,97%                                     |
| 12                               | Punktquellen    | Misch- und Niederschlagswasser | Sonstige Maßnahmen zur Reduzierung der Stoffeinträge durch Misch- und Niederschlagswassereinleitungen                            | 663                                     | 9,87%                                     |
| 8                                | Punktquellen    | Kommunen / Haushalte           | Anschluss bisher nicht angeschlossener Gebiete an bestehende Kläranlagen   | 639                                     | 9,51%                                     |
| 7                                | Punktquellen    | Kommunen / Haushalte           | Neubau und Sanierung von Kleinkläranlagen  | 638                                     | 9,50%                                     |
| 28                               | Diffuse Quellen | Landwirtschaft                 | Anlage von Gewässerschutzstreifen zur Reduzierung der Nährstoffeinträge  | 451                                     | 6,71%                                     |
| <b>Summe Umsetzungsmaßnahmen</b> |                 |                                |  | <b>6.717</b>                            |   |

#### 4.1.4 Strategische überregionale Maßnahmen zur Umsetzung in MoRE

Aus der Vielzahl der Maßnahmen wurden nun die mit strategischer, überregionaler Bedeutung ausgewählt und über den B/L AK Stoffeintragsmodellierung mit den Ländern abgestimmt. Im Anschluss wurden Maßnahmen ausgewählt, die in MoRE umgesetzt werden können. Zudem wurde begleitend eine Kostenschätzung vorgenommen. So konnte erstmals mit dem Modell MoRE für Gesamt-Deutschland die Auswirkung von ausgewählten Maßnahmen und

Maßnahmenkombinationen auf die Stoffeinträge modelliert und eine ökonomische Bewertung vorgenommen werden.

Ein wesentliches Kriterium bei der Auswahl der Maßnahmen zur Umsetzung im Modell ist, dass sie so formuliert sind, dass sie in Zusammenhang mit den operablen Größen der Quantifizierungsansätze stehen. Das bedeutet, sie müssen die Wirksamkeit verschiedener Prozesse (z. B. Stoffrückhalt durch Regenwasserbehandlung) abbilden. Dies ist eine wesentliche Voraussetzung für die angestrebte Integration einer ökonomischen Bewertungskomponente.

Mit Hilfe eines eigens dafür entwickelten flexiblen Werkzeugs, dem Maßnahmenmanager (Abschnitt 2.2.2.5), wurde für die folgenden strategisch überregionalen Maßnahmen die Auswirkung auf die Gesamteinträge modelliert:

#### Maßnahmen im urbanen Bereich:

- Maßnahmen mit Bezug zum Eintragspfad „Kläranlagen“:
  - Optimierung der Betriebsweise der kommunalen Kläranlagen
- Maßnahmen mit Bezug zum Eintragspfad „Kanalisationssysteme“:
  - Erhöhung des Anschlussgrades der Bevölkerung an bestehende kommunale Kläranlagen
  - Erhöhung der klärtechnischen Wirksamkeit im Misch- und Trennsystem
  - Neubau von Speichervolumen im Mischsystem
  - Reduzierung der versiegelten Flächen

#### Maßnahmen im landwirtschaftlichen Bereich:

- Maßnahmen mit Bezug zu den Eintragspfaden „Grundwasser“ und „Dränagen“:
  - Umsetzung von Ökolandbau auf 10 % bzw. 20 % der landwirtschaftlichen Flächen
  - Optimierung des Düngungsmanagements

Diese Maßnahmen wurden im Rahmen des Vorhabens in MoRE umgesetzt. Da Angaben zu ihrer Wirksamkeit nicht vorlagen, wurde eine Literaturrecherche durchgeführt. Die Ergebnisse sind insbesondere in den Maßnahmensteckbriefen (Anhang 10.2) dokumentiert.

## **4.2 Beschreibung der Maßnahmen**

Für eine gute Nachvollziehbarkeit wurden die in MoRE umgesetzten Maßnahmen in Maßnahmensteckbriefen (Anhang 10.2) dokumentiert. Dabei beinhaltet jeder Steckbrief wichtige Angaben in Bezug auf die allgemeinen Maßnahmeninformationen wie Maßnahmenbezeichnung (kurze und lange), Pfadbezug, Stoffbezug, räumliche und zeitliche Gültigkeit, inhaltliche Beschreibung. Weiterhin werden wichtige Aspekte der Maßnahmenumsetzung in MoRE erläutert. Darunter zählen die Bezugsvariablen für die Maßnahmen, Zielgrößen, Umsetzungsgrad, Ableitung neuer Eingangsdaten bzw. neuer Varianten von Eingangsdaten, Bezugsvariablen für die Kosten und die spezifischen Kosten der Maßnahmen.

Im Folgenden werden die einzelnen Maßnahmen kurz beschrieben. Weitere Details sind den Steckbriefen (Anhang 10.2) zu entnehmen.

## **4.2.1 Maßnahmen mit Bezug zum Eintragspfad „Kläranlagen“**

Kommunale Kläranlagen stellen neben dem Grundwasser den wichtigsten Eintragspfad für Stickstoffeinträge dar. In Bezug auf Phosphoreinträge sind kommunale Kläranlagen mit ca. 30 % Anteil am Gesamteintrag Haupteintragspfad. Hinsichtlich der Schadstoffeinträge ist festzustellen, dass zum Zeitpunkt dieser Untersuchung für Schwermetalleinträge keine deutschlandweit verfügbaren belastbaren Daten zu Kläranlagenabläufen vorliegen.

Aufgrund der hohen Relevanz für Nährstoffe und aufgrund der schlechten Datenlage hinsichtlich Schadstoffe wurde die Wirksamkeit der Maßnahme „Optimierung der Betriebsweise der kommunalen Kläranlagen“ im Rahmen des Vorhabens am Beispiel der Nährstoffe untersucht.

### **4.2.1.1 Optimierung der Betriebsweise der kommunalen Kläranlagen**

In Deutschland hat die Entwicklung der Abwasserentsorgung in den letzten Jahrzehnten zu einer starken Reduzierung der Stoffeinträge in die Gewässer beigetragen. Die Abwasserbehandlung in Deutschland ist aus technischer Sicht auf einem hohen Niveau.

Hinsichtlich der Einhaltung gesetzlicher Vorgaben bspw. für die Nährstoffe in Anhang 1 der Abwasserverordnung (AbwV) kann kein weiterer Handlungsbedarf abgeleitet werden. Die in der AbwV Anhang 1 festgelegten Anforderungen für kommunale Kläranlagen ab Größenklasse 4 werden selbst von Anlagen der Größenklassen 1-3 häufig eingehalten. Trotzdem gibt es hinsichtlich der erreichten Ablaufkonzentrationen nach wie vor eine hohe Variabilität des Leistungsstandes der einzelnen Kläranlagen bspw. in Bezug auf die Nährstoff-Elimination. Dies zeigt die statistische Auswertung eines deutschlandweiten Datensatzes zu Ablaufkonzentrationen kommunaler Kläranlagen > 50 EW. Für alle Kläranlagen < 2.000 EW wurden die Daten des FDZ (2013a) und für Kläranlagen  $\geq$  2.000 EW die Daten aus der Berichterstattung zur Kommunalabwasserrichtlinie für das Jahr 2010 (UBA 2013c) herangezogen.

Für die Optimierung der Betriebsweise kommunaler Kläranlagen steht eine Palette von Einzelmaßnahmen zur Verfügung. Für eine deutschlandweite bzw. überregionale Betrachtung ist es allerdings nicht möglich, einzelne Optimierungsmaßnahmen zu betrachten. Diese wären individuell mit Blick auf Ausstattung und Betriebsweise einer Anlage auszuweisen und umzusetzen. Die Entscheidung, welche Verfahren in einer Kläranlage zur Anwendung kommen können, muss vor Ort geprüft werden.

In der überregionalen, deutschlandweiten Betrachtung können zur Feststellung eines Optimierungs- und Eintragsreduzierungspotentials stoffspezifische Größen herangezogen werden. So wurden im Rahmen dieses Vorhabens Eintragsminderungspotentiale abgeschätzt, indem ausgehend vom Ist-Zustand, anspruchsvolle, über die bisher gesetzlich formulierten Anforderungen hinausgehende Mindestanforderungen zur Umsetzung einer weiteren Stoffeintragsreduzierung formuliert wurden.

Für die Ableitung der Mindestanforderungen für diese Maßnahme wurde zunächst größenklassenspezifisch die Verteilung der Ablaufkonzentrationen auf Basis der Nominalbelastung (Nominalbelastung als tatsächlich behandelte Abwassermenge) ermittelt. Hierfür wurden für jede Größenklasse jeweils drei Benchmarks definiert: Alle Kläranlagen einer Größenklasse sollten als Zielwert im Jahresmittel mindestens die Ablaufkonzentration der besten 25 %, 50 % und 75 % (1. Quartil, Median, 3. Quartil) der Anlagen erreichen (Tabelle 36). Im Vorfeld dieser statistischen Auswertung wurden alle Ausreißer entfernt (Gleichung 1, Abschnitt 3.4.2.3).

Tabelle 36: Abgeleitete Zielkonzentrationen im Vergleich zu den Anforderungen nach Anhang 1 Abwasserverordnung (AbwV)

| Statistische Zielgröße | Zielkonzentrationen (Mindestanforderungen) [mg/l] |     |                       |      |                         |      |                           |      |                   |      |
|------------------------|---|-----|-----------------------|------|-------------------------|------|---------------------------|------|-------------------|------|
|                        | GK1 (> 50- <1.000 EW)                             |     | GK2 (1.000- 5.000 EW) |      | GK3 (>5.000- 10.000 EW) |      | GK4 (>10.000- 100.000 EW) |      | GK5 (>100.000 EW) |      |
|                        | N   | P   | N                     | P    | N                       | P    | N                         | P    | N                 | P    |
| 1. Quartil             | 8   | 1,7 | 4,19                  | 1    | 3,6                     | 0,58 | 4,4                       | 0,42 | 5,88              | 0,3  |
| Median                 | 13  | 2,9 | 7                     | 1,71 | 5,5                     | 0,9  | 7                         | 0,66 | 8,46              | 0,4  |
| 3. Quartil             | 20,9  | 5   | 12,33                 | 2,73 | 8,7                     | 1,3  | 9,75                      | 0,9  | 10,92             | 0,56 |
| Anhang 1 AbwV          | -   | -   | -                     | -    | -                       | -    | 18                        | 2    | 13                | 1    |

Diese Maßnahme kann, nachdem im Modell mit der Punktquellenverwaltung die notwendigen strukturellen Voraussetzungen geschaffen wurden, deutschlandweit für alle Anlagen  $\geq 2.000$  EW anlagenspezifisch und für alle Anlagen  $> 50$  EW bis  $< 2.000$  EW aggregiert auf Ebene der AU umgesetzt werden. Bei der Maßnahmenumsetzung wird geprüft, ob eine Anlage den abgeleiteten Konzentrationszielwert überschreitet. Ist dies der Fall, so wird der Stoffeintrag mit der Zielkonzentration berechnet, sonst mit der tatsächlichen Ablaufkonzentration der Anlage.

#### 4.2.2 Maßnahmen mit Bezug zum Eintragspfad „Kanalisationssysteme“

Nach Fuchs et al. (2014a) stellen die Kanalisationssysteme einen bedeutenden Eintragspfad insbesondere für Schadstoffe dar. Aus diesem Grunde wurden die folgenden Maßnahmen „Erhöhung der klärtechnischen Wirksamkeit im Misch- und Trennsystem“ (Abschnitt 4.2.2.2), „Neubau von Speichervolumen im Mischsystem“ (Abschnitt 4.2.2.3) und „Reduzierung der versiegelten Flächen“ (Abschnitt 4.2.2.4) am Beispiel der Schwermetalle umgesetzt. Auf besonderen Wunsch der Länder wurde zusätzlich die Maßnahme „Erhöhung des Anschlussgrades der Bevölkerung an bestehende kommunale Kläranlagen“ (Abschnitt 4.2.2.1) für die Nährstoffe umgesetzt.

##### 4.2.2.1 Erhöhung des Anschlussgrades der Bevölkerung an bestehende kommunale Kläranlagen

Der Anschlussgrad der Bevölkerung an Kläranlagen beschreibt den prozentualen Anteil der Bevölkerung, deren Abwasser in der Kanalisation gesammelt und in kommunalen Kläranlagen behandelt wird. Grundsätzlich sind in Deutschland der Anschlussgrad der Bevölkerung an die Kanalisation mit 96,6 % und an kommunale Kläranlagen mit 95,7 % (2010) sehr hoch (StaBu 2013c). Allerdings sind deutschlandweit 0,9 % (2010) der Bevölkerung zwar an die Kanalisation aber nicht an kommunale Kläranlagen angeschlossen (sogenannte Bürgermeisterkanäle). In diesem Fall wird das bspw. in Kleinkläranlagen vorgeklärte Wasser direkt in die Vorflut eingeleitet. Es ist davon auszugehen, dass der partikuläre Anteil der Einträge bereits in kommunalen Kläranlagen mitbehandelt wird.

Ziel dieser Maßnahme ist es, durch weitere Erhöhung des Anschlussgrades der nur an Kanalisation angeschlossenen Bevölkerung an kommunale Kläranlagen, eine Reduktion des Stoffeintrags in die Gewässer zu erreichen. Der Grund für die Eintragsreduzierung liegt in der vollständigen Behandlung des Abwassers in Kläranlagen mit höherer Reinigungsleistung. Die an Kleinkläranlagen<sup>4</sup> angeschlossenen Einwohner (ohne Anschluss an eine öffentliche Kanalisation) bleiben bei dieser Maßnahme unberücksichtigt, da ein Anschluss an Kläranlagen in der Praxis eher auszuschließen ist.

Wie bereits erläutert, lag für diese Maßnahme der Fokus in der Betrachtung der Nährstoffeinträge.

In der Gesamtbetrachtung ist der Anteil der an Bürgermeisterkanäle angeschlossenen Bevölkerung sehr gering, kann aber regional z.T. stark schwanken. Den mit Abstand größten Anteil der Bevölkerung mit Anschluss an diese Art der Teilkanalisation verzeichnet Thüringen mit ca. 20 % (2010) (StatBu 2013). Handlungsnotwendigkeiten bestehen daher eher regional.

Kriterium für die Umsetzung der Maßnahme in MoRE war, dass der Anschluss der Bevölkerung an bestehende kommunale Kläranlagen erfolgt. Räumliche Bezugseinheit für diese Maßnahme sind die AU. Ist also in einem AU keine kommunale Kläranlage vorhanden, wird die Maßnahme dort nicht umgesetzt.

Der Zielwert für den maximal zu erreichenden Anschlussgrad an kommunale Kläranlagen auf Ebene der AU wurde auf 100 % festgesetzt. Wenn dieser Zielwert bisher nicht erreicht ist und sich eine kommunale Kläranlage im AU befindet, werden die nur an Kanalisation angeschlossenen Einwohner zu 100 % an bestehende kommunale Kläranlagen im betreffenden AU angeschlossen. Sofern mindestens eine kommunale Kläranlage  $\geq 2.000$  EW im AU vorhanden ist, werden die Einwohner bevorzugt dort angeschlossen. Sonst erfolgt der Anschluss an die kleinen kommunalen Kläranlagen ( $< 2.000$  EW).

Diese Maßnahme ist an zwei Eintragungspfade in MoRE gekoppelt:

- Kanalisationssysteme und
- kommunale Kläranlagen.

Durch die Erhöhung des Anschlussgrades an kommunale Kläranlagen sollte sich eine Verringerung der Einträge über Kanalisationssysteme, speziell über den Teilpfad der nur an Kanalisation angeschlossenen Bevölkerung ergeben. Gleichzeitig ist eine Erhöhung der Einträge über Kläranlagen zu erwarten, die jedoch aufgrund der höheren Reinigungsleistung kommunaler Kläranlagen geringer ausfallen sollte.

Um zu beurteilen, ob die Umsetzung der Maßnahme in der Gesamtbetrachtung eintragsmindernd wirkt, wird die Summe der urbanen Eintragungspfade Kanalisationssysteme und Kläranlagen vor und nach Umsetzung der Maßnahme verglichen.

#### **4.2.2.2 Erhöhung der klärtechnischen Wirksamkeit im Misch- und Trennsystem**

Regenbecken im Misch- und Trennsystem speichern einen Teil des Niederschlagsabflusses (Speicherwirkung). Dadurch werden Abflussspitzen reduziert und die Einleitung aus dem Entwässerungssystem in das Gewässer findet verzögert statt. Zusätzlich zu diesem hydraulischen Rückhalt erfolgt über Sedimentation ebenfalls ein stofflicher Rückhalt. Dadurch wird der Entlastungsabfluss in das Gewässer mechanisch gereinigt. Der Stoffrückhalt in

---

<sup>4</sup> Kleinkläranlagen, deren Reinigungsleistung dauerhaft den Anforderungen nach dem Stand der Technik entsprechen.

Regenbecken kann durch Nachrüstung mit entsprechenden Einbauten im Becken (z. B. Schrägklärer) und Nachschaltung von Bauwerken wie Bodenfilter deutlich erhöht werden. Schrägklärer und Bodenfilter sind in Deutschland bereits vielerorts im Einsatz. Der Umfang des derzeitigen Einsatzes ist jedoch nicht bekannt. Aus diesem Grund wird angenommen, dass er in der Ausgangssituation gleich Null ist.

Die übergeordnete Maßnahme „Erhöhung der klärtechnischen Wirksamkeit im Misch- und Trennsystem“ wird so in der Modellierung mit MoRE in zwei Einzelmaßnahmen umgesetzt:

- Nachrüstung von Durchlaufbecken (RÜB): Verringerung der Oberflächenbeschickung durch geeignete Einbauten wie Schrägklärer und
- Nachschaltung von Retentionsbodenfiltern (RBF): Behandlung (erhöhter Feststoffrückhalt) eines Teils des Mischwasserüberlaufs durch Bau von RBF zwischen Entlastungsbauwerk und Vorfluter.

Im Rahmen des Vorhabens wurden die beschriebenen Maßnahmen exemplarisch im Mischsystem umgesetzt.

Sowohl durch den Einbau von Schrägklärern als auch die Nachrüstung von RBF wird die Sedimentationsleistung der Becken erhöht. Diese Optimierung ist sinnvoll in Durchlaufbecken und wurde in der Modellierung auch nur für diese berücksichtigt.

Bisher wird in der Modellierung ein Feststoffrückhalt bei bestehenden Durchlaufbecken und RKB von 20 % berücksichtigt (Fuchs et al. 2013c). Der Anteil der Durchlaufbecken an den Regenbecken wird in Deutschland zwischen 37 % und 50 % angenommen (s. Abschnitt 3.5.2.9). Beim nachgeschalteten RBF, wurde zusätzlich angenommen, dass ein Volumenanteil von 50 % des Mischwasserüberlaufs im Filter behandelt wird.

Der Rückhalt von Feststoffen durch Einbau von Schrägklärern kann bis zu 60 % betragen (Fuchs et al. 2013a). Der Rückhalt in Durchlaufbecken erhöht sich damit zur angenommenen Ausgangssituation um 40 %. Damit werden auch die an den Feststoffpartikeln gebundenen Stoffe größtenteils zurückgehalten und gelangen nicht in die Oberflächengewässer. Auch RBF weisen einen sehr hohen Feststoffrückhalt auf (95 %). RBF sind als Einheit obligatorisch zweistufige Konstruktionen aus einem Becken zur Entfernung von Grobstoffen mit einem nachgeschalteten bewachsenen und sohlgedichteten Bodenfilter. Obligatorische Vorstufe des RBF sind Durchlaufbecken im Misch- und Trennsystem.

Die Wirksamkeit der beschriebenen Maßnahmen wird in der Literatur häufig nur bezogen auf den Feststoffrückhalt angegeben (Fuchs et al. 2013a). Manchmal finden sich auch Angaben zur Wirksamkeit auf die feine Feststofffraktion ( $< 63 \mu\text{m}$ ) (Fuchs et al. 2013c), die bekanntermaßen besonders hoch mit Schadstoffen belastet ist. Da die vorliegenden Informationen nicht ausreichen, um allgemeine stoffspezifische Annahmen zu treffen, wurde auf die Feststoffrückhalte zurückgegriffen und diese für die vorwiegend partikulär gebundenen Stoffen angenommen.

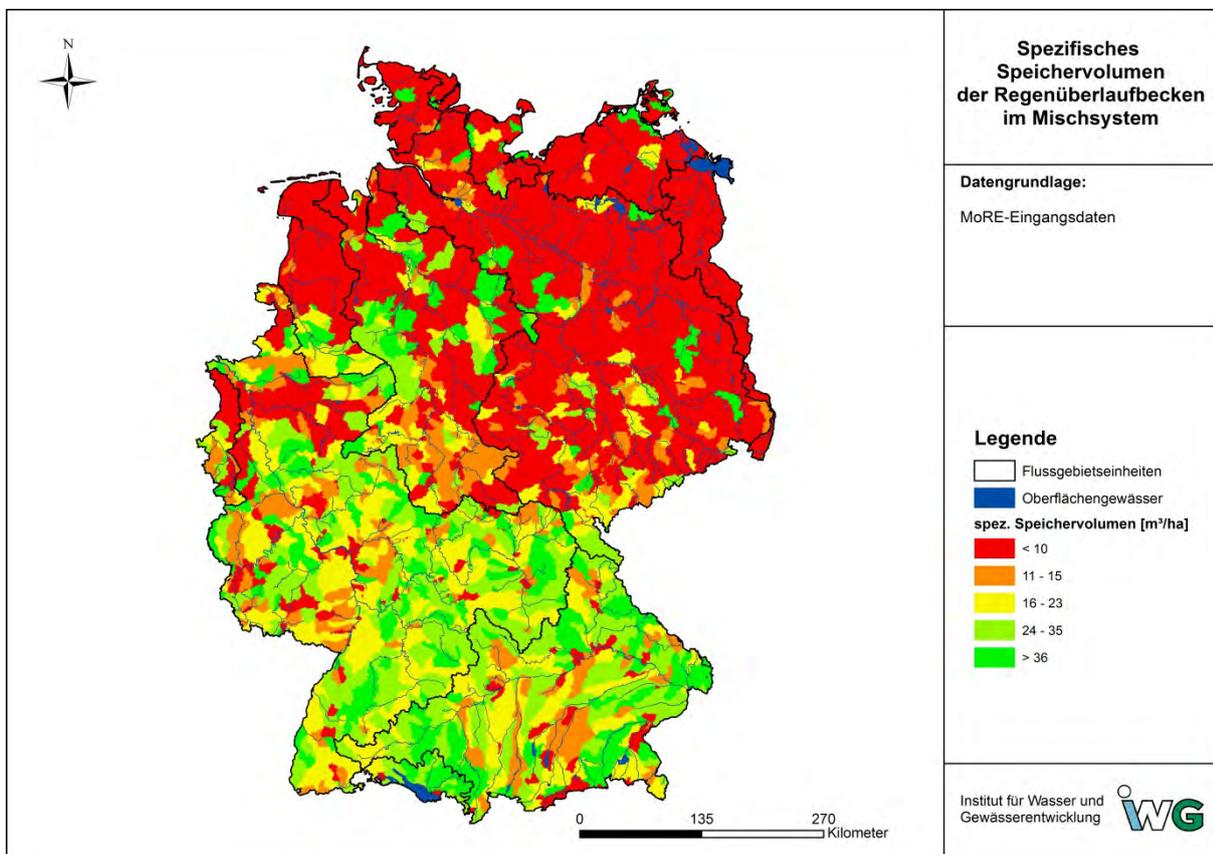
#### **4.2.2.3 Neubau von Speichervolumen im Mischsystem**

Regenbecken im Mischsystem (RÜB) speichern, wie bereits beschrieben, einen Teil des Mischwasserabflusses (Speicherwirkung). So kann dieser nach einem Niederschlagsereignis einer Kläranlage zugeführt werden. Durch Erhöhung des Volumens von RÜB wird generell die Einleitung des Mischwasserabflusses und die damit verbundenen Stoffflüsse aus dem Entwässerungssystem in das Gewässer verringert.

Die in Deutschland verbauten RÜB beliefen sich im Jahr 2010 in der Summe auf ca. 12.307.000 m<sup>3</sup> (FDZ 2013d). Bei einer versiegelten Fläche im Mischsystem von ca. 6.800 km<sup>2</sup> ergibt sich ein mittleres Speichervolumen von ca. 18 m<sup>3</sup>/ha. Nach Brombach und Michelbach (1998) entsprechen 23,3 m<sup>3</sup>/ha einem Ausbaugrad von 100 %. Verglichen damit beträgt der derzeitige Ausbaugrad ca. 80 %. Somit besteht im Mittel in Deutschland ein Potenzial von 20 % in Hinblick auf die Erreichung eines vollständigen Ausbaugrades. Die räumliche Verteilung ist Abbildung 50 zu entnehmen. Auf Ebene der AU liegt demnach besonders im südlichen und westlichen Teil Deutschlands das spezifische Speichervolumen meistens über einem Wert von 23 m<sup>3</sup>/ha, teilweise jedoch auch zwischen 11 und 23 m<sup>3</sup>/ha und in wenigen Ausnahmefällen unter 10 m<sup>3</sup>/ha. Im restlichen Teil Deutschlands (Osten und Norden) liegt das Speichervolumen i.d.R. unter 10 m<sup>3</sup>/ha.

Der Schwerpunkt der Maßnahmenwirkung ist in vereinzelt Gebieten zu erwarten, die noch einen niedrigen Ausbaugrad aufweisen und gleichzeitig vom Mischsystem geprägt sind.

Abbildung 50: Spezifisches Speichervolumen der Regenüberlaufbecken im Mischsystem in Deutschland



Kriterium für die Ausweisung dieser Maßnahme ist die Annahme, dass nach Brombach und Michelbach (1998) bei einem Speichervolumen von 23,3 m<sup>3</sup>/ha ein 100 %iger Ausbau vorliegt. Die Umsetzung der Maßnahme „Neubau RÜB“ im Modell erfolgt auf Ebene der AU. Dabei wird ein Vergleich des aktuellen spezifischen Speichervolumens im Mischsystem mit dem Wert für den Vollausbau von 23,3 m<sup>3</sup>/ha durchgeführt. Ist das aktuelle spezifische Speichervolumen im AU kleiner als dieser Wert, wird angenommen, dass ein Neubau von RÜB auf 100 % Ausbaugrad durchgeführt wird. Liegt das aktuelle spezifische Speichervolumen über dem Wert von 23,3 m<sup>3</sup>/ha, so wird keine Maßnahme durchgeführt. Weitere räumliche Anforderungen werden nicht berücksichtigt.

Die Maßnahme wirkt sich über die Wasserbilanz auf den Eintragspfad Oberflächenabfluss aus, sodass dadurch ein erhöhter Oberflächenabfluss und somit höhere Einträge über den Eintragspfad Oberflächenabfluss zu erwarten sind. Zudem gibt es in der Realität eine Rückwirkung auf Einträge über Kläranlagen, da durch die Maßnahme mehr Mischwasser zu kommunalen Kläranlagen transportiert wird, so dass die Wassermenge und somit die Einträge über kommunale Kläranlagen erhöht werden. Diese Erhöhung wurde im Rahmen des Vorhabens nicht quantifiziert.

#### **4.2.2.4 Reduzierung der versiegelten Flächen**

Nach Frie und Hensel (2007) nimmt die Siedlungs- und Verkehrsfläche, darunter auch die versiegelte Fläche in Deutschland stetig zu. Dies bedingt u.a. eine Erhöhung der Abflussspitzen in Siedlungsgebieten. Aus diesem Grund wurde die Auswirkung einer Verringerung der versiegelten Flächen modelliert. Diese Maßnahme bezieht sich auf die Entsiegelung der an Misch- und Trennkanalisation angeschlossenen versiegelten Flächen. Unter Entsiegelung wird hier die Verringerung der innerörtlichen Versiegelung (und somit der abflusswirksamen Fläche) durch:

- Abriss der vorhandenen Versiegelung und Umwandlung bspw. in vegetationsbedeckte Flächen und
- Änderung des Belags der versiegelten Fläche unter Nutzung von bspw. Rasenpflastersteinen

verstanden. Im Modell ist diese Differenzierung allerdings nicht möglich. Durch die Entsiegelung kann die natürliche Bodenfunktion teilweise wiederhergestellt werden und die Grundwasserneubildung nachhaltig unterstützt werden. So wird z. B. die Versickerung und Verdunstung von Niederschlagswasser erhöht, so dass der Abfluss von versiegelten Flächen in die Kanalisation reduziert wird. Gleichwohl mit der Verringerung der Abflüsse in die Kanalisation verringern sich die in die Gewässer eingetragenen Frachten von versiegelten Flächen.

Derzeit kann keine Aussage über den tatsächlichen Anschluss von versiegelten Flächen an die Kanalisation gemacht werden. Deswegen werden ersatzweise die Anschlussverhältnisse der Einwohner für die versiegelten Flächen übernommen. Potenziell werden überall dort höhere Reduktionen erwartet, wo es einen relevanten Anteil an versiegelten Flächen gibt.

Die Umsetzung dieser Maßnahme im Modell erfolgt unterschieden in Räume innerhalb und außerhalb von Agglomerationen. Nach Auswertung einer eigenen Literaturrecherche werden in Agglomerationsräumen 5 %, in Räumen außerhalb von Agglomerationen 10 % Entsiegelung als Obergrenze angenommen. Räumliche Bezugsebene für die Umsetzung der Maßnahme im Modell sind die AU. Auf dieser Ebene wird die an Misch- und Trennsysteme angeschlossene versiegelte Fläche um die potentiell zu entsiegelnden Flächenanteile abgezogen. Die tatsächliche Reduktion der Stoffeinträge ist dabei abhängig von den Gegebenheiten in dem AU (Verteilung von versiegelten Flächen in ländlichen und städtischen Gebieten, Verteilung Misch-/Trennsystem usw.).

Die Maßnahme wirkt sich über die Wasserbilanz auf den Eintragspfad Oberflächenabfluss aus, sodass dadurch ein erhöhter Oberflächenabfluss und somit höhere Einträge über den Eintragspfad Oberflächenabfluss zu erwarten sind.

### **4.2.3 Maßnahmen mit Bezug zu den Eintragungspfaden „Grundwasser“ und „Dränagen“**

Der N-Überschuss ist als stoffliche Ausgangsgröße ein essentielles Eingangsdatum bei der Berechnung der Stickstoff-Einträge von landwirtschaftlichen Flächen über Grundwasser und Dränagen. Da der Eintragungspfad Grundwasser den Haupteintragungspfad hinsichtlich der Stickstoff-Einträge darstellt und der Eintragungspfad Dränagen regional eine große Rolle spielen kann, soll die Auswirkung von Maßnahmen zur Reduktion des N-Überschusses ermittelt werden. Dies geschieht am Beispiel des Eintragungspfades Dränagen. Prinzipiell haben Maßnahmen mit Bezug zum N-Überschuss neben dem Eintragungspfad Dränagen natürlich auch eine bedeutende Wirkung auf den Eintragungspfad Grundwasser. Aufgrund der z.T. langen Aufenthaltszeit des Grundwassers wirken sie sich jedoch teilweise zeitverzögert aus.

Die Maßnahmen, deren Reduktionspotenzial auf Stickstoffeinträge untersucht wurde, sind: „Erhöhung des Flächenanteils Ökolandbau auf 10 bzw. 20 % der landwirtschaftlichen Flächen“ (Abschnitt 4.2.3.1) und „Optimierung Düngungsmanagement“ (Abschnitt 4.2.3.2).

Eine ausführliche Beschreibung der Vorgehensweise zur Aufbereitung und Ableitung der verwendeten Daten für die Ermittlung der resultierenden N-Überschüsse nach Umsetzung von landwirtschaftlichen Maßnahmen ist im Anhang 10.7 zu finden. Dort werden auch die Ergebnisse ausführlich betrachtet. Einzelheiten zu der Methodik zur Berechnung des N-Flächenbilanzüberschusses sind in Bach et al. (2014) zu finden.

#### **4.2.3.1 Erhöhung des Flächenanteils Ökolandbau auf 10 % bzw. 20 % der landwirtschaftlichen Flächen**

Der Anteil landwirtschaftlich genutzter Flächen, die ökologisch bewirtschaftet werden, betrug im Jahr 2010 5,9 % (StaBu 2011b).

Bei der N-Überschuss-Bilanzierung werden die Anbauflächen und die Viehbestände innerhalb einer territorialen Bilanzeinheit (Kreise und kreisfreie Städte) wie ein einziger, großer Landwirtschaftsbetrieb betrachtet, der die gesamte landwirtschaftliche Fläche (LF) der regionalen Einheit bewirtschaftet. Dieser Ansatz heißt „Regionshof“. Für die Abbildung von Maßnahmen wird dieser Regionshof aufgeteilt in einen konventionell bzw. ökologisch wirtschaftenden Anteil. Für beide Teile werden anschließend N-Flächenbilanzen berechnet, wobei die N-Bilanzierung für den Öko-Landbau entsprechend den Anbau Richtlinien für ökologische Landwirtschaft zu modifizieren ist.

Durch Erhöhung des Anteils des Ökolandbaus wird eine Verringerung des Stickstoffüberschusses und somit eine Verringerung der Einträge über Dränagen erwartet. Für die Maßnahmen 10 % bzw. 20 % Öko-LF wird der ökologisch bewirtschaftete Flächenanteil und Viehbestand in einer regionalen Einheit entsprechend ausgedehnt auf Kosten der konventionellen Landwirtschaft. Anschließend werden erneut die N-Überschüsse für beide Teile berechnet und flächengewichtet gemittelt. Der Unterschied des N-Überschusses zwischen konventionellen und ökologisch wirtschaftenden Betrieben hängt stark von der Betriebsform (Marktfrucht, Milchvieh, Veredelung, Gemischtbetrieb) ab.

Relevante Änderungen in Hinblick auf die Einträge über Dränagen sind in den AU zu erwarten, deren Anteil am Ökolandbau derzeit noch vergleichsweise gering ist und in denen der Eintrag über Dränagen von Relevanz ist.

#### **4.2.3.2 Optimierung Düngungsmanagement**

Auch bei der Maßnahme Optimierung Düngungsmanagement wird der N-Überschuss nach dem Ansatz „Regionshof“ ermittelt. Die Maßnahme bildet die hypothetische Situation ab, dass alle Landwirtschaftsbetriebe im Bundesgebiet hinsichtlich ihres Düngungsmanagements nach

„best practice“ wirtschaften, d.h. sie reduzieren ihren N-Überschuss auf denjenigen Wert, der vom oberen Viertel (den besten 25 %) der Betriebe der gleichen Betriebsform (Marktfrucht, Milchvieh, Schweinemast, Geflügelmast, Gemischt) erreicht wird (d.h. Referenzwert für „best practice“). Durch welche Managementmaßnahmen im Einzelnen (u.a. Reduzierung N-Mineraldüngung, Zwischenfruchtanbau, bessere N-Bedarfsplanung, Precision Farming, Einsatz Nitrifikationshemmer usw.) ein Betrieb diese Reduzierung erreicht, hängt von seinen individuellen Rahmenbedingungen ab und wird im Rahmen der N-Bilanzierung nicht weiter spezifiziert. Für die Maßnahme Optimierung N-Management wird die N-Düngerzufuhr zur konventionell bewirtschafteten landwirtschaftlichen Fläche vermindert.

Hier sind die größten Änderungen in jenen Regionen zu erwarten, die einen deutlichen N-Überschuss aufweisen, d.h. besonders im Nordwesten und Süden Deutschlands (vgl. hierzu Abbildung 12), aber auch in einzelnen AU, in denen der N-Überschuss vom Referenzwert für die gleiche Betriebsform deutlich abweicht und der Eintrag über Dränagen von Relevanz ist.

## **5 Kostenkomponente zur Bewertung der Maßnahmen zur Stoffeintragsreduktion**

Das Modellwerkzeug MoRE erlaubt nach aktuellem Stand - neben den Möglichkeiten zur Stoffeintragsberechnung - die Wirkungsbetrachtung überregional bedeutsamer Maßnahmen zur Reduktion von Stoffeinträgen. In einem eigenständigen Kostenmodul wurde die Grundlage für eine ökonomische Bewertungskomponente geschaffen. Hierfür wurden mögliche Kostenberechnungsansätze und Kostendaten von ausgewählten Maßnahmen zur Stoffeintragsreduktion zusammengetragen und über Bezugsvariablen mit dem Ausmaß bzw. Umfang der Maßnahmenumsetzungen verknüpft.

Im Folgenden werden neben den für die ökonomische Maßnahmenbewertung notwendigen Grundlagen, erforderliche Kostendaten, Kostenfunktionen sowie deren Herleitung vorgestellt. In der Ergebnisdarstellung werden Kostenspannen für die ausgewählten Maßnahmen zur Stoffeintragsreduktion angegeben, die auf einer großräumigen Ebene ungünstige und günstige Rahmenbedingungen umfassen sollen. Auf kleinräumiger Ebene (bspw. AU-Ebene) müssen Maßnahmenwirkung und -kosten individuell betrachtet und diskutiert werden. Die Ergebnisse aus MoRE können hier nur Richtwerte geben.

Weitere Arbeiten in Bezug auf die Kostenkomponente sollten eine Erweiterung und Aktualisierung der Eingangsdaten ebenso umfassen wie eine stärker räumliche und zeitliche Differenzierung.

### **5.1 Hintergrund und Zielsetzung der ökonomischen Maßnahmenbewertung**

Als Grundlage für eine überregionale Planung soll für eine praxisorientierte Vorgehensempfehlung im Rahmen der modellbasierten Maßnahmenpriorisierung das Modellwerkzeug MoRE um eine ökonomische Bewertungskomponente erweitert werden, um so ein bundeseinheitliches Modell zur Ableitung und Bewertung überregional bedeutsamer Maßnahmen zu ermöglichen. Neben den Daten zur Wirkungsabschätzungen (s.o.) werden hierfür Kostendaten von Maßnahmen bereitgestellt.

Die Integration der ökonomischen Bewertungskomponente erlaubt eine Bewertung der Kosteneffizienz von Einzelmaßnahmen zur Reduktion von Stoffeinträgen und ermöglicht somit eine Priorisierung und sinnvolle Kombination von Einzelmaßnahmen.

### **5.2 Grundlagen der ökonomischen Maßnahmenbewertung**

Wie bereits durch Böhm et al. (April / 2002) dargestellt, ist bei der „Priorisierung unterschiedlicher Maßnahmen [...] die Minimierung der hierfür erforderlichen Kosten beziehungsweise die Maximierung der positiven Umweltwirkungen mit einem festgelegten Budget ein [...] wesentliches Element“. Hierfür kommen verschiedene Bewertungsverfahren in Betracht, zu denen die statische oder dynamische Kostenvergleichsrechnung (KVR), die Kosten-Nutzen-Analyse und die Kosten-Wirksamkeits-Analyse gehören. Die verschiedenen Verfahren unterscheiden sich deutlich in ihrer Vorgehensweise (Hein et al. 2015) und Anwendbarkeit.

Nachfolgend werden die wesentlichen Grundlagen der Kostenbetrachtungsverfahren dargestellt.

#### **5.2.1 Methoden zur ökonomischen Maßnahmenbewertung**

Zur ökonomischen Bewertung von Maßnahmen zur Reduktion von Stoffeinträgen im Bereich der Wasserwirtschaft können im Wesentlichen drei unterschiedliche Methoden verwendet

werden, die Kosten-Nutzen-Analyse, die Kosten-Wirksamkeits-Analyse und die KVR, die nachfolgend kurz beschrieben werden. Eine differenzierte Darstellung dieser Methoden findet sich bspw. bei Böhm et al. (April / 2002) und Hein et al. (2015).

Die Kosten-Nutzen-Analyse ist ein wirtschaftswissenschaftliches Instrument, bei der mögliche Handlungsoptionen den Anforderungen gegenübergestellt werden. Dies erfolgt über eine Gegenüberstellung sämtlicher monetär bewertbarer Wirkungen (Kosten und Nutzen) von Maßnahmen. Die Anwendung der Methode erfordert allerdings, dass die verschiedenen Dimensionen der Nutzen (u. a. soziale, ökologische und finanzielle Kosten bzw. Nutzen) über Geldbeträge dargestellt werden können. Die Monetarisierung der Nutzen<sup>5</sup> ist in der Praxis jedoch oftmals mit erheblichen Problemen behaftet, da auch immaterielle Größen (bspw. psychosoziale Folgen von Umweltbelastungen) in Geldeinheiten ausgedrückt werden müssen. Entsprechend ist bei einer Anwendung im Bereich des Gewässerschutzes mit großen Unsicherheiten bzgl. einer wenig belastbaren Aussagekraft der Ergebnisse zu rechnen (Siewert 2010), die mittels Sensitivitätsanalysen systematisch geprüft werden müssen.

Auch wenn die Kosten-Nutzen-Analyse ein theoretisch geschlossenes, umfassendes Konzept darstellt, bestehen in der Praxis zum Teil Operationalisierungsprobleme, so dass sie als Entscheidungskriterium für Fragestellungen bzgl. umfassender Umweltschutzmaßnahmen nur mit hohem Aufwand durchführbar ist.

Bei der Kosten-Wirksamkeits-Analyse können die mit der Monetarisierung von erreichbaren Umweltentlastungen verbundenen Probleme vermieden werden, indem sie über nichtmonetäre Einheiten, bspw. durch die Verwendung von physikalischen Bezugsgrößen, wie die Kosten-Wirksamkeitsrelationen „Euro pro Kilogramm reduzierter Schadstoff“, „Euro pro Volumen behandeltem Abwasser“ oder „Euro pro entwässerter Fläche“ dargestellt werden. Entsprechend wird das Bewertungsverfahren vor allem in den Ingenieurwissenschaften häufig zur Auswahl von Maßnahmen eingesetzt, bei denen definierte Umweltziele möglichst kosteneffizient erreicht werden sollen (Böhm et al. April / 2002).

Durch eine Normierung der Kosten-Wirksamkeits-Relation (bspw. Kosten pro kg Schadstoffreduktion) wird eine Vergleichbarkeit von verschiedenen Alternativen (bspw. Einzelmaßnahmen) ermöglicht.

Bei der Kostenvergleichsrechnung werden i.d.R. nur die (finanziellen) Kosten und Erlöse einer Maßnahme einbezogen. Nicht-monetäre Wirkungen verschiedener Maßnahmen werden als gleich vorausgesetzt bzw. nicht berücksichtigt. Entsprechend ergibt sich bei der Kostenvergleichsrechnung ein absoluter Zahlenwert als Ergebnis (bspw. die monetäre Zielgröße als Projektkostenbarwert oder Jahreskosten; Details s. Kapitel 5.2.2, Kostenbegriffe), während der Zahlenwert bei der Kosten-Nutzen-Analyse und bei der Kosten-Wirksamkeitsanalyse, wie oben dargestellt, relativ zu betrachten ist (Hein et al. 2015).

Zu unterscheiden ist bei der KVR die statische und die dynamische Variante. Zur monetären Bewertung von Investitionen wassertechnischer Anlagen mit einer hohen Langlebigkeit und einer entsprechend großen Nutzendauer, bietet sich auf diesem Gebiet die dynamische KVR an, die für diese Fälle bereits bestens erprobt ist. Die statische Variante wird hier nur in Ausnahmefällen als Vereinfachung angewandt (Hein et al. 2015).

---

<sup>5</sup> Belegung der Nutzen mit einem entsprechendem Geldwert

Zur Erreichung der Zielsetzung, der Integration einer ökonomischen Komponente in das Modell MoRE, erfolgt aufgrund der besseren Umsetzbarkeit und vorangehender Untersuchungen die ökonomische Bewertung von Maßnahmen zur Reduktion von Stoffeinträgen in die Gewässer auf Basis einer Kosten-Wirksamkeits-Analyse: Die Kosten werden hierbei entsprechend dem standardisierten Verfahren der KVR gemäß Flick et al. (2012) ermittelt. Die Ergebnisse der KVR können dann in Bezug zu den Maßnahmeneffekten gesetzt werden, die sich in MoRE bei Betrachtung von Eintragsreduktionen durch Maßnahmen aus der Differenz der IST-Zustände (ohne Maßnahmenwirkung) und der Einträge mit Maßnahmenwirkung ergeben. Im Ergebnis entspricht dies einer Kosten-Wirksamkeits-Analyse.

### 5.2.2 Kostenbegriffe

Da im alltäglichen Umgang verschiedene Begriffe gelegentlich „diffus“ oder unterschiedlich verwendet werden, erfolgt eine kurze Beschreibung der wesentlichen Kostenarten. Eine ausführliche Darstellung findet sich u.a. in Böhm et al. (April / 2002), Interwies et al. (2004) und Siewert (2010).

Bei der Ermittlung der Kosten von Maßnahmen ist zwischen direkten (betriebswirtschaftlichen) und den indirekten (volkswirtschaftlichen) Kosten zu unterscheiden.

Direkte Kosten stehen in unmittelbarem Zusammenhang mit der Planung, der Realisierung und der Durchführung einer Maßnahme und fallen sowohl als einmalige Ausgaben in Form von Investitionskosten als auch über die gesamte Laufzeit (Wirkungsdauer) einer Maßnahme in Form von laufenden Kosten an.

Zu den Investitionskosten gehören u.a. Planungs-, Informations- und Anschaffungskosten sowie Kosten für den Grunderwerb und Reinvestitionskosten.

Nach den Richtlinien der LAWA zur KVR, dokumentiert in Flick et al. (2012), werden die Investitionskosten differenziert nach:

- Kosten für Flächeninanspruchnahme,
- Kosten für Vorarbeiten,
- Bau- und Erschließungskosten und
- Reinvestitionskosten.

Zu den laufenden Kosten (o.a. Betriebskosten) gehören bspw. Arbeits-, Wartungs-, Material- und Messkosten. Nach Flick et al. (2012) wird eine Differenzierung der laufenden Kosten nach:

- Personalkosten,
- Sachkosten und
- Energiekosten

empfohlen.

Indirekte Kosten einer Maßnahme werden im volkswirtschaftlichen Kontext betrachtet. Laut Böhm et al. (April / 2002) und Interwies et al. (2004) werden sie im Allgemeinen nur in den Fällen, in denen sie das Ergebnis der Maßnahmenauswahl beeinflussen können, in einer gesonderten Betrachtung abgeschätzt. Im vorliegenden Vorhaben können beispielsweise die in den Maßnahmensteckbriefen angedeuteten Sekundäreffekte indirekte Kosten erzeugen. Eine detailliertere Betrachtung kann an dieser Stelle nicht erfolgen.

Da die verschiedenen Kostenpositionen für Maßnahmen in der Regel in verschiedenen Zeiträumen anfallen, muss für eine Vergleichbarkeit der Maßnahmenkosten eine Diskontierung (Abzinsung) <sup>6</sup> erfolgen. Hierfür werden im Bereich der Wasserwirtschaft im Rahmen der Kostenvergleichsrechnung vor allem zwei Ansätze verwendet: die Projektkostenbarwert-Methode und der Jahreskostenansatz.

Bei der Projektkostenbarwert-Methode werden die Betriebs- und Investitionskosten der gesamten Projektlaufzeit einer Maßnahme (Wirkungsdauer) auf die Gegenwart bezogen. Die in der Zukunft anfallenden Kosten werden über einen einheitlichen Zinssatz über eine Diskontierung berücksichtigt. Als Ergebnis erhält man einen Wert, der quasi alle Kosten einer Maßnahme enthält, unabhängig davon, wann diese anfallen.

Bei dem Jahreskostenansatz werden die anfallenden Gesamtkosten mit Hilfe der sogenannten Annuitätsmethode gleichmäßig auf die einzelnen Jahre der Projektlaufzeit (Nutzungsdauer einer Maßnahme) verteilt. Somit erhält man über die Laufzeit einer Maßnahme gleiche Jahresbeträge (Annuitäten). Anfangsinvestitionen werden hierbei über jährliche Abschreibungssätze berücksichtigt. Somit erhält man eine übersichtliche Darstellung der Kosten als Rechengröße, die einen unmittelbaren Vergleich zwischen verschiedenen Alternativen zulässt (Siewert 2010). Gleichzeitig ist zu berücksichtigen, dass die tatsächlichen, im Zeitablauf anfallenden Kosten hiervon abweichen.

Unabhängig von der Wahl des Verfahrens ist zu berücksichtigen, dass die getroffenen Annahmen (bspw. Zinssatz und Abschreibungszeitraum<sup>7</sup>) innerhalb des jeweiligen Kostenvergleichs einheitlich sind, aber von momentan existierenden Zinssätzen abweichen können.

Da in MoRE Ergebnisse wie Stoffeinträge jahresbezogen berechnet werden, werden die Maßnahmenkosten in Anlehnung an den Jahreskostenansatz umgesetzt. Die reinen Investitionskosten und die jährlichen Betriebskosten einer Maßnahme werden, sofern möglich, als Zwischenergebnisse dargestellt.

### 5.3 Eingrenzende Rahmenbedingungen

Die mit dem Ausbau und dem Betrieb von Anlagen zur Reduktion von Stoffeinträgen in die Gewässer verbundenen Kosten sind in der Praxis i.d.R. von einer Vielzahl von Einflussfaktoren abhängig. Die wesentlichen kostenbeeinflussenden Faktoren nach Siewert (2010) sind:

- Planungsgesichtspunkte
  - Grad und Größe der Maßnahmenumsetzung
  - Lebensdauer der Anlagenteile
  - Bevölkerungs- und Industriestruktur
- Abwasserbeschaffenheit
  - Menge und Zusammensetzung des zu behandelnden Abwassers
  - Schwankungen im Zulauf

---

<sup>6</sup> Die Diskontierung ermöglicht die Berechnung eines Barwertes aus zeitlich späteren Zahlungen, indem diese Zahlungen auf heute abgezinst werden.

<sup>7</sup> Zeitraum, innerhalb dessen eine Anlage voraussichtlich genutzt wird (geplante Laufzeit). Entsprechend wird die Abschreibungssumme auf die Perioden der geplanten Laufzeit verteilt.

- örtliche Randbedingungen
  - Platzverhältnisse
  - Baugrundverhältnisse
  - Misch-/Trennsystem
- Preise
  - Grunderwerb
  - Marktpreise
  - Zinsentwicklung
  - Arbeitskosten
  - konjunkturelle Entwicklung

Die Kosten können somit aufgrund der jeweiligen lokalen Faktoren innerhalb eines weiten Spektrums variieren. Aufgrund der Kostenspannen und aufgrund der Vielzahl möglicher technischer Umsetzungen muss bei der Kostenabschätzung daher auf vereinfachende Annahmen sowie auf Durchschnittswerte zurückgegriffen werden (Siewert 2010, Böhm et al. April / 2002).

#### **5.4 Vorgehen der Kostenbetrachtung zur Maßnahmenbewertung**

Wie in Kapitel 5.2.1 dargestellt, basiert die neuimplementierte MoRE-Kostenkomponente aufgrund einer praktikablen Umsetzbarkeit auf dem Vorgehen der für den Bereich der Wasserwirtschaft angepassten KVR entsprechend KVR-Richtlinie der LAWA (Flick et al. 2012). Diese berücksichtigt sowohl Investitions- und ggf. Reinvestitionskosten sowie laufende Kosten und wird allgemein im deutschsprachigen Raum als ökonomische Bewertungsmethode von Gewässerschutzmaßnahmen bzw. Maßnahmen zur Reduktion von Stoffeinträgen verwendet.

Die Darstellung der Kosten erfolgt im vorliegenden Vorhaben i.d.R. unabhängig vom erreichbaren Wirkungsgrad. Während die Zielgröße bezüglich Maßnahmenwirksamkeit oftmals die eliminierbare Fracht oder das maßnahmenbezogene Reinigungsziel ist und gleichzeitig eine Maßnahme möglicherweise zur Erfüllung mehrerer Ziele dient (bspw. Reduktion von mehr als einem Nährstoff oder gleichzeitiger Rückhalt zusätzlicher Schadstoffe), orientiert sich die Kostenermittlung zunächst an dem im Modell MoRE umgesetzten Maßnahmenumfang (bspw. Anzahl der betroffenen Einwohner, Menge der zusätzlich zu behandelnden Abwasserfracht oder die von einer Maßnahme betroffene Fläche). Durch die unabhängige Darstellung von Effizienz und Kosten wird zudem eine einfachere spätere Optimierung von Einzelpositionen in der Kostenberechnung ermöglicht.

Durch eine Verschneidung mit den Maßnahmeneffekten (durch die Maßnahmen eliminierbare Schadstofffracht), wird nachfolgend eine ökonomische Bewertung von Maßnahmen zur Reduktion von Stoffeinträgen in die Gewässer in Anlehnung an die Kosten-Wirksamkeitsanalyse ermöglicht.

Entsprechend Siewert (2010), der verschiedene Kostenberechnungsmethoden zur Bewertung kosteneffektiver Maßnahmen zur Reduktion von Nährstoffemissionen aus kommunalen Kläranlagen ausgewertet hat, bieten vor allem die Arbeiten von Bäumer (1998), Günthert und Reicherter (2001) und Böhm et al. (April / 2002) sowie die Zusammenstellung von Halbach (2003b/2010) eine gute Datengrundlage für eine Kostenberechnungen von Maßnahmen zur Reduktion Stoffeinträgen in die Gewässer. Weiterhin wurden Kostendaten aus der vorliegenden

Literatur (WATECO (2003), LAWA-UA Umweltökonomie (Nunes Correia und Kraemer 1997), UBA Handbücher wie bspw. Interwies et al. (2004), „Richtlinien für Zuwendungen zu wasserwirtschaftlichen Vorhaben“ (Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit 2013)) und aus vergleichbaren Projekten mit einbezogen.

Die Kostendaten, die der Literatur entnommen wurden, liegen z.T. zunächst nicht raum- und zeitbezogen vor. Durch die Verknüpfung mit raum- und zeitbezogene Variablen in MoRE wie bspw. behandeltes Abwasservolumen oder angeschlossenen Einwohner) ergeben sich jedoch raum- und zeitbezogene Maßnahmenkosten. In einem späteren Schritt der Kostenbetrachtung zur Bewertung von Maßnahmen zur Reduktion von Stoffeinträgen im Bereich der Wasserwirtschaft kann eine Regionalisierung und ein Zeitbezug über differenziertere raum- und zeitbezogene Kostendaten in das Modell integriert werden, sofern entsprechende Daten erhoben werden können.

Die in Kapitel 5.6 aufgeführten entsprechenden Eingangsdaten und Kostenfunktionen werden als neue Bilanzgrößen über das Kostenmodul „CM“ (engl. cost modul) in das Modell MoRE implementiert.

Die verwendeten Kostenfunktionen entsprechen im Wesentlichen der Jahreskostenfunktion von Flick et al. (2012). Hierbei werden die verschiedenen Einzelinvestitionskosten (in Gleichung 2 dargestellt als Maßnahmenbereich 1 und 2; bspw. Investitionskosten für eine Erweiterung der Kläranlagenkapazität und Kanalisationsneubau), multipliziert mit dem jeweiligen Annuitätsfaktor (jeweils abhängig von den Laufzeiten (Wirkungsdauer) der einzelnen Maßnahmenbereiche), und die jeweiligen laufenden Kosten für den Betrieb addiert. Bei Bedarf werden eingesparter Kosten durch nicht mehr erforderliche Maßnahmen hiervon abgezogen. Die Summe aus Annuitäten (Einzelinvestitionskosten multipliziert mit Annuitätsfaktor) und laufenden Kosten, abzüglich der eingesparten Kosten, wird mit dem Maßnahmenumfang multipliziert.

$$\begin{aligned}
 \text{Gleichung 2} \quad & \text{Jahreskosten der Maßnahme} \\
 & = \text{Maßnahmenumfang} \\
 & \cdot [\text{Investitionskosten Maßnahmenbereich 1} \\
 & \cdot \text{Annuitätsfaktor Maßnahmenbereich 1} \\
 & + \text{Investitionskosten Maßnahmenbereich 2} \\
 & \cdot \text{Annuitätsfaktor Maßnahmenbereich 2} \\
 & + \text{Betriebskosten Maßnahmenbereich 1} \\
 & + \text{Betriebskosten Maßnahmenbereich 2} - \text{eingesparte Kosten}]
 \end{aligned}$$

Der Annuitätsfaktor zur Übertragung der Investitionskosten auf eine gleichförmige Kostenreihen, wie den Jahreskosten, berechnet sich in Abhängigkeit von Laufzeit und Zinssatz entsprechend Flick et al. (2012) und der allgemeinüblichen Konvention wie in Gleichung 3 dargestellt, mit einem Standardzinssatz von 3 % und den jeweils dargestellten Nutzungsdauern.

$$\begin{aligned}
 \text{Gleichung 3} \quad & \text{Annuitätsfaktor Maßnahmenbereich X} \\
 & = \text{Zinsfaktor} \cdot \frac{(1 + \text{Zinsfaktor})^{\text{Nutzungsdauer}}}{(1 + \text{Zinsfaktor})^{\text{Nutzungsdauer}} - 1}
 \end{aligned}$$

Insgesamt können durch das Vorgehen die von Böhm et al. (April / 2002) zusammengestellten Vorgaben zur Abschätzung der Kosten berücksichtigt werden:

- „Die Kosten beinhalten sowohl die Investitionskosten als auch laufende Kosten für Vorleistungen, Betrieb, Wartung etc.
- Wenn möglich sollten die Kosten für Planung, Vorbereitung und Kodifizierung der Maßnahme (Transaktionskosten) einbezogen werden, nicht jedoch die Folgekosten bei Nicht-Akteuren [bspw. der Bevölkerung].
- Es interessiert der Ressourcenverzehr aus Systemperspektive, nicht die einzelbetriebliche Sichtweise; entsprechend dürfen Subventionen nicht von den Kosten abgezogen, andererseits Steuern nicht hinzugezählt werden.
- Kosten abstrahieren vom Einzelfall, sie sind für standardisierte Typen von Rahmenbedingungen zu ermitteln (Durchschnittsfall).
- Zur zeitlichen Vergleichbarkeit der Kosten wird als Kostenrechnungsverfahren die Annuitätsmethode angewandt. Als Kalkulationszinsfuß wird [entsprechend der üblichen Konvention] eine Realverzinsung von 3 % angesetzt, die Festlegung der Lebensdauer der Anlagen geschieht in Anlehnung an die technische Lebensdauer [...].
- Die Kosten der Maßnahme werden jeweils zu 100 % dem betrachteten Problem [der betrachteten Maßnahme] zugeordnet.“

## 5.5 Vorgehen der Kostenbetrachtung zur Maßnahmenbewertung

Bei der Kostenbetrachtung werden die folgenden, im Rahmen des Vorhabens ausgewählten Maßnahmen mit überregionaler Wirkung bzgl. Stoffeintragsreduktion berücksichtigt. Hierbei wurden unterschiedliche Arten von Bezugsgrößen verwendet:

1. Maßnahmen mit Bezug zum Eintragspfad kommunale Kläranlagen:
  - a) Erhöhung des Anschlussgrades der Bevölkerung an die bestehenden kommunalen Kläranlagen
  - b) Optimierung der Betriebsweise der bestehenden kommunalen Kläranlagen in Bezug auf Stickstoff bzw. Phosphorelimination (unterschiedliche Umsetzungsoptionen möglich z.B. Verbesserungen in der Dosierung, der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik sowie Maschinenteknik; Simultanfällung, Flockungsfiltration, Membranfiltration zur weitergehenden Phosphor-Elimination)
2. Maßnahmen mit Bezug zum Eintragspfad Kanalisationssysteme
  - c) Erhöhung klärtechnischer Wirksamkeit bestehender Anlagen im Trennsystem und Mischsystem durch:
    - i. Nachrüstung bestehender Regenüberlaufbecken mit Schrägklärern (aufgrund nicht ausreichender Kostendaten konnte eine ökonomische Betrachtung dieser Teilmaßnahme im Rahmen des vorliegenden Vorhabens nicht erfolgen)
    - ii. Nachschaltung von Retentionsbodenfiltern im Mischsystem – hierbei wird unterschieden nach ländlichem und städtischem Raum
  - d) Reduktion der versiegelten Flächen im ländlichen und städtischen Raum (unterschiedliche Umsetzungsoptionen möglich z.B. Rückbau, Flächenumbau usw.)

- e) Neubau von Speichervolumen (Regenüberlaufbecken)

## **5.6 Darstellung der Berechnungsansätze des Kostenmoduls**

Im Folgenden werden für die in Kapitel 5.5 dargestellten Maßnahmen die kostenrelevanten Eingangsdaten mit den zu berücksichtigenden Randbedingungen für die Implementierung des Kostenmoduls in MoRE aufgeführt. Für die Maßnahmen „Optimierung..“, „Nachschaltung von Retentionsbodenfilter..“ und „Reduktion der versiegelten Fläche..“ wurden die Kostendaten für die zwei verschiedenen Varianten (günstige und ungünstige Randbedingungen) in MoRE hinterlegt. Aufgrund einer einheitlichen Darstellung der Kostenberechnung in MoRE erfolgt die Berechnung der Maßnahmenkosten aktuell über eine Basisvariante. Bei Vorliegen von Kostendaten für verschiedene Varianten werden die Kostendaten für günstige Randbedingungen verwendet. Bei Bedarf können die Kostendaten für die weitere Variante (ungünstige Randbedingungen) verwendet werden. Je nach betrachteter Maßnahme ergeben sich zusätzlich unterschiedliche Kostenfunktionen sowie die dazugehörigen Bezugsvariablen im Modellsystem MoRE.

### **5.6.1 Berechnungsansätze des Kostenmoduls zur Bewertung der Maßnahmen mit Bezug zum Eintragspfad kommunaler Kläranlagen**

#### **5.6.1.1 Berechnungsansätze des Kostenmoduls zur Bewertung der Maßnahme Erhöhung des Anschlussgrades der Bevölkerung an die kommunalen Kläranlagen**

Die Maßnahme „Erhöhung des Anschlussgrades der Bevölkerung an die bestehenden kommunalen Kläranlagen“ zielt auf die Reduktion der an die öffentliche Kanalisation angeschlossenen Einwohner, die nicht an zentrale Abwasserbehandlungsanlagen angeschlossen sind. An Kleinkläranlagen angeschlossene Einwohner bleiben in diesem Zusammenhang unberücksichtigt. Eine ausführliche Beschreibung dieser Maßnahme befindet sich im Maßnahmensteckbrief.

Unter der Annahme, dass für die anzuschließenden Einwohner neue Kapazitäten auf der Kläranlage geschaffen und zusätzliche Kanalstrecken gebaut werden müssen, können sich Mehrkosten durch einen entsprechenden Ausbau sowie durch zusätzliche Betriebskosten ergeben. Im Einzelnen:

- Zubau und Betrieb von Kanalisation
- Zubau und Betrieb bei der kommunalen Kläranlage

Die Gesamtkosten der Umsetzung der Maßnahme können als Jahreskosten angegeben werden, die sowohl die Investitionskosten wie auch laufende Kosten enthalten. Sie sind abhängig von:

- dem Umsetzungsgrad (Anzahl der zusätzlich angeschlossenen Einwohner),
- den vorhandenen Kläranlagenkapazitäten sowie
- ggf. zusätzlich notwendigen Kanalstrecken.

Da das Potenzial an zusätzlichen Aufbereitungskapazitäten je nach Anlagenstandort und -ausführung sehr unterschiedlich ausfallen kann und somit nicht sicher ist, in welchem Umfang ein tatsächlicher Ausbau stattfinden muss, werden als Maximalkosten die Investitionskosten für einen Neubau der entsprechenden zusätzlich benötigten Kapazitäten angesetzt. Somit ist diese Kostenposition tendenziell überschätzt. In einem späteren Schritt kann der Ansatz über einen Abgleich der jeweiligen Ausbaugröße mit der dazugehörigen Auslastung verfeinert werden.

Inwieweit bereits vorhandene Kläranlagenbestandteile für eine Kapazitätserweiterung genutzt werden kann, muss jedoch immer individuell geprüft werden.

Für die Längen der zusätzlich benötigten Kanalstrecken liegen ebenfalls keine ausreichenden Daten vor. Daher werden hier allgemeine Kanalisationskosten pro zusätzlich angeschlossenen Einwohner angesetzt. Die tatsächlichen Kosten können aufgrund lokaler Randbedingungen (Entfernung bis zum nächsten Kanal bzw. bis zur nächsten Kläranlage) hiervon abweichen.

In beiden Fällen muss für eine Problembetrachtung und eine konkretere Planung auf regionaler Ebene eine Einzelprüfung mit realen Daten vor Ort durchgeführt werden.

Als Bezugsvariable für die Kostenbetrachtung in MoRE wird der Anteil der Einwohner verwendet, der bislang an die Kanalisation angeschlossen war, nicht aber an eine Kläranlage, und der über die Maßnahme an die kommunale Kläranlage angeschlossen werden soll (US\_nss\_INH\_toconwwtp\_large + US\_nss\_INH\_toconwwtp\_small).

### Kostendaten Kläranlagen

Für die aggregierte Abschätzung von Investitions- und Betriebskosten für Maßnahmen zur Kapazitätserweiterung auf Kläranlagen werden generelle Kostendaten zu Grunde gelegt, die jeweils von der individuellen Ausbaugröße der einzelnen Kläranlage abhängig sind.

Für Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von 50-15.000 EW liegen für die Investitionskosten Kostenrichtwerten des Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (2013) vor, die für den Neubau und für anteilige Kapazitätserweiterungen von Kläranlagen die gesamten baulichen Aufwendungen nach dem Stand der Technik erfassen. Da die Werte des Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (2013) alle Reinigungsverfahren umfassen, ergaben sich im Vergleich zu Günthert und Reicherter (2001), die lediglich Anlagen nach dem Belebungsverfahren betrachtet hatten, insbesondere bei Anlagen größer 5.000-15.000 EW fast identische Werte, so dass im Folgenden für die Investitionskosten von Kläranlagen die Kostenrichtwerte des Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (2013) berücksichtigt werden.

Die Kostenrichtwerte des Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (2013) für Investitionskosten stellen Nettokosten in €/EW dar, zu denen die Abschreibungen hinzuzurechnen sind und werden von dem Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (2013) in Abhängigkeit von der Ausbaugröße  $x$  (in EW) wie in Gleichung 4 angegeben. Als Maximalwert werden für sehr kleine Kläranlagen von rund 50 EW 1.380 €/EW genannt.

Gleichung 4

$$KRW_{KA_{50-15.000}} = 3.661 \cdot x^{-0,25}$$

mit

- $KRW_{KA}$  = Kostenrichtwert des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Gesundheit für Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von 50-15.000 EW in €/EW
- $x$  = Ausbaugröße in EW

Für Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von 20.000-100.000 EW mit Faulung werden bei Halbach (2003b/2010) spezifische Investitionskosten (IK) zwischen 255-430 €/EW mit der in Gleichung 5 dargestellten Kostenfunktion angegeben. Damit ergeben sich Investitionskosten, die auf einem etwas höherem Kostenniveau liegen, als die Werte des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Gesundheit (2013).

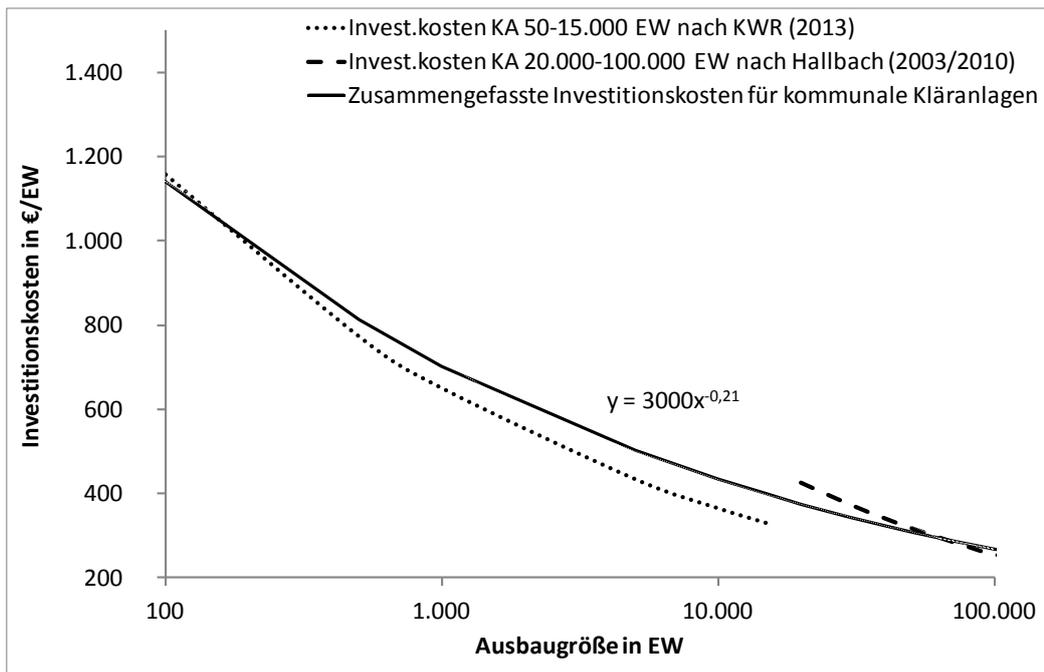
Gleichung 5

$$IK_{KA_{20.000-100.000}} = 9930 \cdot x^{-0,318}$$

mit

- $IK_{KA}$  = Investitionskosten pro angeschlossenem Einwohnerwert für Kläranlagen in €/EW
- $x$  = Ausbaugröße in EW

Abbildung 51: Einwohnerbezogene Investitionskosten für kommunale Kläranlagen zwischen 50 und 100.000 Einwohnerwerten (EW) in Abhängigkeit von der Ausbaugröße



Die Betriebskosten hängen stark von dem jeweils eingesetzten Anlagentyp sowie von der jeweiligen Anlagengröße ab. Für eine Näherung wird im Folgenden der Energieverbrauch der verschiedenen Anlagentypen herangezogen. Laut Halbach (2003/2010) macht der Energieverbrauch bei Anlagen mit einer Ausbaugröße von 5.000 EW ca. 18 % der gesamten Betriebskosten aus, und 10 % bei Anlagen mit einer Ausbaugröße von 25.000 EW.

Der spezifische Jahresstromverbrauch wurde im 40. Leistungsvergleich der kommunalen Kläranlagen in Baden-Württemberg (Schwentner 2013) für 954 Kläranlagen in Baden-Württemberg erfasst. Im Mittel ergaben sich 34 kWh/EW/a, was dem mittleren Stromverbrauch des DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall)-Leistungsvergleichs kommunaler Kläranlagen 2011 (DWA 2011) entspricht. Bei kleineren Kläranlagen (Größenklasse (GK)1 und GK2) ergeben sich deutlich höhere spezifische Energieverbräuche (Tabelle 37).

Tabelle 37: Größenklassen (GK) spezifischer Stromverbrauch kommunaler Kläranlagen nach DWA (2011)

| Dimension  | spez. Stromverbrauch [kWh/EW/a] |
|------------|---------------------------------|
| GK 1       | 54,1                            |
| GK 2       | 41,5                            |
| GK 3       | 38,1                            |
| GK 4       | 34,1                            |
| GK 5       | 32,9                            |
| im Mittel: | 34,0                            |

Die DWA (2012) differenziert den Energiebedarf zusätzlich nach verschiedenen Reinigungsverfahren:

- Belebungsverfahren mit anaerober Schlammstabilisierung (BF),
- Belebungsverfahren mit aerober Schlammstabilisierung (BS),
- Belebungsanlage mit Aufstaubetrieb (SBR),
- Tropfkörperanlagen (TK),
- Abwasserteiche unbelüftet (A),
- Abwasserteiche belüftet (AB),
- Pflanzenkläranlagen (PF).

Insbesondere bei Kläranlagen der GK 1 ergibt sich aufgrund der unterschiedlichen eingesetzten Reinigungsverfahren eine große Spannweite von 19-93 kWh/(EW\*a) bei dem anfallenden Energieverbrauch.

Da die Angaben zum Reinigungsverfahren nicht anlagenspezifisch vorliegen, wird der jeweilige Energieverbrauch pro GK über die in DWA (2012) dargestellten Anlagenzahlen gemittelt. Legt man einen Energiepreis zwischen 0,1-0,25 €/kWh (BMWi - Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie 2013) an, ergeben sich Energiekosten zwischen 3,2 und 14,1 €/EW/a und die in Gleichung 6 sowie Abbildung 52 dargestellte Näherungsfunktion.

Gleichung 6

$$\text{Energiekosten in } \text{€}/(\text{EW} * \text{a}) = 19,5 \cdot x^{-0,13}$$

mit

- x = Ausbaugröße in EW

Unter der Annahme, dass die Energiekosten rund 15 %<sup>8</sup> der gesamten Betriebskosten einer Kläranlage ausmachen (Hartwig et al. 2010), ergeben sich Betriebskosten zwischen 21-95 €/EW/a<sup>9</sup>. Nach Halbach (2003b/2010) sinken die Gesamtbetriebskosten von 50 €/EW/a bei Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von 1.000 EW auf rund 40 €/EW/a bei Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von 5.000 EW und auf 36,5 €/EW/a bei Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von 10.000 EW.

<sup>8</sup> vgl. Halbach 2003b/2010: 18 % bei EW 5.000 und 10 % bei EW 25.000

<sup>9</sup> anders als in DWA A 216 werden die Energiekosten aktuell vereinfachend auf die Ausbaugröße und nicht auf die mittlere Auslastung bezogen. Da die Ausbaugröße die mittlere Auslastung i.d.R. überschreitet, entsteht hierdurch eine Überschätzung der Betriebskosten.

Zur Plausibilisierung der ermittelten Kostenfunktionen wurden diese mit einer Erhebung von Rapp-Fiegle et al. (2014) verglichen, die flächendeckend für Bayern Projektkosten der öffentlichen Abwasserbeseitigung für den Zeitraum 2001-2011 zusammen stellten (s. Abbildung 53). Diese Erhebung stellt „eine gute Orientierung für die Kosten der Abwasserbeseitigung in anderen Bundesländern dar“ (Rapp-Fiegle et al. 2014).

Die Gesamtkosten verschiedener Kläranlagentypen/-ausbaugrößen wurden von Rapp-Fiegle et al. (2014) mit vergangenen Studien verglichen. Hierbei zeigte sich, dass die Daten von Rapp-Fiegle et al. (2014), basierend auf Daten zu Anlagen mit einer Ausbaugröße von 1.000-70.000 EW, für Anlagen bis 500 EW über den anderen Erhebungen liegen. Bei Ausbaugrößen über 5.000 EW liegen die ermittelten Daten unterhalb von Studien, die vor 1995 durchgeführt wurden, allerdings mit einem vergleichbaren Verlauf zu Günthert und Reicherter (2001), die einen kleineren Bereich der Ausbaugröße betrachteten.

Grossmann et al. (2011) verwendeten für die Investitionskosten von Kläranlagen pauschal einen Wert von 480 €/EW und für die Betriebskosten einheitlich 49,5 €/EW/a.

Die ermittelten Kostenfunktionen liegen somit in den Größenordnungen der aufgeführten Vergleichswerte.

Abbildung 52: Einwohnerwertbezogene Energiekosten in Abhängigkeit von der Ausbaugröße entsprechend des spezifischen Stromverbrauchs von kommunalen Kläranlagen nach (DWA 2012) und geschätzte einwohnerwertbezogene Gesamtbetriebskosten

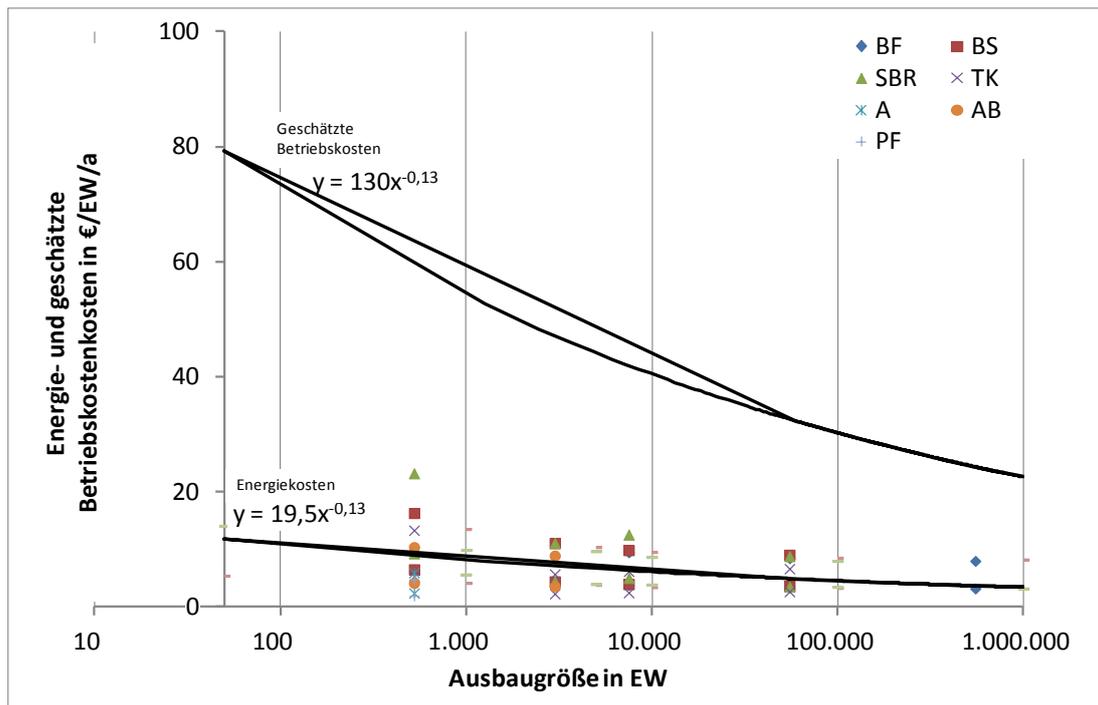
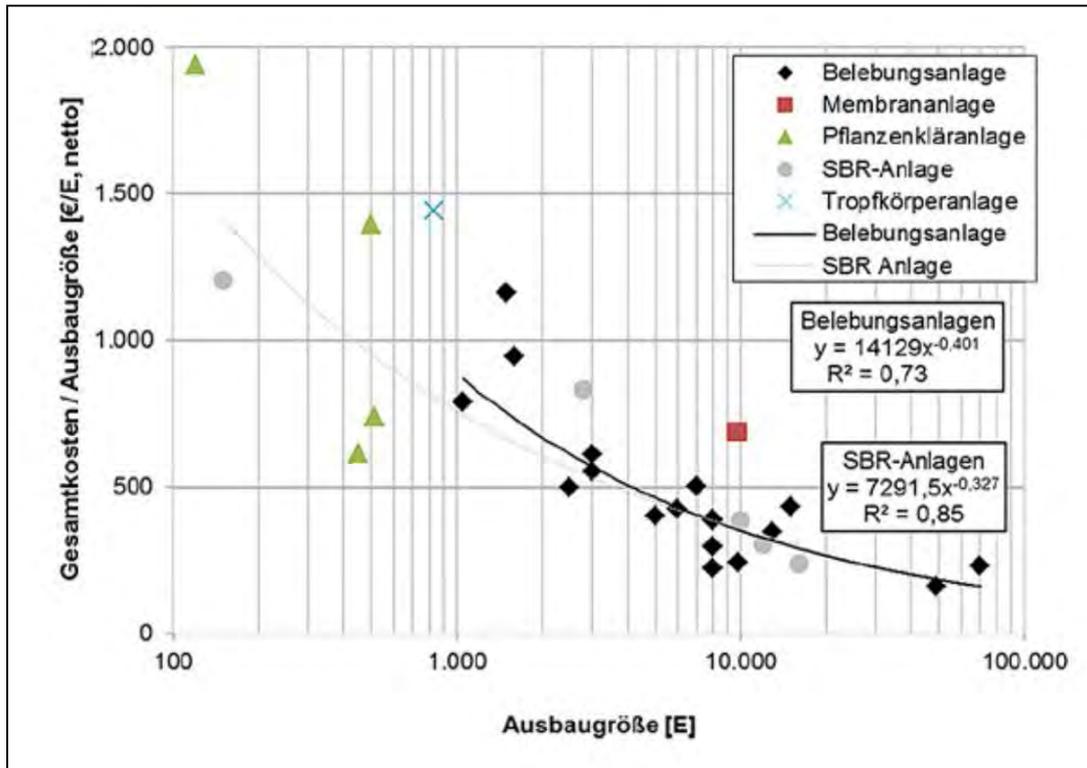


Abbildung 53: Gesamtkosten pro Ausbaugröße in €/Einwohnerwert (hier E) für verschiedene Kläranlagentypen, Stand 2013. Quelle: Rapp-Fiegle et al. (2014)



### Kostendaten Kanal

Die Kosten für den Ausbau der Kanalisation variieren zum einen entsprechend der verbauten Durchmesser und der verbauten Strecke, angegeben in laufenden Metern (lfm), zum anderen entsprechend des baulichen Aufwands, der wiederum u.a. vom Untergrund abhängig ist und vom verwendeten Material. Somit lassen sich nur sehr stark verallgemeinert generelle einwohnerbezogene Werte ermitteln.

Der Aufwand für den Gesamtneubau eines Entwässerungsnetzes in Abhängigkeit von der Einwohnerzahl kann näherungsweise für kompakte Siedlungsstrukturen Halbach (2003b/2010) mit 2.320 €/ Einwohner entnommen werden.

Bei dem Vergleich der Werte des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Gesundheit (2013) mit Daten nach Günthert und Reicherter (2001) ergaben sich für Durchmesser bis 1.000 mm nahezu identische Werte. Die Kosten laut Bayerischem Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (2013) variieren entsprechend der verbauten Durchmesser zwischen 180 €/lfm für Durchmesser kleiner 200 mm bis 685 €/lfm für Durchmesser größer 1.200 mm. Für die Erstellung einer Ortsentwässerung, die das Abwasser von den Grundstücksentwässerungsanlagen aufnehmen und einer Entsorgung nach dem Stand der Technik zuführen, werden von dem Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (2013) in Abhängigkeit von der spezifischen Kanallänge  $l$  (in m je entsorgtem Einwohner) unabhängig von Entwässerungsverfahren folgender Kostenrichtwert (Gleichung 7) in €/Einwohner, bei maximal 3.070 €/Einwohner, angesetzt.

Gleichung 7 
$$CM\_WWTP\_C\_inv\_50yr\_SEW\_CONRATE = CM\_WWTP\_FCT\_C\_inv\_inh\_SEW\_CONRATE \cdot (US\_nss\_INH\_toconwwtp\_large + US\_nss\_INH\_toconwwtp\_small)^{(CM\_WWTP\_EXP\_C\_inv\_inh\_SEW\_CONRATE)}$$

mit

- $CM\_WWTP\_C\_inv\_50yr\_SEW\_CONRATE$  = Investitionskosten pro zusätzlich angeschlossenen Einwohner für zusätzlichen Kanalausbau im Rahmen des MoRE-Kostenmoduls für die Maßnahme „Erhöhung Anschlussgrad ..“, Nutzungsdauer 50 Jahre.
- $US\_nss\_INH\_toconwwtp$  = Einwohner, die bislang an die Kanalisation angeschlossen waren, nicht aber an eine Kläranlage, und die über die Maßnahme „Erhöhung Anschlussgrad ..“ an die kommunale Kläranlage angeschlossen werden sollen (Summe von  $US\_nss\_INH\_toconwwtp\_large$  und  $US\_nss\_INH\_toconwwtp\_small$ )
- $CM\_WWTP\_FCT\_C\_inv\_inh\_SEW\_CONRATE$  = Skalierungsfaktor für Einwohnerbezogene Investitionskosten Neubau Kanalisation
- $CM\_WWTP\_EXP\_C\_inv\_inh\_SEW\_CONRATE$  = Skalierungsfaktor (Exponent) für Einwohnerbezogene Investitionskosten Neubau Kanalisation

Beim Anschluss von 8 bis 11 Einwohnern liegen die spezifischen Kosten somit bei 2.422 bis 3.047 €/Einwohner und entsprechen somit in etwa der Größenordnung des Näherungswertes von Halbach (2003b/2010). Ein Anschluss von weniger als 8 Einwohnern wird aus wirtschaftlichen Gründen im Allgemeinen vermutlich nicht zum Tragen kommen.

Die Betriebskosten sinken von 45 €/Einwohner/a bei 100 Einwohnern über 39 €/Einwohner/a bei 1.000 Einwohnern auf 33 €/Einwohner/a bei 10.000 Einwohnern und 27 €/Einwohner/a bei 100.000 Einwohnern.

Als Näherung für die Betriebskosten für den Kanal wird die entsprechende in Gleichung 8 dargestellte Kostenfunktion verwendet.

Gleichung 8 
$$CM\_WWTP\_C\_op\_SEW\_CONRATE = (US\_nss\_INH\_toconwwtp\_large + US\_nss\_INH\_toconwwtp\_small) \cdot CM\_WWTP\_FCT\_C\_op\_inh\_SEW\_CONRATE \cdot (US\_nss\_INH\_toconwwtp\_large + US\_nss\_INH\_toconwwtp\_small)^{(CM\_WWTP\_EXP\_C\_op\_inh\_SEW\_CONRATE)}$$

mit

- $CM\_WWTP\_C\_op\_SEW\_CONRATE$  = Betriebskosten pro zusätzlich angeschlossenen Einwohner für zusätzlichen Kanalausbau im Rahmen des MoRE-Kostenmoduls für die Maßnahme „Erhöhung Anschlussgrad ..“
- $CM\_WWTP\_FCT\_C\_op\_inh\_SEW\_CONRATE$  = Faktor zur Berechnung der Betriebskosten für zusätzlichen Kanalausbau im Rahmen des MoRE-Kostenmoduls für die Maßnahme „Erhöhung Anschlussgrad ..“
- $CM\_WWTP\_EXP\_C\_op\_inh\_SEW\_CONRATE$  = Exponent zur Berechnung der Betriebskosten für zusätzlichen Kanalausbau im Rahmen des MoRE-Kostenmoduls für die Maßnahme „Erhöhung Anschlussgrad ..“

Ein Kostenvergleich aktueller Daten von Rapp-Fiegle et al. (2014) mit Günthert und Reicherter (2001) und Halbach (2003b/2010) ergab vergleichbare Kostenkurven (durchgeführt von Rapp-Fiegle et al. (2014)).

### Vereinfachte Umsetzung

Auch wenn die Kosten in Abhängigkeit zur Ausbaugröße berechnet werden können (mit Bezug auf BI\_INH\_conWWTP), erfolgt die Berechnung der Kosten zunächst - entsprechend der Berechnung der Maßnahmenwirkung (s.o.) - über mittlere Kostenwerte, die sich zum einen auf Kläranlagen kleiner 2.000 EW beziehen, zum anderen auf Kläranlagen größer 2.000 EW.

Unter der Annahme, dass für die anzuschließenden Einwohner neue Kapazitäten auf der Kläranlage geschaffen werden müssen, ergeben sich in Abhängigkeit von der mittleren Ausbaugröße der Kläranlagen eines AU bei Kläranlagen < 2000 EW Investitionskosten zwischen 610-1.320 € pro neu angeschlossenem Einwohner. Bei Anlagen ≥ 2000 EW ergeben sich Investitionskosten von 265-610 € pro neu angeschlossenem Einwohner.

Die zusätzlichen jährlichen Betriebskosten liegen bei Anlagen < 2000 EW zwischen 50 und 78 € pro neu angeschlossenem Einwohner, bei Anlagen ≥ 2000 EW zwischen 20 und 50 € pro neu angeschlossenem Einwohner.

Somit ergeben sich für die Investitionskosten zur Erweiterung der Kläranlagenkapazitäten die vereinfachte Gleichung 9.

$$\text{Gleichung 9} \quad \text{CM\_WWTP\_C\_inv\_20yr\_CONRATE} = \text{US\_nss\_INH\_toconwwtp\_large} \cdot \text{CM\_WWTP\_FCT\_C\_inv\_inh\_CONRATE\_large} + \text{US\_nss\_INH\_toconwwtp\_small} \cdot \text{CM\_WWTP\_FCT\_C\_inv\_inh\_CONRATE\_small}$$

mit

- CM\_WWTP\_C\_inv\_20yr\_CONRATE = Investitionskosten pro zusätzlich angeschlossenem Einwohner für zusätzliche Kläranlagenkapazitäten im Rahmen des MoRE-Kostenmoduls für die Maßnahme „Erhöhung Anschlussgrad ..“ bei einer Nutzungsdauer von 20 Jahre
- CM\_WWTP\_FCT\_C\_inv\_inh\_CONRATE\_large = Einwohnerbezogene Investitionskosten für die Kapazitätserweiterung für Kläranlagen ≥ 2.000 EW: 438 €/Einwohner
- CM\_WWTP\_FCT\_C\_inv\_inh\_CONRATE\_small = Einwohnerbezogene Investitionskosten für die Kapazitätserweiterung für Kläranlagen < 2.000 EW: 965 €/Einwohner

Für die Betriebskosten ergibt sich die vereinfachte Gleichung 10.

$$\text{Gleichung 10} \quad \text{CM\_WWTP\_C\_op\_CONRATE} = \text{US\_nss\_INH\_toconwwtp\_large} \cdot \text{CM\_WWTP\_FCT\_C\_op\_inh\_CONRATE\_large} + \text{US\_nss\_INH\_toconwwtp\_small} \cdot \text{CM\_WWTP\_FCT\_C\_op\_inh\_CONRATE\_small}$$

mit

- CM\_WWTP\_C\_op\_CONRATE = Betriebskosten pro zusätzlich angeschlossenem Einwohner für zusätzliche Kläranlagenkapazitäten im Rahmen des MoRE-Kostenmoduls für die Maßnahme „Erhöhung Anschlussgrad ..“

- CM\_WWTP\_FCT\_C\_op\_inh\_CONRATE\_large = Einwohnerbezogene Betriebskosten für die Kapazitätserweiterung für Kläranlagen  $\geq 2.000$  EW: 35 €/Einwohner/a
- CM\_WWTP\_FCT\_C\_op\_inh\_CONRATE\_small = Einwohnerbezogene Betriebskosten für die Kapazitätserweiterung für Kläranlagen  $< 2.000$  EW: 64 €/Einwohner

### **Zusammenfassung der Kostenparameter und Kostenfunktionen für die Maßnahme „Erhöhung des Anschlussgrades“**

Zur Ermittlung der Jahreskosten der Maßnahme „Erhöhung des Anschlussgrades der Bevölkerung an die kommunalen Kläranlagen“ ergeben sich für die Kostenbetrachtung die nachfolgenden Parameter:

- Jahreskosten der Maßnahme „Erhöhung Anschlussgrad ...“ [CM\_WWTP\_C\_CONRATE],
- Maßnahmenumfang: Einwohner, die bislang an die Kanalisation angeschlossen waren, nicht aber an eine Kläranlage, und die über die Maßnahme „Erhöhung Anschlussgrad ..“ an die kommunale Kläranlage angeschlossen werden sollen [US\_nss\_INH\_toconwwtp],
- Zubau kommunale Kläranlage; Investitionskosten in €/Einwohner [CM\_WWTP\_C\_inv\_20yr\_CONRATE],
- Zubau kommunale Kläranlage; laufende Kosten in €/Einwohner [CM\_WWTP\_C\_op\_CONRATE],
- Zubau Kanalisation; Investitionskosten in €/Einwohner [CM\_WWTP\_C\_inv\_50yr\_SEW\_CONRATE],
- Zubau Kanalisation; laufende Kosten in €/Einwohner [CM\_WWTP\_C\_op\_SEW\_CONRATE] und
- Annuitätsfaktor [CM\_WWTP\_FCT\_an\_C\_inv bzw. CM\_WWTP\_FCT\_an\_C\_inv\_SEW].

In Tabelle 38 sind die Kostenparameter inklusive der dazugehörigen Werte bzw. Gleichungen sowie die Beschreibungen der Kostenparameter zusammengetragen. Die Kostenparameter werden als Modellkonstanten, Zwischenergebnisse bzw. Endergebnis in MoRE angelegt.

Tabelle 38: Kostenparameter und -daten für die Maßnahme Erhöhung des Anschlussgrades der Bevölkerung an die kommunalen Kläranlagen

| MoRE-Variable  | Wert / Gleichung | Einheit       | Herkunft  | Beschreibung  |
|--|------------------|---------------|---|---|
| US_nss_INH_toconwwtp_large +<br>US_nss_INH_toconwwtp_small |                  | Einwohner     | s. MoRE-Rechenstapel WWTP                                   | Anzahl der Einwohner, die an eine bestehende kommunale Kläranlage angeschlossen werden können         |
| CM_WWTP_FCT_C_inv_inh_C<br>ONRATE_large                    | 438              | €/Einwohner   | Abgeleitet von Halbach (2010)<br>und BSUG (2013)            | Einwohnerbezogene Investitionskosten für die Kapazitätserweiterung der Kläranlagen ( $\geq 2.000$ EW) |
| CM_WWTP_FCT_C_inv_inh_C<br>ONRATE_small                    | 965              | €/Einwohner   | Abgeleitet von Halbach (2010)<br>und BSUG (2013)            | Einwohnerbezogene Investitionskosten für die Kapazitätserweiterung der Kläranlagen ( $< 2.000$ EW)    |
| CM_WWTP_FCT_C_op_inh_C<br>ONRATE_large                     | 35               | €/Einwohner/a | Abgeleitet von Halbach (2010)                               | Einwohnerbezogene Betriebskosten für Kapazitätserweiterung der Kläranlagen ( $\geq 2.000$ EW)         |
| CM_WWTP_FCT_C_op_inh_C<br>ONRATE_small                     | 64               | €/Einwohner/a | Abgeleitet von Halbach (2010)                               | Einwohnerbezogene Betriebskosten für Kapazitätserweiterung der Kläranlagen ( $< 2.000$ EW)            |
| CM_WWTP_FCT_C_inv_inh_S<br>EW_CONRATE                      | 542              | €/Einwohner   | BSUG 2013   | Skalierungsfaktor für einwohnerbezogene Investitionskosten Neubau Kanalisation                        |
| CM_WWTP_EXP_C_inv_inh_S<br>EW_CONRATE                      | 0,72             | -             | BSUG 2013   | Skalierungsfaktor (Exponent) für einwohnerbezogene Investitionskosten Neubau Kanalisation             |
| CM_WWTP_FCT_C_op_inh_S<br>EW_CONRATE                       | 64               | €/Einwohner/a | Abgeleitet von Halbach (2010)                               | Skalierungsfaktor für Betriebskosten Kanalisationssystem  |
| CM_WWTP_EXP_C_op_inh_S<br>EW_CONRATE                       | -0,074           | -             | Abgeleitet von Halbach (2010)                               | Skalierungsfaktor (Exponent) für Betriebskosten Kanalisationssystem                                   |
| CM_WWTP_FCT_an_C_inv                                       | 0,067            | -             | errechnet bei einer Laufzeit<br>von 20 Jahren nach KVR 2012 | Annuitätsfaktor Kläranlage bei einer Nutzungsdauer von 20 Jahren                                      |
| CM_WWTP_FCT_an_C_inv_S<br>EW                               | 0,039            | -             | errechnet bei einer Laufzeit<br>von 50 Jahren nach KVR 2012 | Annuitätsfaktor Kanal bei einer Nutzungsdauer von 50 Jahren   |
| CM_WWTP_C_inv_20yr_CON<br>RATE                             | Gleichung 9      | €             | Halbach (2010) und BSUG<br>(2013)                           | Investitionskosten für Kapazitätserweiterung kommunale Kläranlage                                     |
| CM_WWTP_C_op_CONRATE                                       | Gleichung 10     | €/a           | Abgeleitet von nach Halbach<br>(2010)                       | Laufende Kosten für Kapazitätserweiterung kommunale Kläranlage  |

| MoRE-Variable                  | Wert / Gleichung | Einheit | Herkunft                      | Beschreibung  |
|--------------------------------|------------------|---------|-------------------------------|---|
| CM_WWTP_C_inv_50yr_SEW_CONRATE | Gleichung 7      | €       | Abgeleitet von Halbach (2010) | Investitionskosten für Neubau Kanalisation;           |
| CM_WWTP_C_op_SEW_CONRATE       | Gleichung 8      | €/a     | Abgeleitet von Halbach (2010) | Laufende Kosten für Kanalisation                      |
| CM_WWTP_C_CONRATE              | Gleichung 11     | €/a     | Angelehnt an KVR 2012         | Jahreskosten der Maßnahme „Erhöhung Anschlussgrad ..“ |

Angelehnt an Flick et al. (2012) ergibt sich die folgende Jahreskostenfunktion durch die Summe der Einzelpositionen, Investitionskosten für Kapazitätserweiterung der Kläranlagen und Kanalisationsneubau, multipliziert mit einem Annuitätsfaktor, und den laufenden Kosten für den Betrieb von Kläranlagen und Kanal, ggf. abzüglich der eingesparten Kosten durch nicht mehr erforderlichen Betrieb von Kleinkläranlagen und Sammelgruben, multipliziert mit dem Maßnahmenumfang:

$$\begin{aligned} \text{Gleichung 11} \quad \text{CM\_WWTP\_C\_CONRATE} = & \\ & [\text{CM\_WWTP\_C\_inv\_20yr\_CONRATE} * \text{CM\_WWTP\_FCT\_an\_C\_inv} \\ & + \text{CM\_WWTP\_C\_inv\_50yr\_SEW\_CONRATE} \\ & * \text{CM\_WWTP\_FCT\_an\_C\_inv\_SEW} + \text{CM\_WWTP\_C\_op\_CONRATE} \\ & + \text{CM\_WWTP\_C\_op\_SEW\_CONRATE}] \end{aligned}$$

mit

- CM\_WWTP\_C\_CONRATE = Jahreskosten der Maßnahme „Erhöhung Anschlussgrad ...“

Die Übertragung von Einzelinvestitionskosten auf eine gleichförmige Kostenreihen, wie bspw. den Jahreskosten, erfolgt anhand der Barwerte der Investitionskosten durch eine Multiplikation mit einem Annuitätsfaktor in Abhängigkeit von Laufzeit und Zinssatz entsprechend Flick et al. (2012) und der allgemeinüblichen Konvention (s. Gleichung 3).

#### 5.6.1.2 Berechnungsansätze des Kostenmoduls zur Bewertung der Maßnahmen „Optimierung der Betriebsweise an den kommunalen Kläranlagen“

Die Maßnahme „Optimierung der Betriebsweise an den kommunalen Kläranlagen“ erfolgt entsprechend Maßnahmensteckbrief mit dem Ziel, eine Mindestanforderung der Ablaufkonzentration zu erreichen, um Phosphor- und Stickstoffeinträge über kommunale Kläranlagen größer 50 EW zu reduzieren. Eine Umsetzung kann bspw. durch folgende Optimierungen erreicht werden:

- a) Verbesserungen in der Dosierung, der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik sowie Maschinenteknik, die keinen Umbau bzw. Neubau erfordern (Mutz et al. 2013)
- b) Maßnahmen zur weitergehenden Stickstoff-Elimination. Dabei können nach Siewert (2010) verschiedene Verfahren, die technisch weit entwickelt und effektiv sind, betrachtet werden. Eine ausführlichere Beschreibung der in Betracht kommenden Maßnahmen befindet sich im entsprechenden Maßnahmensteckbrief.
- c) Maßnahmen zur weitergehenden Phosphor-Elimination. Dabei können nach Siewert (2010) folgende Verfahren, die technisch weit entwickelt und effektiv sind, betrachtet werden: Simultanfällung, Flockungsfiltration, Membranfiltration (getauchte Ultrafiltrationsmembranen). Eine ausführlichere Beschreibung der in Betracht kommenden Maßnahmen befindet sich im entsprechenden Maßnahmensteckbrief.

Eine separate Betrachtung der einzelnen Optimierungsmaßnahmen kann aufgrund der Datenlage nicht erfolgen.

Die Kosten von Maßnahmen zur Nährstoffelimination sind, neben der jeweils eingesetzten Technologie und dem Ausbaugrad der betroffenen Kläranlagen, stark abhängig von den Reduktionszielen bzw. den erreichbaren Ablaufkonzentrationen. Vereinfachend kann laut

Grossmann et al. (2011) von „konstanten marginalen Kosten [Grenzkosten] pro vermiedener Nährstofffracht ausgegangen“ werden. Die Gesamtkosten für die jeweilige Technologiestufe kann somit aus der zu reduzierenden Nährstoffmenge berechnet werden. Bei steigenden Reduktionsanforderungen steigen die Kosten pro vermiedene Einheit Nährstoffeintrag. Gleichzeitig müssen Skaleneffekte berücksichtigt werden (Kostendegression bei steigender Zahl angeschlossener Einwohnerwerte).

Da der konkrete Einsatz der Technologien im Einzelfall am jeweiligen Kläranlagenstandort geprüft werden muss, wird im Folgenden mit geringen bzw. hohen Kosten gerechnet.

Die Bezugsvariable für die Berechnung der Kosten ist der zu eliminierende Nährstoffeintrag  $WWTP\_diff\_E\_P$ , der sich – bei Überschreitung einer Zielwertkonzentration - aus der Differenz der vorhandenen Ablaufkonzentrationen ( $WWTP\_ps\_CONC\_P$  bzw.  $WWTP\_small\_CONC\_P$ ) zur Zielwertkonzentration ( $WWTP\_large\_CONC\_tgt\_cls\_X\_P$  bzw.  $WWTP\_small\_CONC\_tgt\_cls\_1\_P$ ), multipliziert mit dem jeweiligen Ablauf ( $WWTP\_ps\_Q$  bzw.  $WWTP\_small\_Q$ ) ergibt (Gleichung 12 bzw. Gleichung 13).

$$\begin{aligned} \text{Gleichung 12} \quad & WWTP\_ps\_diff\_E\_P \\ & = WWTP\_ps\_CONC\_P - WWTP\_large\_CONC\_tgt\_cls\_X\_P \\ & * WWTP\_ps\_Q \end{aligned}$$

bzw.

$$\begin{aligned} \text{Gleichung 13} \quad & WWTP\_small\_diff\_E\_P \\ & = WWTP\_small\_CONC\_P - WWTP\_small\_CONC\_tgt\_cls\_1\_P \\ & * WWTP\_small\_Q \end{aligned}$$

Die punktbezogene Differenz der Frachteinträge bei Kläranlagen größer 2.000 EW ( $WWTP\_ps\_diff\_E\_P$ ) werden über einen Zwischenschritt auf die jeweiligen AU aggregiert.

Gleiches gilt für die Berechnung der Differenzen der Frachteinträge durch die weitergehende Stickstoffentfernung.

### Kostendaten „Optimierung der Betriebsweise an den kommunalen Kläranlagen“

Mutz et al. (2013) geben als Kosten für Optimierungsmaßnahmen für Kläranlagen der GK1-GK4 u.a. für Verbesserungen in der Dosierung, der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik sowie Maschinenteknik, basierend auf LUGV (2011) zur Erreichung von Zielkonzentrationen folgende Jahreskosten pro reduzierter Fracht an:

Tabelle 39: Jahreskosten zur weitergehenden Nährstoffreduktion durch Optimierung der Betriebsweise der kommunalen Kläranlagen auf Basis von LUGV (2011) (zitiert in Mutz et al. (2013))

| Größenklasse (GK) | Jahreskosten weitergehende N-Elimination [€/kg $N_{\text{elim}}$ ] | Jahreskosten weitergehende P-Elimination [€/kg $P_{\text{elim}}$ ] |
|-------------------|--|--|
| GK1               | keine Angaben (kA)   | 5-200  |
| GK2               | 4  | 5-70   |
| GK3               | kA   | 5-35   |

Die Investitionskosten für Anlagen kleiner 100.000 EW bewegen sich - basierend auf verschiedenen Quellen - für die verschiedenen Technologien zwischen 50 und 90 €/kg des

eliminiertes Phosphor-Eintrages). Die Investitionskosten für Anlagen größer 100.000 EW bewegen sich für die verschiedenen Technologien zwischen 60 und 200 €/kg des eliminiertes Phosphor-Eintrages). Die Investitionskosten zur weitergehenden Stickstoffeliminierung liegen zwischen 8 und 16 €/kg N<sub>eli</sub> (Tabelle 40).

Die zusätzlichen jährlichen Betriebskosten für Anlagen kleiner 100.000 EW liegen zwischen 25 und 65 €/kg des eliminiertes Phosphor-Eintrages). Die zusätzlichen jährlichen Betriebskosten für Anlagen größer 100.000 EW liegen zwischen 65 und 200 €/kg des eliminiertes Phosphor-Eintrages). Die Betriebskosten für die weitergehende Stickstoffelimination liegen zwischen 0,5 und 3,5 €/kg N<sub>eli</sub> (Tabelle 40).

Tabelle 40: Kostendaten (Investitionskosten, laufende Kosten, Jahreskosten) für zusätzliche technische Maßnahmen auf der kommunalen Kläranlage nach Größenklasse (GK)

| Reinigung                        | GK* | Investitions-<br>kosten | Laufende Kosten | Nutzungs-<br>dauer [a] | Quelle  |
|----------------------------------|-----|-------------------------|-----------------|------------------------|---|
| Biofilter                        |     | 7,7-9,6 €/kg N          | 3,5 €/kg N      |                        | Mutz et al. (2013)  |
| weitergehende<br>Denitrifikation |     | 15,7 €/kg N             | 0,5 €/kg N      | 20                     | Grossmann et al. (2011)   |
| Flockungs-<br>filtration         | 4   | 47-62 €/kg P            | 25-30 €/kg P    | 20                     | Mutz et al. (2013)<br>Böhm et al. (April / 2002)<br>Grossmann et al. (2011) |
|                                  | 5   | 59-119 €/kg P           | 70-107 €/kg P   |                        | Mutz et al. (2013)  |
| Membran-<br>filtration           | 4   | 63-87 €/kg P            | 47-57 €/kg P    | 15                     | Mutz et al. (2013)<br>Böhm et al. (April / 2002)<br>Grossmann et al. (2011) |
|                                  | 5   | 147-200 €/kg P          | 163-197 €/kg P  |                        | Mutz et al. (2013)  |
| *: Größenklasse nach Ausbaugrad  |     |                         |                 |                        |   |

### Zusammenfassung der Kostenparameter und Kostenfunktionen für die Maßnahme „Optimierung der Betriebsweise an den kommunalen Kläranlagen“

Zur Ermittlung der Jahreskosten der Maßnahme „Optimierung der Betriebsweise an den kommunalen Kläranlagen“ ergeben sich bei Überschreitung der Zielwertkonzentrationen, basierend auf der zu eliminierenden Nährstofffracht [(Gegenwärtige Ablaufkonzentration - Zielwertkonzentration) \* behandeltes Abwasservolumen] die nachfolgenden Parameter, die für die Kostenbetrachtung herangezogen werden:

- Jahreskosten der Maßnahme „Optimierung der Betriebsweise auf der kommunalen Kläranlage...“ zur weitergehende P- bzw. N-Elimination [CM\_WWTP\_C\_OPTIMIZE],
- Bezugsvariablen, um den zu eliminierenden Nährstoffeintrag WWTP\_diff\_E\_P bzw. WWTP\_diff\_E\_N bei Überschreitung einer Zielwertkonzentration zu berechnen: Differenz der vorhandenen Ablaufkonzentrationen (WWTP\_ps\_CONC\_P bzw. WWTP\_small\_CONC\_P) zur Zielwertkonzentration (WWTP\_large\_CONC\_tgt\_cls\_X\_P bzw. WWTP\_small\_CONC\_tgt\_cls\_1\_P), multipliziert mit dem jeweiligen Ablauf (WWTP\_ps\_Q bzw. WWTP\_small\_Q),

- Investitionskosten der Maßnahme zur Optimierung der Betriebsweise zur weitergehenden P-Elimination in €/kg P [CM\_WWTP\_C\_inv\_20yr\_OPTIMIZE\_P],
- Investitionskosten der Maßnahme zur Optimierung der Betriebsweise zur weitergehenden N-Elimination in €/kg P [CM\_WWTP\_C\_inv\_20yr\_OPTIMIZE\_N],
- Laufende Kosten der Maßnahme zur Optimierung der Betriebsweise zur weitergehenden P-Elimination in €/kg P [CM\_WWTP\_C\_op\_OPTIMIZE\_P],
- Laufende Kosten der Maßnahme zur Optimierung der Betriebsweise zur weitergehenden N-Elimination in €/kg P [CM\_WWTP\_C\_op\_OPTIMIZE\_N] und
- Annuitätsfaktor bei einer Nutzungsdauer von 20 Jahren [CM\_WWTP\_FCT\_an\_C\_inv].

Aus den dargestellten einzelnen Kostenparametern und -daten ergeben sich die in Tabelle 41 zusammengefassten Parameter und -daten für die Kostenbetrachtung der Maßnahme „Optimierung der Betriebsweise an den kommunalen Kläranlagen“. Die Kostenparameter werden als Modellkonstanten, Zwischenergebnisse bzw. Endergebnis in MoRE angelegt.

Angelehnt an Flick et al. (2012) ergeben sich die folgenden Funktionen für Investitions-, Betriebs- und Jahreskosten:

$$\begin{aligned} \text{Gleichung 14} \quad & \text{CM\_WWTP\_C\_inv\_20yr\_OPTIMIZE\_P} \\ & = (\text{WWTP\_small\_diff\_E\_P} + \text{WWTP\_large\_diff\_E\_P}) \\ & \cdot \text{CM\_WWTP\_FCT\_C\_inv\_OPTIMIZE\_P} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gleichung 15} \quad & \text{CM\_WWTP\_C\_op\_OPTIMIZE\_P} \\ & = (\text{WWTP\_small\_diff\_E\_P} + \text{WWTP\_large\_diff\_E\_P}) \\ & \cdot \text{CM\_WWTP\_FCT\_C\_op\_OPTIMIZE\_P} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gleichung 16} \quad & \text{CM\_WWTP\_C\_inv\_20yr\_OPTIMIZE\_N} \\ & = (\text{WWTP\_small\_diff\_E\_N} + \text{WWTP\_large\_diff\_E\_N}) \\ & \cdot \text{CM\_WWTP\_FCT\_C\_inv\_OPTIMIZE\_N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gleichung 17} \quad & \text{CM\_WWTP\_C\_op\_OPTIMIZE\_N} \\ & = (\text{WWTP\_small\_diff\_E\_N} + \text{WWTP\_large\_diff\_E\_N}) \\ & \cdot \text{CM\_WWTP\_FCT\_C\_op\_OPTIMIZE\_N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gleichung 18} \quad & \text{CM\_WWTP\_C\_OPTIMIZE\_P} \\ & = [\text{CM\_WWTP\_C\_inv\_20yr\_OPTIMIZE\_P} \cdot \text{CM\_WWTP\_FCT\_an\_C\_inv} \\ & + \text{CM\_WWTP\_C\_op\_OPTIMIZE\_P}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gleichung 19} \quad & \text{CM\_WWTP\_C\_OPTIMIZE\_N} \\ & = [\text{CM\_WWTP\_C\_inv\_20yr\_OPTIMIZE\_N} \cdot \text{CM\_WWTP\_FCT\_an\_C\_inv} \\ & + \text{CM\_WWTP\_C\_op\_OPTIMIZE\_N}] \end{aligned}$$

Tabelle 41: Kostenparameter und -daten für die Maßnahme „Optimierung der Betriebsweise an den kommunalen Kläranlagen“

| MoRE-Variable                                | Wert                 | Einheit         | Herkunft  | Beschreibung  |
|--|----------------------|-----------------|---|---|
| CM_WWTP_FCT_C_inv_0<br>PTIMIZE_P; Variante 1 | 50                   | €/ (kg el. P)   | Mutz et al. (2013)                                  | Nährstoffreduktionsspezifische Investitionskosten unter günstigen Randbedingungen zur weitergehenden P-Entfernung |
| CM_WWTP_FCT_C_inv_0<br>PTIMIZE_P; Variante 2 | 90                   | €/ (kg el. P)   | Mutz et al. (2013)                                  | Spez. Investitionskosten unter ungünstigen Randbedingungen zur weitergehenden P-Entfernung                        |
| CM_WWTP_FCT_C_op_OP<br>TIMIZE_P; Variante 1  | 25                   | €/ (kg el. P)/a | Mutz et al. (2013)                                  | Spez. Betriebskosten unter günstigen Randbedingungen zur weitergehenden P-Entfernung                              |
| CM_WWTP_FCT_C_op_OP<br>TIMIZE_P; Variante 2  | 65                   | €/ (kg el. P)/a | Mutz et al. (2013)                                  | Spez. Betriebskosten unter ungünstigen Randbedingungen zur weitergehenden P-Entfernung                            |
| CM_WWTP_FCT_C_inv_0<br>PTIMIZE_N; Variante 1 | 8                    | €/ (kg el. N)   | Mutz et al. (2013)                                  | Spez. Investitionskosten unter günstigen Randbedingungen zur weitergehenden N-Entfernung                          |
| CM_WWTP_FCT_C_inv_0<br>PTIMIZE_N; Variante 2 | 16                   | €/ (kg el. N)   | Mutz et al. (2013)                                  | Spez. Investitionskosten unter ungünstigen Randbedingungen zur weitergehenden N-Entfernung                        |
| CM_WWTP_FCT_C_op_OP<br>TIMIZE_N; Variante 1  | 0,5                  | €/ (kg el. N)/a | Mutz et al. (2013)                                  | Spez. Betriebskosten unter günstigen Randbedingungen zur weitergehenden N-Entfernung                              |
| CM_WWTP_FCT_C_op_OP<br>TIMIZE_N; Variante 2  | 3,5                  | €/ (kg el. N)/a | Mutz et al. (2013)                                  | Spez. Betriebskosten unter ungünstigen Randbedingungen zur weitergehenden N-Entfernung                            |
| CM_WWTP_FCT_an_C_in<br>v                     | 0,067                | -               | errechnet bei einer Laufzeit von 20 Jahren nach KVR | Annuitätsfaktor Kläranlage bei einer Nutzungsdauer von 20 Jahren  |
| WWTP_ps_diff_E_N                             | Gleichung 12         | kg/a            | Berechnet   | Differenzfracht für kleine Kläranlagen  |
| WWTP_ps_diff_E_P                             | Gleichung 12         | kg/a            | Berechnet   |   |
| WWTP_large_diff_E_N                          | Aggregierter Wert    | kg/a            | Berechnet   | Auf Analysegebiete aggregierte Differenzfracht für große, punktuellenbezogene Kläranlagen                         |
| WWTP_large_diff_E_P                          | Aggregierter Wert    | kg/a            | Berechnet   |   |
| WWTP_small_diff_E_N                          | entspr. Gleichung 13 | kg/a            | Berechnet   | Differenzfracht für kleine Kläranlagen  |
| WWTP_small_diff_E_P                          | Gleichung 13         | kg/a            | Berechnet   |   |

| MoRE-Variable                 | Wert         | Einheit | Herkunft              | Beschreibung   |
|-------------------------------|--------------|---------|-----------------------|--|
| CM_WWTP_C_inv_20yr_OPTIMIZE_P | Gleichung 14 | €       | Angelehnt an KVR 2012 | Zusätzliche Investitionskosten der Maßnahme „Optimierung der Betriebsweise..“ zur weitergehenden P-Elimination |
| CM_WWTP_C_op_OPTIMIZE_P       | Gleichung 15 | €/a     | Angelehnt an KVR 2012 | Zusätzliche Betriebskosten der Maßnahme „Optimierung der Betriebsweise..“ zur weitergehenden P-Elimination     |
| CM_WWTP_C_inv_20yr_OPTIMIZE_N | Gleichung 16 | €       | Angelehnt an KVR 2012 | Zusätzliche Investitionskosten der Maßnahme „Optimierung der Betriebsweise..“ zur weitergehenden N-Elimination |
| CM_WWTP_C_op_OPTIMIZE_N       | Gleichung 17 | €/a     | Angelehnt an KVR 2012 | Zusätzliche Betriebskosten der Maßnahme „Optimierung der Betriebsweise..“ zur weitergehenden N-Elimination     |
| CM_WWTP_C_OPTIMIZE_P          | Gleichung 18 | €/a     | Angelehnt an KVR 2012 | Jahreskosten der Maßnahme „Optimierung der Betriebsweise..“ zur weitergehenden P-Elimination                   |
| CM_WWTP_C_OPTIMIZE_N          | Gleichung 19 | €/a     | Angelehnt an KVR 2012 | Jahreskosten der Maßnahme „Optimierung der Betriebsweise..“ zur weitergehenden N-Elimination                   |

el. - eliminiert

## 5.6.2 Berechnungsansätze des Kostenmoduls zur Bewertung der Maßnahmen mit Bezug zum Eintragspfad Kanalisationssystem

Der Bereich Stoffeintragsreduktionsmaßnahmen mit Bezug zum Eintragspfad Kanalisationssystem betrifft vor allem Maßnahmen zur Regenwasserbewirtschaftung. Kostenkennwerte für die verschiedenen möglichen Technologien (im Folgenden zusammenfassend „Tech“) werden entweder pro zu behandelnder Volumeneinheit (hier RÜB und RBF) oder pro betroffene Flächeneinheit (hier Entsiegelung) berechnet. Die beiden Berechnungsansätze (volumenbezogen und flächenbezogen) sind für die verschiedenen Technologien jeweils identisch, so dass im Folgenden die Kostenfunktionen allgemein für die Technologien erstellt werden. Bei der Berechnung der jeweiligen Jahreskosten für eine Technologie werden dann die jeweiligen Kostendaten verwendet.

### 5.6.2.1 Berechnungsansätze des Kostenmoduls für volumenbezogene Maßnahmen

Folgende volumenbezogene Maßnahmen zur Regenwasserbewirtschaftung werden im Rahmen der Kostenbetrachtung berücksichtigt:

- Neubau von Speichervolumen (RÜB)
- Nachschaltung von RBF

#### Kostendaten volumenbezogener Maßnahmen, Regenüberlaufbecken

Die spezifischen Kosten eines RÜB sind im Wesentlichen vom Nutzvolumen, der Ausführung und von lokalen Randbedingungen abhängig.

Für RÜB in Stahlbetonbauweise mit einem Nutzvolumen  $\leq 300 \text{ m}^3$  werden bei mittleren Bodenverhältnissen bei Halbach (2003b/2010) volumenbezogene Investitionskosten zwischen 1.740 und 4.800 €/m<sup>3</sup> angegeben, die über die in Gleichung 20 dargestellte Kostenfunktion dargestellt werden.

Gleichung  
20

$$IK_{Tech}(\leq 300\text{m}^3) = 30.780 \cdot Q^{-0,504}$$

Für geschlossene RÜB mit einem Nutzvolumen  $> 300 \text{ m}^3$  werden Investitionskosten zwischen 750 und 1.750 €/m<sup>3</sup> angegeben, die über die in Gleichung 21 dargestellte Kostenfunktion dargestellt werden.

Gleichung 21

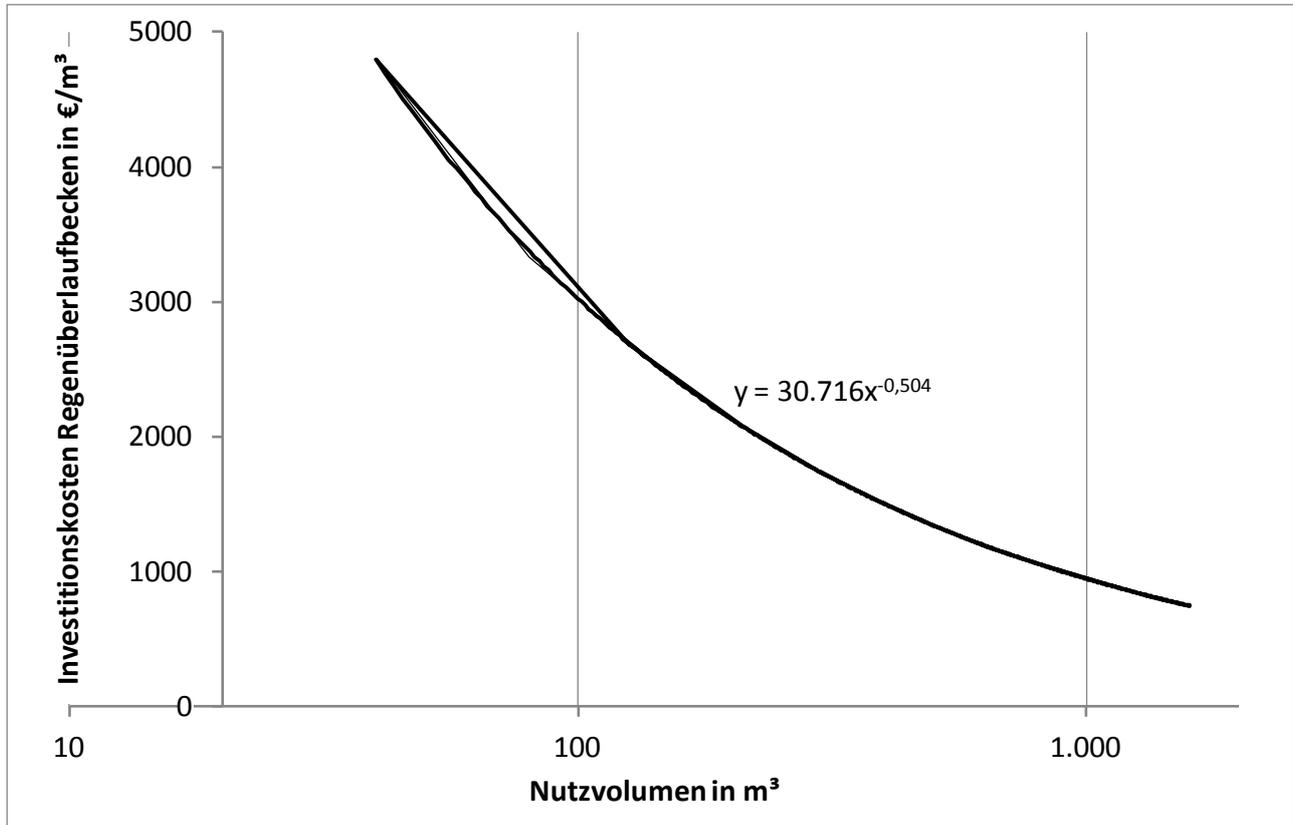
$$IK_{Tech}(> 300\text{m}^3) = 30.580 \cdot Q^{-0,503}$$

Kombiniert man die beiden Kostenfunktionen (Gleichung 20 und Gleichung 21), erhält man die in Abbildung 54 und Gleichung 22 dargestellte Kostenfunktion für die volumenbezogenen Investitionskosten von RÜB. Der von Grossmann et al. (2011) verwendete Wert von 1.000 €/m<sup>3</sup> entspricht nach Halbach (2003b/2010) einer Ausbaugröße von rund 900 m<sup>3</sup>.

Gleichung 22

$$IK_{Tech} = 30.716 * Q^{-0,504}$$

Abbildung 54: Investitionskosten für Regenüberlaufbecken, abgeleitet von Halbach (2003/2010)



Die Betriebskosten für RÜB werden von Grossmann et al. (2011) mit 8 €/m³ angegeben. Nach Sieker (2002) liegen die Betriebskosten für RÜB in einem vergleichbaren Rahmen wie die Betriebskosten von RKB. Bei Giese (2013) nach Grüning et al. (2010b) werden für die jährlichen Betriebskosten für geschlossene RKB mit einem Nutzvolumen < 100 m³ mit 3.400 €/a zitiert. Hiervon lässt sich die in Gleichung 23 dargestellte Kostenfunktion ableiten.

Gleichung 23

$$BK = 3.900 + 1,43 \cdot Q$$

Da in MoRE die Größe des behandelten Volumens AU-bezogen hinterlegt ist und keine anlagenbezogenen Daten verwendet werden können, wird von einem mittleren Beckenvolumen von 300 m³ ausgegangen. Entsprechend werden für die Kostenbetrachtung in Anlehnung an Halbach (2010) Investitionskosten von 525.000 € pro Speichervolumen von 300 m³ (bzw. 1.750 €/m³) verwendet. Für die Betriebskosten werden in Anlehnung an Grüning et al. (2010) 4.330 €/a pro Speichervolumen von 300 m³ (bzw. 14,4 €/m³) verwendet.

Als Bezugsvariable dient die Differenz des Speichervolumens pro versiegelte Fläche zu dem Zielwert 23,3 m³/ha im urbanen Raum, sofern der Zielwert unterschritten wird.

### **Kostendaten volumenbezogener Maßnahmen, Retentionsbodenfilter**

Die spezifischen Kosten eines RBF sind laut Assmann et al. (2013) vom Nutzvolumen abhängig und bewegen sich in der Regel zwischen rund 200 €/m<sup>3</sup> bei großen Nutzvolumina und 700 €/m<sup>3</sup> bei kleinen Nutzvolumina. Bei Sieker (2000) werden spezifische Kosten von 300 €/m<sup>3</sup> angegeben. Aufgrund von erhöhtem baulichem Aufwand (Notwendigkeit von Auftriebssicherungen oder zusätzlichen Adsorptionsmaterialien) können die Kosten auf 1.000-5.000 €/m<sup>3</sup> steigen.

Betriebskosten werden bei Giese (2013) mit 3-8 €/m<sup>3</sup> angegeben. Für die Kostenbetrachtung wird mit einem Mittelwert von 5,5 €/m<sup>3</sup> gerechnet.

Laut Horstmeyer et al. (2014) liegen die Gesamtkosten (Investitions- und Betriebskosten) allerdings deutlich unter den Werten von Assmann et al. (2013) in einem Bereich zwischen rund 100-400 €/m<sup>3</sup>.

Entsprechend werden für die Betrachtung der Investitionskosten von RBF Kosten für günstige (100 €/m<sup>3</sup>), und ungünstige (400 €/m<sup>3</sup>) Bedingungen angenommen. Um sehr ungünstigen Randbedingungen, wie sie bei Sieker (2000) benannt werden, Rechnung zu tragen, werden zusätzlich die Betriebskosten von Giese (2013) mit berücksichtigt.

Als Bezugsvariable dient der Anteil an Mischwasser im urbanen Raum, der entsprechend Maßnahmensteckbrief über den RBF geleitet wird:  $US\_cso\_Q * US\_cso\_SHR\_vol\_rsf\_cso$ .

### **Zusammenfassung der Kostenparameter und Kostenfunktionen für volumenbezogene Maßnahmen am Beispiel Retentionsbodenfilter**

Aus den oben dargestellten einzelnen Kostenparametern und -daten ergeben sich zur Berechnung der Jahreskosten der volumenbezogenen „Maßnahmen mit Bezug zum Eintragspfad Kanalisationssystem“ zur Kostenbetrachtung die nachfolgenden Parameter:

- Bezugsvariable: Zubau von Maßnahme „Tech“ in m<sup>3</sup> [ $US\_cso\_Q * US\_cso\_SHR\_vol\_rsf\_cso$ ],
- Investitionskosten für Maßnahme „Tech“ in €/m<sup>3</sup> [ $CM\_US\_C\_inv\_Tech$ ],
- Laufende Kosten für Maßnahme „Tech“ in €/m<sup>3</sup> [ $CM\_US\_C\_op\_Tech$ ],
- Annuitätsfaktor [ $CM\_US\_FCT\_an\_C\_inv$ ] und
- Jahreskosten der Maßnahme „Tech“ in € [ $CM\_US\_C\_Tech$ ]

In Tabelle 42 sind die Kostenparameter inklusive der dazugehörigen Werte bzw. Gleichungen sowie die Beschreibungen der Kostenparameter zusammengetragen. Die Kostenparameter werden als Modellkonstante, Zwischenergebnisse bzw. Endergebnis in MoRE angelegt.

Angelehnt an Flick et al. (2012) ergeben sich für die verschiedenen möglichen Technologien die folgende Kostenfunktion für Investitions-, Betriebs und Jahreskosten:

Gleichung 24

$$CM\_US\_C\_inv\_25yr\_SRTEFF = US\_cso\_Q * US\_cso\_SHR\_vol\_rsf\_cso / 100 * CM\_US\_FCT\_C\_inv\_SRTEFF$$

Gleichung 25

$$CM\_US\_C\_op\_SRTEFF = US\_cso\_Q * US\_cso\_SHR\_vol\_rsf\_cso / 100 * CM\_US\_FCT\_C\_op\_SRTEFF$$

Gleichung 26

$$CM\_US\_C\_inv\_40yr\_SOTEFF = (US\_cso\_VOL\_spec\_SOT\_100p - US\_cso\_VOL\_spec\_SOT) * 100 * US\_cso\_A\_IMP * CM\_US\_FCT\_C\_inv\_SOTEFF$$

Gleichung 27

$$CM\_US\_C\_op\_SOTEFF = (US\_cso\_VOL\_spec\_SOT\_100p - US\_cso\_VOL\_spec\_SOT) * 100 * US\_cso\_A\_IMP * CM\_US\_FCT\_C\_op\_SOTEFF$$

Gleichung 28

$$CM\_US\_C\_SRTEFF = CM\_US\_C\_inv\_25yr\_SRTEFF * CM\_US\_FCT\_an\_C\_inv\_SRTEFF + CM\_US\_C\_op\_SRTEFF$$

Gleichung 29

$$CM\_US\_C\_SOTEFF = CM\_US\_C\_inv\_40yr\_SOTEFF * CM\_US\_FCT\_an\_C\_inv\_SOTEFF + CM\_US\_C\_op\_SOTEFF$$

Tabelle 42: Kostenparameter und -daten für die Maßnahmen mit Bezug zum Eintragspfad Kanalisationssystem

| MoRE-Variable                         | Wert                                 | Einheit             | Herkunft  | Beschreibung  |
|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------------|---|---|
| US_cso_Q                              | Zwischen-<br>ergebnis                | m <sup>3</sup> /a   | Aus MoRE Rechenstapel<br>Wasserbilanz                       | Abfluss über Mischwasserüberläufe (Kanalisationssysteme)  |
| US_cso_SHR_vol_rsf_cso                | 50                                   | %                   | MoRE-Modellkonstante  | Maßnahmenumfang: Anteil an Mischwasser, der über zus. RBF<br>geleitet wird.                     |
| US_cso_VOL_spec_SOT                   | Zwischen-<br>ergebnis                | m <sup>3</sup> /ha  | Aus MoRE Rechenstapel<br>Wasserbilanz                       | Speichervolumen der Regenüberlaufbecken im Mischsystem,<br>spezifisch                           |
| US_cso_A_IMP                          | Zwischen-<br>ergebnis                | km <sup>2</sup>     | Aus MoRE Rechenstapel Flächen                               | Fläche innerörtlicher versiegelter Flächen, die an das Mischsystem<br>angeschlossen sind        |
| CM_US_FCT_C_inv_SOTEFF                | 1.750                                | €/m <sup>3</sup>    | Abgeleitet von Halbach (2010)                               | Mittlere volumenbezogene Investitionskosten RÜB (300 m <sup>3</sup> )                           |
| CM_US_FCT_C_op_SOTEFF                 | 14,4                                 | €/m <sup>3</sup> /a | Abgeleitet von Grüning et al. (2010)                        | Mittlere volumenbezogene Betriebskosten RÜB (300 m <sup>3</sup> )                               |
| CM_US_FCT_C_inv_SRTEFF<br>Variante 1  | 100                                  | €/m <sup>3</sup>    | Horstmeyer et al. (2014)                                    | Investitionskosten RBF, günstige Bedingungen  |
| CM_US_FCT_C_inv_SRTEFF<br>Variante 2  | 400                                  | €/m <sup>3</sup>    | Horstmeyer et al. (2014)                                    | Mittlere volumenbezogene Investitionskosten RBF, mittlere<br>Bedingungen                        |
| CM_US_FCT_C_op_SRTEFF                 | 5,5                                  | €/m <sup>3</sup> /a | Giese (2013)  | Mittlere volumenbezogene Betriebskosten RBF   |
| CM_US_FCT_an_C_inv_SOTEFF             | 0,043                                | -                   | errechnet bei einer Laufzeit von 40<br>Jahren nach KVR 2012 | Annuitätsfaktor RÜB bei Nutzungsdauer von 40 Jahren   |
| CM_US_FCT_an_C_inv_SRTEFF             | 0,057                                | -                   | errechnet bei einer Laufzeit von 25<br>Jahren nach KVR 2012 | Annuitätsfaktor RBF bei Nutzungsdauer von 25 Jahren   |
| CM_US_C_inv_40yr_SOTEFF               | Gleichung 26                         | €                   | Abgeleitet von Halbach (2010)                               | Investitionskosten RÜB  |
| CM_US_C_op_SOTEFF                     | Gleichung 27                         | €/a                 | Abgeleitet von Halbach (2010)                               | Betriebskosten RÜB  |
| CM_US_C_inv_25yr_SRTEFF               | Gleichung 24                         | €                   | Abgeleitet von Horstmeyer et al.<br>(2014)                  | Investitionskosten RBF  |
| CM_US_C_op_SRTEFF                     | Gleichung 25                         | €/a                 | Abgeleitet von Horstmeyer et al.<br>(2014)                  | Betriebskosten RBF  |
| CM_US_C_SOTEFF bzw.<br>CM_US_C_SRTEFF | Gleichung 29<br>bzw.<br>Gleichung 28 | €/a                 | KVR 2012  | Jahreskosten der volumenbezogenen Maßnahmen mit Bezug zum<br>Kanalisationssystem (RÜB bzw. RBF) |

### 5.6.2.2 Berechnungsansätze des Kostenmoduls für flächenbezogene Maßnahmen am Beispiel „Reduktion der versiegelten Fläche“

Zu den flächenbezogenen Maßnahmen zur Regenwasserbewirtschaftung gehören bspw.:

- Reduktion der versiegelten Fläche,
- Flächen- und Muldenversickerung und
- Mulden-Rigolen-Systeme.

Im Folgenden wird beispielhaft die Maßnahme Reduktion der versiegelten Fläche mit Kostendaten hinterlegt.

#### Kostendaten flächenbezogener Maßnahmen, Entsiegelung

Kosten von Entsiegelungsmaßnahmen können erheblich schwanken. Assmann et al. (2013) benennen als beeinflussende Randbedingungen:

- unterschiedliche Böden,
- Anforderungen an die Nutzung der Fläche und
- Kosten für die Beseitigung des entnommenen Materials (insb. bei Schadstoffbelastungen).

Entsprechend wird bei Assmann et al. (2013) eine Kostenspanne von 10-100 €/m<sup>2</sup> angegeben.

Unter der Annahme, dass eine Umsetzung und die Anforderungen an die Nachnutzung im ländlichen Bereich kostengünstiger zu realisieren sind, werden für die Kostenbetrachtung der Maßnahme in dem Modellsystem MoRE für zu entsiegelnde Flächen im ländlichen Bereich 25 €/m<sup>2</sup> für günstige Randbedingungen und 40 €/m<sup>2</sup> für ungünstige Randbedingungen veranschlagt. Für den urbanen Bereich ist davon auszugehen, dass eine Umsetzung und die Anforderungen an die Nachnutzung kostenintensiver zu realisieren sind. Entsprechend werden für den urbanen Bereich 65 €/m<sup>2</sup> für günstige Randbedingungen und 80 €/m<sup>2</sup> für ungünstige Randbedingungen veranschlagt.

Als Betriebskosten werden bei Böhm et al. (2002) 0-0,2 €/m<sup>2</sup> angegeben. Für die Kostenbetrachtung der Maßnahme wird der Mittelwert von 0,1 €/m<sup>2</sup> für den urbanen Bereich veranschlagt.

Als Bezugsvariable für die Kostenbetrachtung werden für den ländlichen Raum US<sub>ss\_A\_IMP\_noaggl</sub>, US<sub>oss\_A\_IMP\_noaggl</sub>, US<sub>nss\_A\_IMP\_noaggl</sub> und US<sub>cso\_A\_IMP\_noaggl</sub> verwendet, für den städtischen Raum sind die Bezugsvariablen die zu entsiegelnden Flächen US<sub>ss\_A\_IMP\_aggl</sub> und US<sub>cso\_A\_IMP\_aggl</sub> und die dazugehörigen prozentualen Anteile der versiegelten Fläche, die in den verschiedenen Systemen und Räumen abgekoppelt werden können.

#### Zusammenfassung der Kostenparameter und Kostenfunktionen für flächenbezogene Maßnahmen am Beispiel Entsiegelung

Die Jahreskosten der flächenbezogenen „Maßnahmen mit Bezug zum Eintragspfad Kanalisationssystem“ errechnen sich anhand der nachfolgenden Kostenparameter:

- Maßnahmenumfang: Implementierung der Maßnahme „Entsiegelung“ in km<sup>2</sup> entsprechend Maßnahmensteckbrief:  
(US<sub>cso\_A\_IMP\_noaggl</sub> \* US<sub>cso\_SHR\_a\_uncpl\_imp\_NOAGGL</sub> + US<sub>nss\_A\_IMP\_noaggl</sub>

$$\begin{aligned}
 & * US\_nss\_SHR\_a\_uncpl\_imp\_NOAGGL + US\_oss\_A\_IMP\_noaggl * \\
 & US\_oss\_SHR\_a\_uncpl\_imp\_NOAGGL + US\_ss\_A\_IMP\_noaggl * \\
 & US\_ss\_SHR\_a\_uncpl\_imp\_NOAGGL) / 100 \\
 & \text{bzw.} \\
 & (US\_ss\_A\_IMP\_aggl * US\_ss\_SHR\_a\_uncpl\_imp\_AGGL + US\_cso\_A\_IMP\_aggl * \\
 & US\_cso\_SHR\_a\_uncpl\_imp\_AGGL) / 100,
 \end{aligned}$$

- Investitionskosten für Maßnahme „Entsiegelung“ in €/m<sup>2</sup> [CM\_US\_C\_inv\_IMP] jeweils für den urbanen (aggl) und den ländlichen (noaggl) Bereich Variante 1 für günstige Randbedingungen und Variante 2 für ungünstige Randbedingungen,
- Laufende Kosten für Maßnahme „Entsiegelung“ im urbanen Bereich in €/m<sup>2</sup>/a [CM\_US\_C\_op\_IMP\_aggl],
- Annuitätsfaktor [CM\_US\_FCT\_an\_C\_inv\_IMP] und
- Jahreskosten der Maßnahme „Entsiegelung“ in € [CM\_US\_C\_IMP].

Aus den oben dargestellten einzelnen Kostenparametern und -daten ergeben sich die in Tabelle 43 zusammengefassten Parameter und -daten für die Kostenbetrachtung von flächenbezogenen Maßnahmen mit Bezug zum Kanalisationssystem.

Die Kostenparameter werden als Modellkonstante bzw. Endergebnis in MoRE angelegt.

Angelehnt an Flick et al. (2012) ergeben sich für die Maßnahme Entsiegelung die folgenden Funktionen für die Investitions-, Betriebs- und Jahreskosten:

|                 |   |
|-----------------|---|
| Gleichung<br>30 | $  \begin{aligned}  CM\_US\_C\_inv\_25yr\_IMP\_noaggl \\  = & (US\_cso\_A\_IMP\_noaggl * US\_cso\_SHR\_a\_uncpl\_imp\_NOAGGL \\  & + US\_nss\_A\_IMP\_noaggl * US\_nss\_SHR\_a\_uncpl\_imp\_NOAGGL \\  & + US\_oss\_A\_IMP\_noaggl * US\_oss\_SHR\_a\_uncpl\_imp\_NOAGGL \\  & + US\_ss\_A\_IMP\_noaggl \\  & * US\_ss\_SHR\_a\_uncpl\_imp\_NOAGGL) / 100 \\  & * CM\_US\_FCT\_C\_inv\_IMP\_noaggl * 10^6  \end{aligned}  $ |
|-----------------|---|

|                 |   |
|-----------------|---|
| Gleichung<br>31 | $  \begin{aligned}  CM\_US\_C\_inv\_25yr\_IMP\_aggl \\  = & (US\_ss\_A\_IMP\_aggl * US\_ss\_SHR\_a\_uncpl\_imp\_AGGL \\  & + US\_cso\_A\_IMP\_aggl * US\_cso\_SHR\_a\_uncpl\_imp\_AGGL) / 100 \\  & * CM\_US\_FCT\_C\_inv\_IMP\_aggl * 10^6  \end{aligned}  $ |
|-----------------|---|

|                 |   |
|-----------------|---|
| Gleichung<br>32 | $  \begin{aligned}  CM\_US\_C\_op\_IMP\_aggl \\  = & (US\_ss\_A\_IMP\_aggl * US\_ss\_SHR\_a\_uncpl\_imp\_AGGL \\  & + US\_cso\_A\_IMP\_aggl * US\_cso\_SHR\_a\_uncpl\_imp\_AGGL) / 100 \\  & * CM\_US\_FCT\_C\_op\_IMP\_aggl * 10^6  \end{aligned}  $ |
|-----------------|---|

|                 |  |
|-----------------|--|
| Gleichung<br>33 | $  \begin{aligned}  CM\_US\_C\_IMP = & (CM\_US\_C\_inv\_25yr\_IMP\_noaggl \\  & + CM\_US\_C\_inv\_25yr\_IMP\_aggl) \cdot CM\_US\_FCT\_an\_C\_inv\_IMP \\  & + CM\_US\_C\_op\_IMP\_aggl  \end{aligned}  $ |
|-----------------|--|

Tabelle 43: Kostendaten für die flächenbezogenen Maßnahmen mit Bezug zum Eintragspfad Kanalisationssystem am Beispiel Entsiegelung

| MoRE-Variable                                | Wert         | Einheit            | Herkunft                                  | Beschreibung  |
|--|--------------|--------------------|---|---|
| CM_US_FCT_C_inv_IMP_n<br>oaggl<br>Variante 1 | 25           | €/m <sup>2</sup>   | basierend auf<br>Assmann et al.<br>(2013) | Mittlere flächenspezifische Investitionskosten für Entsiegelung im ländlichen Bereich bei günstigen Bedingungen |
| CM_US_FCT_C_inv_IMP_n<br>oaggl<br>Variante 2 | 40           | €/m <sup>2</sup>   | basierend auf<br>Assmann et al.<br>(2013) | Mittlere flächenspezifische Investitionskosten Entsiegelung im ländlichen Bereich bei ungünstigen Bedingungen   |
| CM_US_FCT_C_inv_IMP_a<br>ggl<br>Variante 1   | 65           | €/m <sup>2</sup>   | basierend auf<br>Assmann et al.<br>(2013) | Mittlere flächenspezifische Investitionskosten Entsiegelung im städtischen Bereich bei günstigen Bedingungen    |
| CM_US_FCT_C_inv_IMP_a<br>ggl<br>Variante 2   | 80           | €/m <sup>2</sup>   | basierend auf<br>Assmann et al.<br>(2013) | Mittlere flächenspezifische Investitionskosten Entsiegelung im städtischen Bereich bei ungünstigen Bedingungen  |
| CM_US_FCT_C_op_IMP_ag<br>gl                  | 0,1          | €/a/m <sup>2</sup> | basierend auf Böhm<br>et al. (2002)       | Mittlere flächenspezifische Betriebskosten bei Entsiegelung im urbanen Bereich                                  |
| CM_US_FCT_an_C_inv_IM<br>P                   | 0,057        | -                  | KVR 2012                                  | Annuitätsfaktor bei einer Nutzungsdauer von 25 Jahren   |
| CM_US_C_inv_25yr_IMP_n<br>oaggl              | Gleichung 30 | €                  | Berechnet                                 | Investitionskosten Entsiegelung im ländlichen Bereich   |
| CM_US_C_inv_25yr_IMP_a<br>ggl                | Gleichung 31 | €                  | Berechnet                                 | Investitionskosten Entsiegelung im städtischen Bereich  |
| CM_US_C_op_IMP_aggl                          | Gleichung 32 | €/a                | Berechnet                                 | Betriebskosten bei Entsiegelung im urbanen Bereich  |
| CM_US_C_IMP                                  | Gleichung 33 | €/a                | KVR 2012                                  | Jahreskosten der flächenbezogenen Maßnahmen mit Bezug zum Kanalisationssystem                                   |

## 5.7 Zusammenfassung und Ausblick

Für ausgewählte Maßnahmen zur Stoffeintragsreduktion für die Eintragsbereiche kommunale Kläranlage und Kanalisationssystem konnte basierend auf Kostendaten aus der Literatur eine Kostenbetrachtung in MoRE umgesetzt werden. Zum Teil mussten die hierfür notwendigen Bezugsgrößen über Zwischenschritte erstellt werden.

Für die großräumige Betrachtung wurden i.d.R. mittlere Kostendaten angesetzt. Zum Teil wurden geringere Kosten für günstige Rahmenbedingungen und höhere Kosten für ungünstige Rahmenbedingungen angenommen, um mögliche Kostenspannen aufzuzeigen. Die Kostendaten für die verschiedenen Varianten wurden in MoRE hinterlegt. Aufgrund einer einheitlichen Darstellung der Kostenberechnung in MoRE erfolgt aktuell die Berechnung der Maßnahmenkosten über eine Basisvariante. Liegen Kostendaten für günstige und ungünstige Randbedingungen vor, werden die Kostendaten für günstige Randbedingungen als Basisvariante verwendet.

Der zugrunde gelegte Maßnahmenumfang orientiert sich an den für die Maßnahmenwirkung angesetzten Maßnahmenumfängen (s. Maßnahmensteckbriefe). Die ermittelten Kosten (Investitionskosten, Betriebskosten und zusammenfassende Jahreskosten) sind in der Regel direkt abhängig von dem Umfang der Maßnahmenumsetzung, so dass eine vergleichende Betrachtung über eine spezifische Kostenwirksamkeit (bspw. Kosten pro eliminierte Fracht) erfolgen muss. Hierbei zeigte sich beispielsweise, dass der Maßnahmenbereich „Optimierung der Betriebsweise der Kläranlage“ deutlich kosteneffektiver ist als der Maßnahmenbereich „Erhöhung des Anschlussgrades“, für den es vor allem in den Bundesländern Thüringen, Sachsen und dem Saarland ein höheres Umsetzungspotenzial gibt. Für die mit Bezug zum Eintragspfad Kanalisationssystem beispielhaft betrachteten Maßnahmen zeigt sich unter den angenommenen Randbedingungen, dass in Relation zu den mittleren über das Modell ermittelten Rückhalteraten der Maßnahmen die Maßnahme „Neubau von Speichervolumen (RÜB)“ kosteneffektiver ist als die Maßnahmen „Reduktion der versiegelten Fläche“ und „Nachschaltung eines Retentionsbodenfilters“. Bei einer konkreteren Maßnahmenplanung sind jedoch weitere und differenziertere Zielsetzungen und lokale Faktoren (bspw. Regenabflussspende und Fremdwasseranteil, städtebauliche Aspekte) zu berücksichtigen.

Grundsätzlich müssen für eine Maßnahmenpriorisierung die lokalen Randbedingungen (u.a. hydraulische Randbedingungen, Auslastungswerte der Kläranlagen) berücksichtigt werden, die in der Regel eine Umsetzung stark beeinflussen und somit zu deutlich abweichenden Kosten führen können.

Die weitere Entwicklung des MoRE-Kostenmoduls sollte, neben einer Erweiterung und Aktualisierung der Eingangsdaten für die bereits implementierten Maßnahmen, eine stärkere räumliche und zeitliche Differenzierung von Kostendaten berücksichtigen. Zusätzlich sollten weitere Maßnahmen mit einem hohen Umsetzungspotenzial und hohen zu erwartenden Wirkungsgraden mitsamt ihrer Kostenkomponente in MoRE implementiert werden. So stehen beispielsweise für die Umsetzung einer vierten Reinigungsstufe oder für den Bereich Sanierung von Kleinkläranlagen gute und umfangreiche Kostendaten zur Verfügung. Die Kostendaten für die verschiedenen Maßnahmen sollten hierbei einheitlich die Ermittlung von Kostenspannen unter günstigen und ungünstigen Randbedingungen berücksichtigen. Als Folge würde das für den MoRE-Anwender aktuelle einheitliche Vorgehen zur Berechnung einer Basisvariante durch eine grundsätzliche Berechnung über den MoRE-Variantenmanager ersetzt werden.

## 6 Ergebnisse

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der Eintragsmodellierung, die auf Basis der in Abschnitt 3 erläuterten Anpassungen ermittelt wurden, dargestellt (Abschnitt 6.1). Alle Ergebnisse sind auf drei signifikante Stellen gerundet. In Abschnitt 6.2 werden die Ergebnisse der Validierung der Ergebnisse anhand von Gewässerfrachten dargestellt. Die in Abschnitt 4 beschriebenen Maßnahmen wurden bei der Eintragsmodellierung berücksichtigt. Die daraus resultierenden möglichen Reduktionen sind in Abschnitt 6.3 aufgeführt.

### 6.1 Ergebnisse der Eintragsmodellierung

Die Stoffeinträge werden für die Einzeljahre 2006-2011 berechnet und als absolute Einträge sowie als Relevanz der einzelnen Eintragspfade dargestellt. Die Ergebnisse der Einzeljahre sind Abbildung 55 bis Abbildung 64 zu entnehmen. In den Abbildungen ist die Beschriftung der Eintragspfade, die weniger als 3 % der Gesamteinträge ausmachen, ausgeblendet. Die Erläuterungen im Text beschreiben die mittlere Situation für den Zeitraum 2006-2011.

#### 6.1.1 Nährstoffe

Die mittleren Stickstoff-Einträge in die deutschen Oberflächengewässer betragen für den Zeitraum 2006-2011 ca. 520.000 t/a, für Phosphor sind es 25.300 t/a (Tabelle 44). Die Herkunft der Stoffeinträge aus einzelnen Eintragspfaden ist bei Stickstoff und Phosphor unterschiedlich. Bei Stickstoff macht der Grundwasserpfad mit 54 % den Haupteintragspfad aus, weitere relevante Eintragspfade sind kommunale Kläranlagen und Dränagen mit 16 % bzw. 14 %. Die restlichen Pfade machen insgesamt 16 % am Gesamteintrag aus. Bei Phosphor ist die Herkunft nach Eintragspfaden ausgeglichener: 28 % stammen aus kommunalen Kläranlagen; Grundwasser (22 %), Erosion (19 %) und Kanalisationssysteme (16 %) sind weitere wichtige Eintragspfade. Die restlichen Phosphor-Eintragspfade haben eine eher untergeordnete Bedeutung mit insgesamt 15 % (Tabelle 44).

Abbildung 55 und Abbildung 56 zeigen die mittlere Eintragssituation in Deutschland anhand der Nährstoff-Gesamteinträge und der Relevanz der einzelnen Eintragspfade für die Einzeljahre 2006-2011 dar. Die Schwankungen der Gesamteinträge der Einzeljahre liegen bezogen auf den Mittelwert zwischen minus 7 % und plus 10 % für Stickstoff und zwischen minus 8 % und plus 11 % für Phosphor.

Tabelle 44: Mittlere Nährstoff-Einträge der Jahre 2006-2011 und prozentualer Anteil der jeweiligen Eintragspfade am Gesamteintrag

| Eintragspfad                 | Stickstoff                            |                                   | Phosphor                              |                                   |
|------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
|                              | Mittelwert Eintrag<br>2006-2011 [t/a] | Anteil am<br>Gesamteintrag<br>[%] | Mittelwert Eintrag<br>2006-2011 [t/a] | Anteil am<br>Gesamteintrag<br>[%] |
| kommunale Kläranlagen        | 82.400                                | 16                                | 7.180                                 | 28                                |
| industrielle Direkteinleiter | 9.730                                 | 2                                 | 406                                   | 2                                 |
| Kanalisationssysteme         | 23.500                                | 5                                 | 4.020                                 | 16                                |
| atmosphärische Deposition    | 9.750                                 | 2                                 | 242                                   | 1                                 |
| Oberflächenabfluss           | 30.200                                | 6                                 | 2.050                                 | 8                                 |
| Erosion                      | 9.880                                 | 2                                 | 4.830                                 | 19                                |
| Grundwasser                  | 283.000                               | 54                                | 5.520                                 | 22                                |
| Dränagen                     | 71.600                                | 14                                | 1.100                                 | 4                                 |
| Gesamt                       | 520.000                               | 100                               | 25.300                                | 100                               |

Abbildung 55: Stickstoff-Einträge für Deutschland für die Einzeljahre im Zeitraum 2006-2011

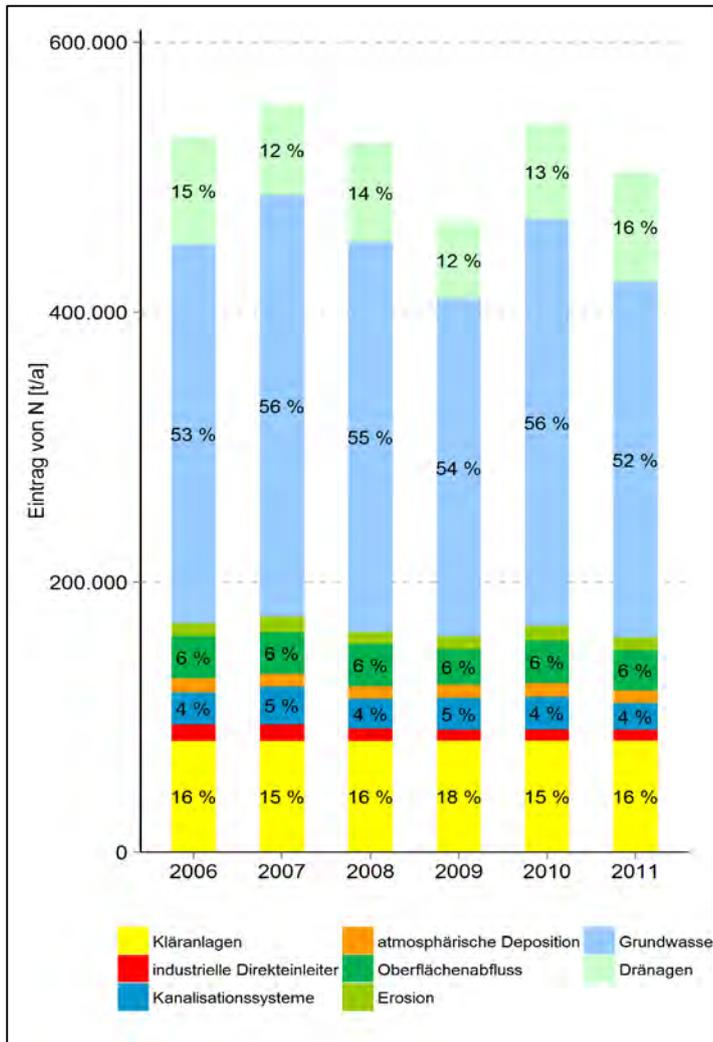
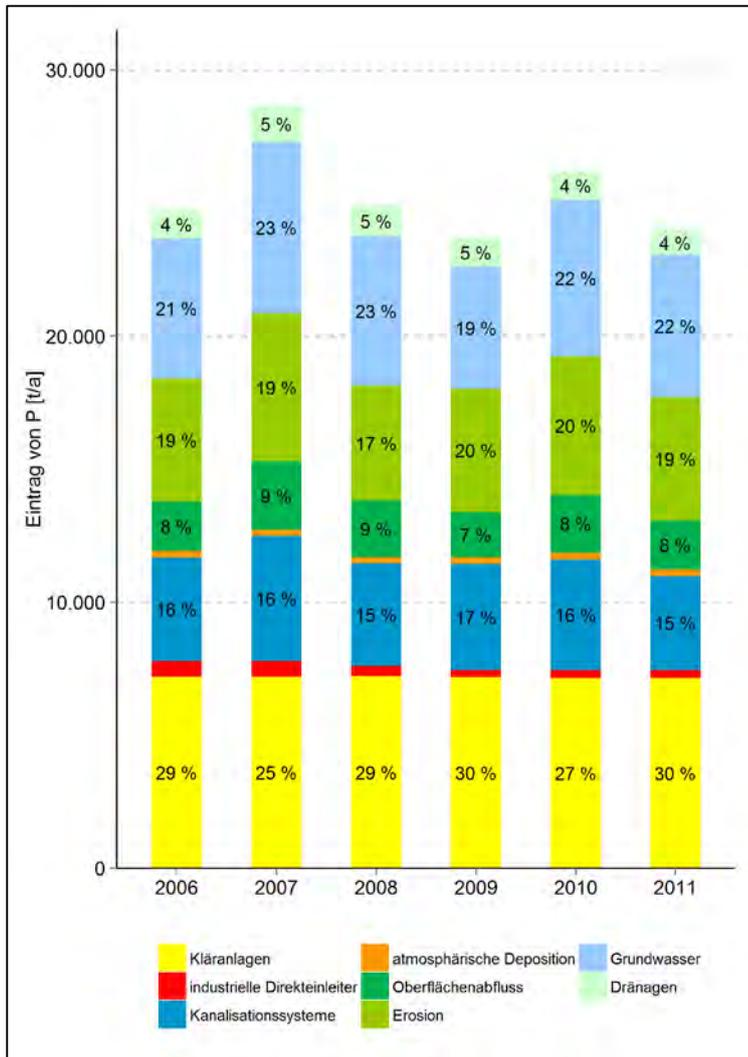


Abbildung 56: Phosphor-Einträge für Deutschland für die Einzeljahre im Zeitraum 2006-2011



## 6.1.2 Schwermetalle

Die Mittelwerte der Schwermetall-Einträge in die deutschen Oberflächengewässer der Einzeljahre im Zeitraum 2006-2011 sind Tabelle 45 zu entnehmen. Die Abbildung 57 bis Abbildung 63 geben einen detaillierten Überblick über die Gesamteinträge und die Relevanz der einzelnen Eintragspfade für die verschiedenen Schwermetalle für die Einzeljahre im Zeitraum 2006-2011.

Die mittleren Cd-Einträge in die deutschen Oberflächengewässer betragen für den Zeitraum 2006-2011 ca. 7.820 kg/a (Abbildung 57). Cd zeichnet sich dadurch aus, dass die Einträge nicht dominant aus einem Pfad resultieren, sondern relativ gleichverteilt über mehrere Eintragspfade in die Oberflächengewässer eingetragen werden. Nichtsdestotrotz ist die Dominanz der Einträge über Altbergbau und Grundwasser bemerkbar mit insgesamt 2.980 kg/a und 38 % Anteil am Gesamteintrag. Ein weiterer wichtiger Eintragspfad ist die Erosion. Alle anderen Eintragspfade tragen mit 10 % oder weniger zum Gesamteintrag bei. Die Schwankungen der Gesamteinträge der Einzeljahre liegen bezogen auf den Mittelwert für den Zeitraum 2006-2011 zwischen -10 % und +15 %. Die rechnerisch hohen Einträge durch Dränagen und Grundwasser sind durch Konzentrationsangaben bedingt, die teilweise sehr alt sind. Sie müssen dringend angepasst werden. Dies geschieht derzeit im Rahmen des UBA-

Vorhabens „Eintragsinventare prioritärer Schadstoffe – Berücksichtigung der Besonderheiten ubiquitärer Schadstoffe“(FKZ: 371 421 2000).

Der mittlere Eintrag von Cr für den Zeitraum 2006-2011 in Deutschland beläuft sich auf 293.000 kg/a. Cr (Abbildung 58) ist im Gegensatz zu Cd ein Schwermetall, dessen Einträge deutlich durch einen einzigen Eintragspfad, die Erosion, mit 69 % der Gesamteinträge geprägt sind. Weitere relevante Pfade sind Grundwasser, Dränagen und industrielle Direkteinleiter mit insgesamt 21 % der Gesamteinträge. Die restlichen Eintragspfade liegen in der Summe bei 10 % der Gesamteinträge. Die Schwankungen der Gesamteinträge der Einzeljahre liegen bezogen auf den Mittelwert für den Zeitraum 2006-2011 zwischen -10 % und +21 %.

Der mittlere Eintrag von Cu für den Zeitraum 2006-2011 in Deutschland liegt bei 432.000 kg/a. Bei Cu (Abbildung 59) stammt der größte Teil der Einträge aus Kanalisationssystemen mit 28 % der Gesamteinträge, aus Erosion (19 %) und dem Grundwasser (18 %). Ein weiterer wichtiger Eintragspfad sind die kommunalen Kläranlagen (11 %). Die restlichen Eintragspfade liegen jeweils unter 7 % und betragen zusammen 24 % des Gesamteintrags. Die Schwankungen der Gesamteinträge der Einzeljahre liegen bezogen auf den Mittelwert für den Zeitraum 2006-2011 zwischen -5% und +10 %.

Die Hg-Einträge in die deutschen Oberflächengewässer betragen im Mittel für den Zeitraum 2006-2011 1.660 kg/a. Für Hg (Abbildung 60) stellen die Einträge über das Grundwasser und Dränagen die wichtigsten Eintragspfade dar (23 % bzw. 25 % des Gesamteintrags). Weitere wichtige Eintragspfade sind die Kanalisationssysteme und Erosion mit jeweils 17 % der Gesamteinträge. Die restlichen Pfade liegen jeweils unter 9 % und betragen insgesamt 20 % der Gesamteinträge. Die Schwankungen der Gesamteinträge der Einzeljahre liegen bezogen auf den Mittelwert für den Zeitraum 2006-2011 zwischen -10% und +19 %. Die rechnerisch hohen Einträge durch Dränagen und Grundwasser sind durch Konzentrationsangaben bedingt, die lediglich als Angabe „unterhalb BG“ verfügbar waren. Nach Konvention wird mit dem halben Wert der BG gerechnet. Da diese Grundlegendaten jedoch teilweise schon sehr alt sind, müssen sie dringend angepasst werden. Dies geschieht derzeit im Rahmen des UBA-Vorhabens „Eintragsinventare prioritärer Schadstoffe – Berücksichtigung der Besonderheiten ubiquitärer Schadstoffe“(FKZ: 371 421 2000).

Die Ni-Einträge in die deutschen Oberflächengewässer betragen im Mittel für den Zeitraum 2006-2011 542.000 kg/a (Abbildung 61). Ni ist ein Schwermetall, dessen Eintrag in die Oberflächengewässer eindeutig von zwei Eintragspfaden geprägt ist: Grundwasser mit 47 % des Gesamteintrags und Erosion mit 25 %. Über Dränagen werden im Mittel 10 % eingetragen. Die restlichen Pfade sind vernachlässigbar. Die Schwankungen der Gesamteinträge der Einzeljahre liegen bezogen auf den Mittelwert für den Zeitraum 2006-2011 zwischen -8 % und +15 %.

Die mittleren Pb-Einträge in die deutschen Oberflächengewässer betragen für den Zeitraum 2006-2011 ca. 302.000 kg/a. Pb (Abbildung 62) wird mit 63 % der Gesamteinträge überwiegend über Erosion in die Gewässer eingetragen, gefolgt von den Einträgen über Kanalisationssysteme (20 %). Die restlichen Pfade betragen insgesamt 17 % der Gesamteinträge und spielen somit eine untergeordnete Rolle. Die Schwankungen der Gesamteinträge der Einzeljahre liegen bezogen auf den Mittelwert für den Zeitraum 2006-2011 zwischen -10 % und +19 %.

Die mittleren Zn-Einträge in die deutschen Oberflächengewässer betragen für den Zeitraum 2006-2011 2.500.000 kg/a. Zn (Abbildung 63) ist ein Schwermetall, das hauptsächlich aus dem urbanen Bereich in die Gewässer eingetragen wird. Die Pfade Kanalisationssysteme (30 %), Erosion und Oberflächenabfluss (je 15 %) kommunale Kläranlagen (12 %) sind die wichtigsten. Aus dem landwirtschaftlichen Bereich haben die Pfade Erosion und Grundwasser eine größere

Bedeutung (jeweils 15 %). Die Schwankungen der Gesamteinträge der Einzeljahre liegen bezogen auf den Mittelwert für den Zeitraum 2006-2011 zwischen -4 % und +7 %.

Tabelle 45: Mittlere Schwermetall-Einträge im Zeitraum 2006-2011 und prozentualer Anteil der jeweiligen Eintragspfade am Gesamteintrag

| Eintragspfad                 | Cadmium        |            | Chrom          |            | Kupfer         |            | Quecksilber    |            | Nickel         |            | Blei           |            | Zink           |            |
|------------------------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|
|                              | Eintrag [kg/a] | Anteil [%] |
| kommunale Kläranlagen        | 618            | 8          | 7.810          | 3          | 49.500         | 11         | 17             | 1          | 40.500         | 7          | 2.030          | 1          | 297.000        | 12         |
| industrielle Direkteinleiter | 400            | 5          | 14.800         | 5          | 22.200         | 5          | 48             | 3          | 13.200         | 2          | 4.220          | 1          | 133.000        | 5          |
| Altbergbau                   | 1.480          | 19         | 323            | 0          | 13.000         | 3          | 13             | 1          | 18.200         | 3          | 8.050          | 3          | 365.000        | 15         |
| Kanalisationssysteme         | 763            | 10         | 12.000         | 4          | 119.000        | 28         | 276            | 17         | 18.200         | 3          | 59.000         | 20         | 750.000        | 30         |
| atmosphärische Deposition    | 276            | 4          | 3.770          | 1          | 14.300         | 3          | 95             | 6          | 4.380          | 1          | 8.720          | 3          | 70.700         | 3          |
| Oberflächenabfluss           | 784            | 10         | 4.960          | 2          | 30.900         | 7          | 153            | 9          | 8.340          | 2          | 19.300         | 6          | 170.000        | 7          |
| Erosion                      | 1.180          | 15         | 203.000        | 69         | 82.900         | 19         | 277            | 17         | 134.000        | 25         | 191.000        | 63         | 376.000        | 15         |
| Grundwasser                  | 1.500          | 19         | 19.500         | 7          | 77.200         | 18         | 375            | 23         | 254.000        | 47         | 8.240          | 3          | 225.000        | 9          |
| Dränagen                     | 817            | 10         | 26.900         | 9          | 23.400         | 5          | 409            | 25         | 52.000         | 10         | 1.630          | 1          | 111.000        | 4          |
| Gesamt                       | 7.820          | 100        | 293.000        | 100        | 432.000        | 100        | 1.660          | 100        | 542.000        | 100        | 302.000        | 100        | 2.500.000      | 100        |

Abbildung 57: Cadmium-Einträge für Deutschland für die Einzeljahre im Zeitraum 2006-2011

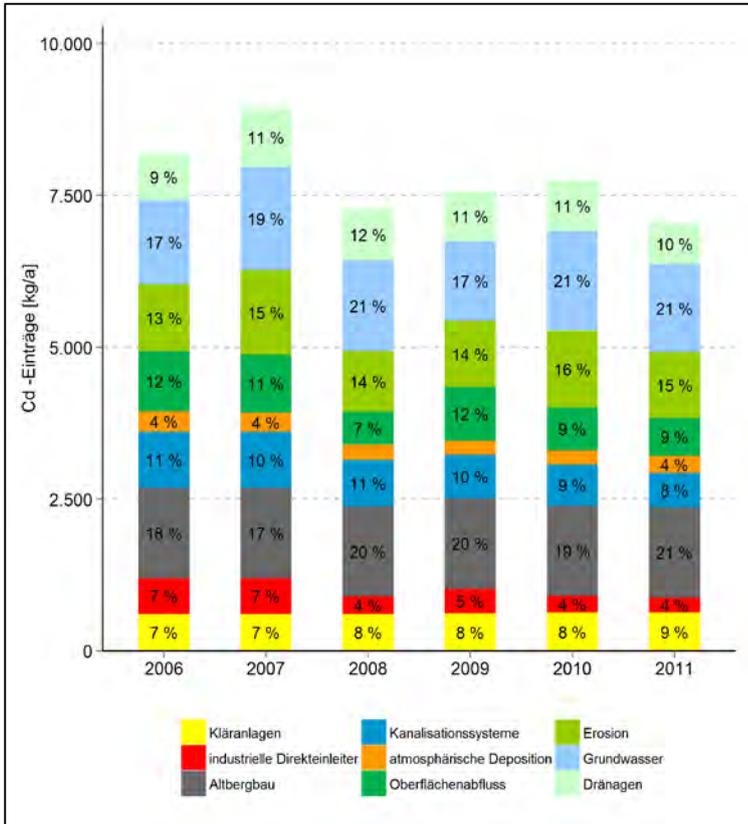


Abbildung 58: Chrom-Einträge für Deutschland für die Einzeljahre im Zeitraum 2006-2011

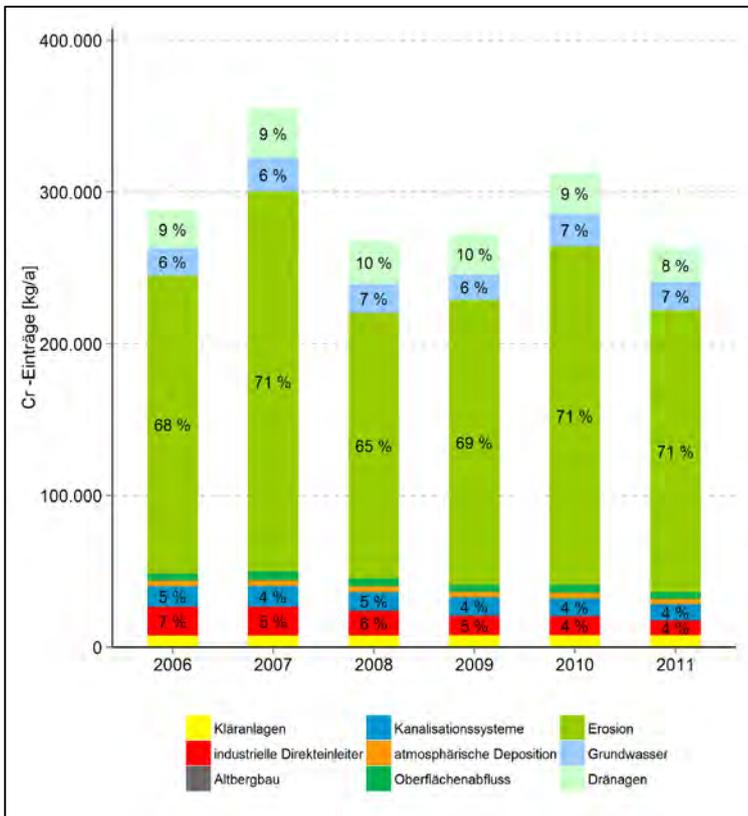


Abbildung 59: Kupfer-Einträge für Deutschland für die Einzeljahre im Zeitraum 2006-2011

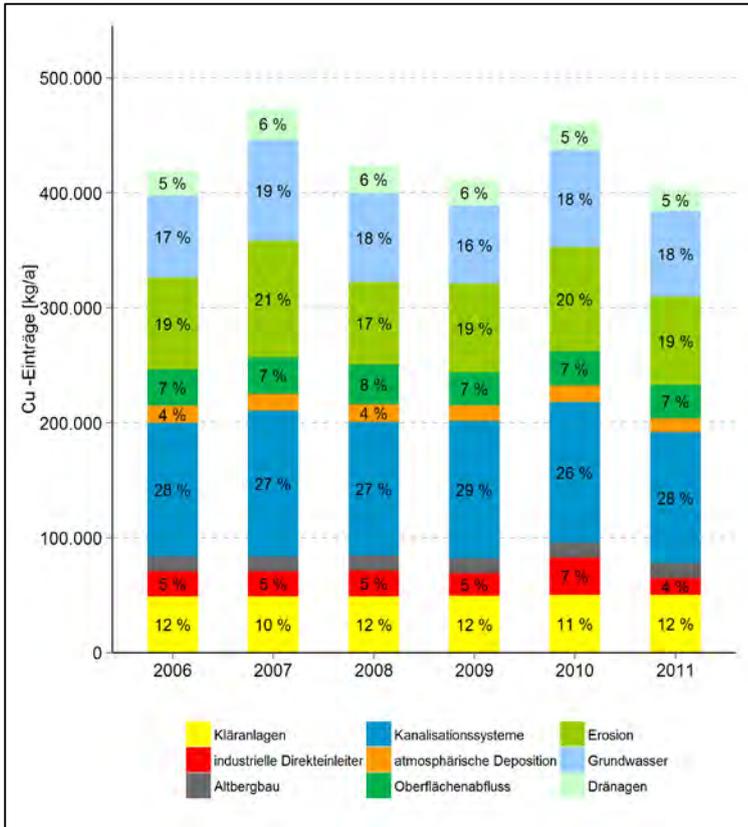


Abbildung 60: Quecksilber-Einträge für Deutschland für die Einzeljahre im Zeitraum 2006-2011

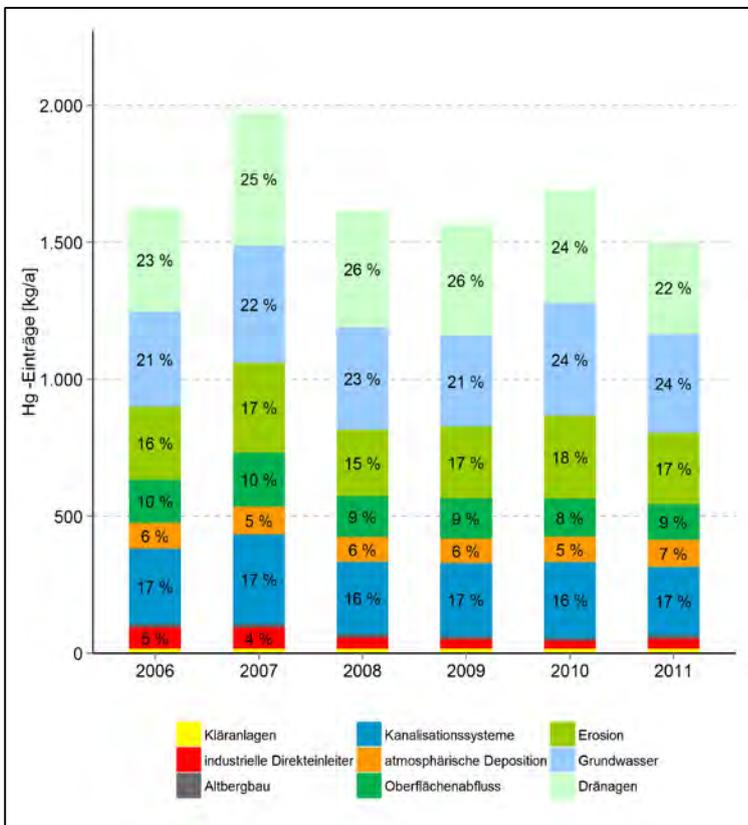


Abbildung 61: Nickel-Einträge für Deutschland für die Einzeljahre im Zeitraum 2006-2011

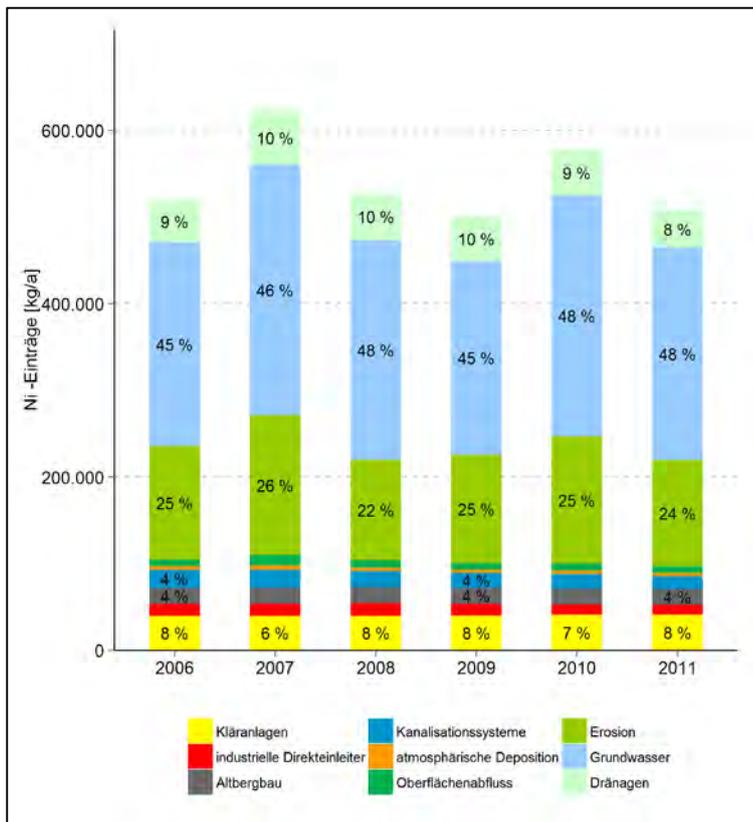


Abbildung 62: Blei-Einträge für Deutschland für die Einzeljahre im Zeitraum 2006-2011

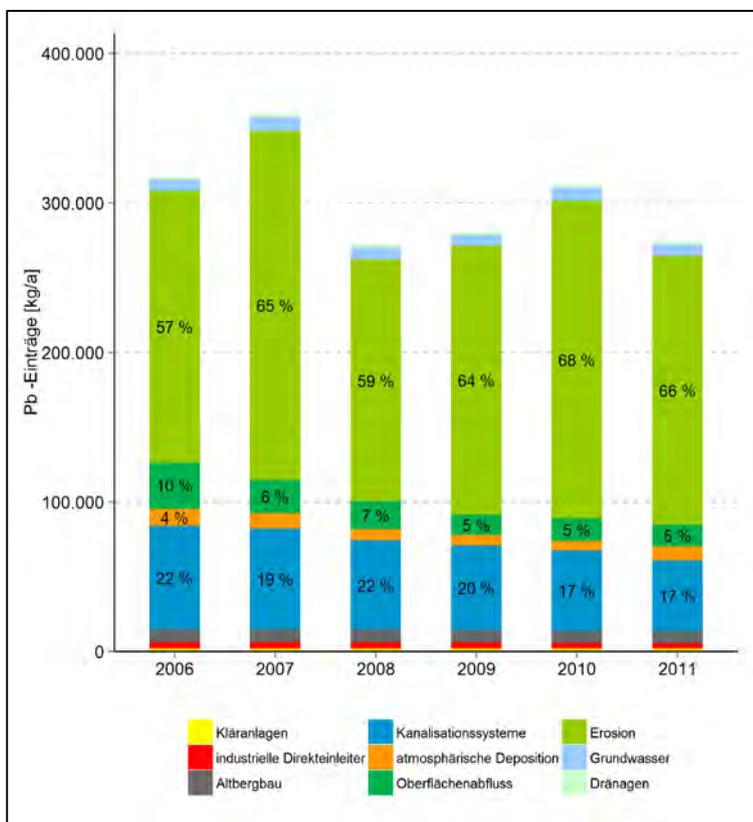
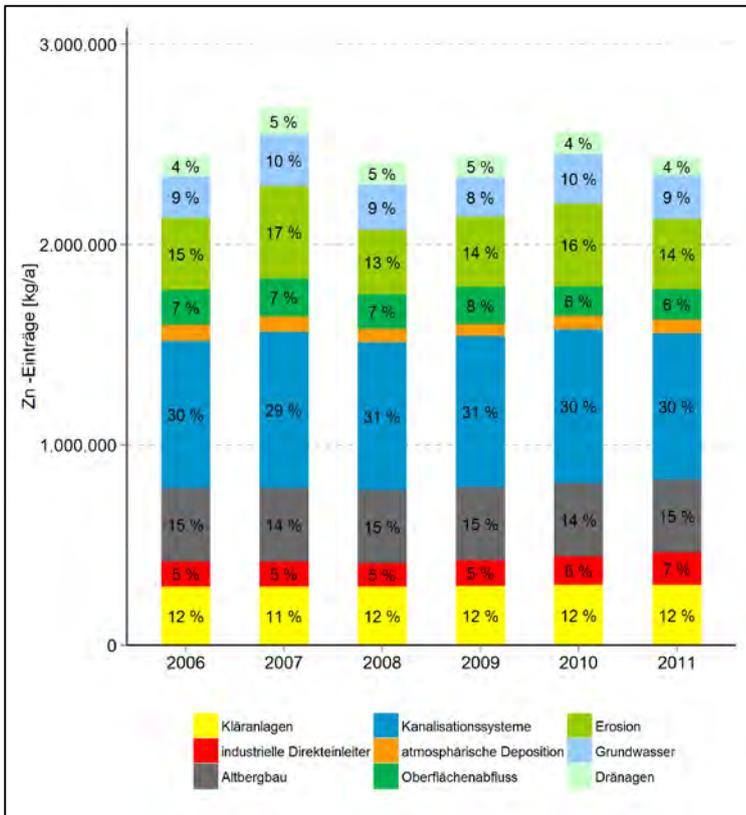


Abbildung 63: Zink-Einträge für Deutschland für die Einzeljahre im Zeitraum 2006-2011



### 6.1.3 PAK<sub>16</sub>

Die mittleren PAK<sub>16</sub>-Einträge in die deutschen Oberflächengewässer betragen für den Zeitraum 2006-2011 ca. 15.100 kg/a. Die Kanalisationssysteme sind mit 48 % des Gesamteintrags der Haupteintragspfad. Weiterer wichtiger Pfad ist die direkte atmosphärische Deposition auf die Gewässeroberfläche (18 %). Ebenfalls relevante Pfade sind der Oberflächenabfluss, die Erosion und die Binnenschifffahrt mit insgesamt 27 %. Eine untergeordnete Rolle spielen die restlichen Eintragspfade. Abbildung 64 zeigt, dass deutlich höhere Einträge über atmosphärische Deposition um ca. 10 % ab dem Jahr 2010 zu verzeichnen sind. Dies ist durch einen Methodenwechsel bei der Datenerzeugung bedingt. Weitere Details dazu sind in Fuchs et al. (2014a) beschrieben.

Abbildung 64 veranschaulicht die Relevanz der Eintragspfade für  $\Sigma$  EPA-PAK<sub>16</sub> in den Einzeljahren im Zeitraum 2006-2011. Die Schwankungen der Gesamteinträge der Einzeljahre liegen bezogen auf den Mittelwert für den Zeitraum 2006-2011 zwischen -7 % und +11 %.

Abbildung 64: PAK<sub>16</sub>-Einträge für Deutschland für die Einzeljahre im Zeitraum 2006-2011

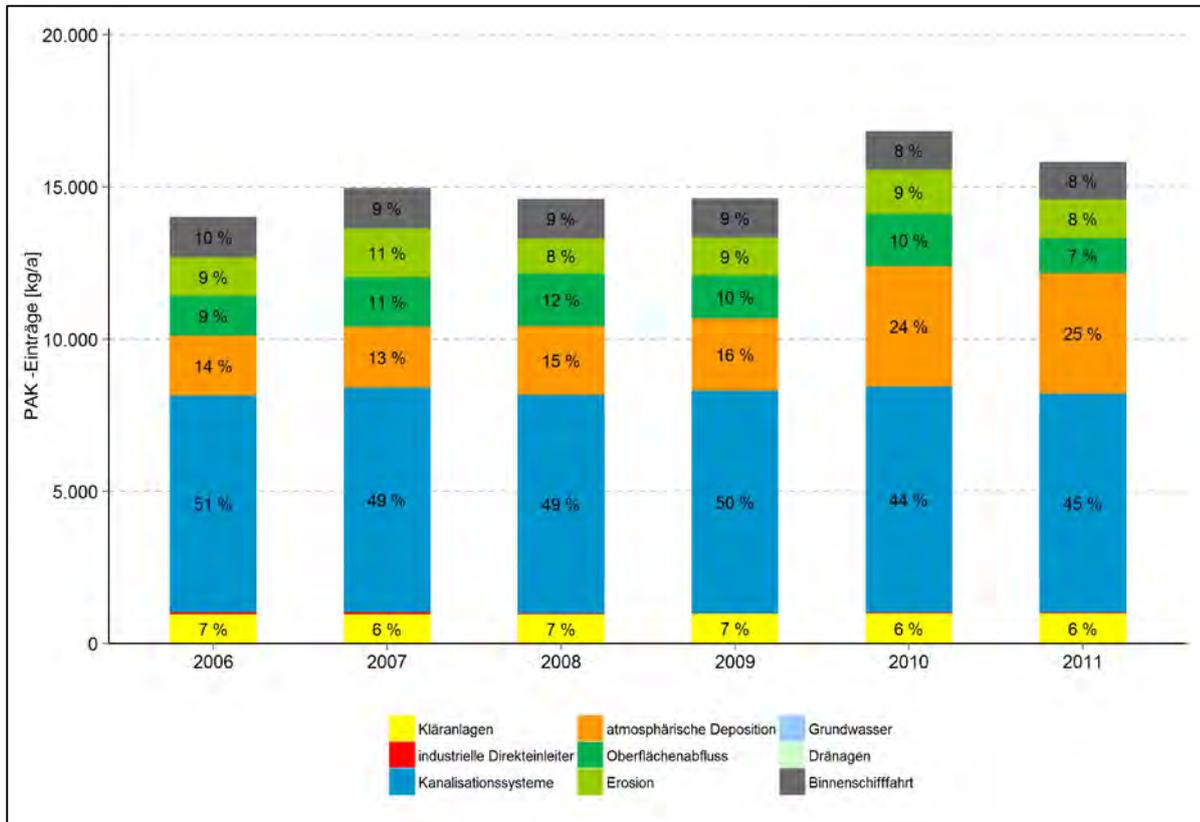


Tabelle 46: Mittlere PAK<sub>16</sub>-Einträge für den Zeitraum 2006-2011 und prozentualer Anteil der jeweiligen Eintragspfade am Gesamteintrag

| Eintragspfad                 | Eintrag [kg/a] | Anteil [%] |
|------------------------------|----------------|------------|
| kommunale Kläranlagen        | 974            | 6          |
| industrielle Direkteinleiter | 43             | 0          |
| Kanalisationssysteme         | 7.260          | 48         |
| atmosphärische Deposition    | 2.750          | 18         |
| Oberflächenabfluss           | 1.490          | 10         |
| Erosion                      | 1.330          | 9          |
| Grundwasser                  | 0              | 0          |
| Dränagen                     | 0              | 0          |
| Binnenschifffahrt            | 1.300          | 9          |
| Gesamt                       | 15.100         | 100        |

### 6.1.4 Zusammenfassung

In Tabelle 47 sind die Ergebnisse nach Fuchs et al. (2014a) den Ergebnissen nach der angepassten Variante gegenübergestellt sowie die daraus resultierenden Änderungen aufgeführt. Die Daten beziehen sich auf den Mittelwert des Zeitraums 2006-2011.

Dabei ist bei Stickstoff eine 10 %ige Reduktion der Gesamteinträge von 578.000 auf 520.000 t/a zu verzeichnen. Das resultiert einerseits aus der beschriebenen Anpassungen der Modellansätze (Abschnitt 3.5 „Kanalisationssysteme“ bzw. 3.7 „Dränagen“). Andererseits wirken sich zwei Eingangsdatensätze entscheidend auf die Einträge aus: die im Mittel niedrigeren N-Überschüsse (Abschnitt 3.3) und die im Mittel gestiegenen versiegelten Flächen (Abschnitt 3.5). Durch die niedrigeren N-Überschüsse sinken die Einträge über Dränagen bzw. Grundwasser. Durch die im Mittel gestiegenen versiegelten Flächen ergibt sich rechnerisch eine Verminderung der natürlichen Flächen in den AU. Da die natürlichen Flächen, die zur Grundwasserneubildung beitragen dadurch verringert werden, äußert sich der Effekt in einer Verringerung des Grundwasserzuflusses und dementsprechend der Stoffeinträge über Grundwasser. Diese Zusammenhänge gelten grundsätzlich für alle modellierten Stoffe.

Bei Phosphor ist eine leichte Zunahme der Einträge um 1 % zu beobachten.

Bei den Schwermetallen zeigt sich für Kupfer und Zink eine Reduktion der Einträge durch die Anpassungen um -7 % bzw. -1 %. Bei den übrigen Schwermetallen ergibt sich eine Zunahme der Einträge, wobei für Blei der Anstieg bis zu 29 % reicht.

Bei den PAK<sub>16</sub> wird ebenfalls eine Zunahme der Gesamteinträge um 7 % im Vergleich zu den Ergebnissen der Basisvariante verzeichnet.

In Abbildung 65 bis Abbildung 67 ist die relative Bedeutung der Eintragspfade an dem Gesamteintrag für Deutschland gemittelt für den Zeitraum 2006-2011 dargestellt. Im Vergleich ergeben sich insgesamt keine großen Änderungen.

Beim Stickstoff ist der Anteil des Pfades Grundwasser am Gesamteintrag um 2 % niedriger, ebenso beim Eintragspfad Dränagen. Die Relevanz der kommunalen Kläranlagen ist dagegen um 2 % gestiegen. Aufgrund der vergleichsweise geringen Änderungen stellen die Pfade Grundwasser, Dränagen und kommunale Kläranlagen mit 54 %, 14 % und 16 % weiterhin die Haupteintragspfade dar. Bei Phosphor ist die Relevanz der Eintragspfade kommunale Kläranlagen, Grundwasser und Oberflächenabfluss um 1 % gesunken, bei den Kanalisationssystemen ist die Relevanz des Pfades um 2 % gestiegen. Nach wie vor haben die Pfade Kläranlagen, Grundwasser, Erosion und Kanalisationssysteme einen Anteil von ca. 80 % am Gesamteintrag.

Bei den Schwermetallen sinkt die Relevanz der Dränagen für die meisten Stoffe während bei dem Grundwasserpfad ein leichter Anstieg um ca. 1 % resultiert. Bei dem Pfad Erosion wird eine Zunahme der Relevanz für alle Schwermetalle beobachtet, die zwischen 3 und 5 % liegt. Eine Abnahme der Relevanz ergibt sich bei dem Pfad Kanalisationssysteme für Kupfer und Zink, ein Zunahme bei Cadmium und Quecksilber. Die Tendenzen der Relevanzverteilung bleiben insgesamt unverändert, es ist jedoch eine leichte Verschiebung in der Größenordnung bis zu 5 % zu beobachten.

Für Cadmium stammt in der Periode 2006-2011 der größte Teil der Einträge aus dem Altbergbau (19 %) und Grundwasser (19 %). Weitere wichtige Eintragspfade sind die Erosion (15 %), Kanalisationssysteme (10 %), Dränagen (10 %) und Oberflächenabfluss (10 %).

Für Chrom ist in der Periode 2006-2011 Erosion mit Abstand der wichtigste Eintragspfad (69 %). Danach folgen Dränagen (9 %), Grundwasser (7 %) und industrielle Direkteinleiter (5 %).

Bei Kupfer sind die Kanalisationssysteme der wichtigste Eintragspfad (28 %). Danach folgen Erosion (19 %), Grundwasser (18 %) und kommunale Kläranlagen (11 %).

Die Quecksilber-Einträge über das Grundwasser und Dränagen stellen die wichtigsten Eintragspfade dar (zusammen 48 %). Danach folgen Erosion (17 %), Kanalisationssysteme (17%)

und Oberflächenabfluss (9 %). Einträge über Kläranlagen hingegen sind vergleichsweise vernachlässigbar (< 1 %).

Wichtige Nickel-Eintragspfade sind nach wie vor Grundwasser (47 %) und Erosion(25 %), gefolgt von Dränagen (10 %) und Kläranlagen (7 %). Die Anteile der restlichen Eintragspfade am Gesamteintrag betragen jeweils < 5 %.

In der Periode 2006-2011 ist für Blei die Erosion der wichtigste Eintragspfad (63 %). Danach folgen Kanalisationssysteme (20 %) und Oberflächenabfluss (6 %). Der Anteil aller weiteren Eintragspfade liegt jeweils unter 5 %.

Für Zink sind die Kanalisationssysteme der wichtigste Eintragspfad (30 %), danach folgen Altbergbau (15 %), Erosion (15 %) und kommunale Kläranlagen (12 %).

Bei den PAK ist eine Zunahme der Relevanz des Pfads Kanalisationssysteme um 8 % zu verzeichnen. Weiterhin machen aber die Pfade Kanalisationssysteme und atmosphärische Deposition den über 50 % der Einträge aus.

Tabelle 47: Vergleich der stoffspezifischen Gesamteinträge im Zeitraum 2006-2011

| Stoffe            | Einheit | Eintrag Basisvariante | Eintrag angepasste Variante | prozentuale Veränderung [%] |
|-------------------|---------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Stickstoff        | t/a     | 578.000               | 520.000                     | -10                         |
| Phosphor          | t/a     | 25.000                | 25.300                      | 1                           |
| Cadmium           | kg/a    | 7.580                 | 7.820                       | 3                           |
| Chrom             | kg/a    | 253.000               | 293.000                     | 16                          |
| Kupfer            | kg/a    | 460.000               | 432.000                     | -6                          |
| Quecksilber       | kg/a    | 1.600                 | 1.660                       | 4                           |
| Nickel            | kg/a    | 524.000               | 542.000                     | 3                           |
| Blei              | kg/a    | 234.000               | 302.000                     | 29                          |
| Zink              | kg/a    | 2.520.000             | 2.500.000                   | -1                          |
| PAK <sub>16</sub> | kg/a    | 14.100                | 15.100                      | 7                           |

Abbildung 65: Relative Bedeutung der Eintragspfade an den Stickstoff (N)- und Phosphor (P)-Gesamteinträgen im Mittel für den Zeitraum 2006-2011 (angepasste Variante)

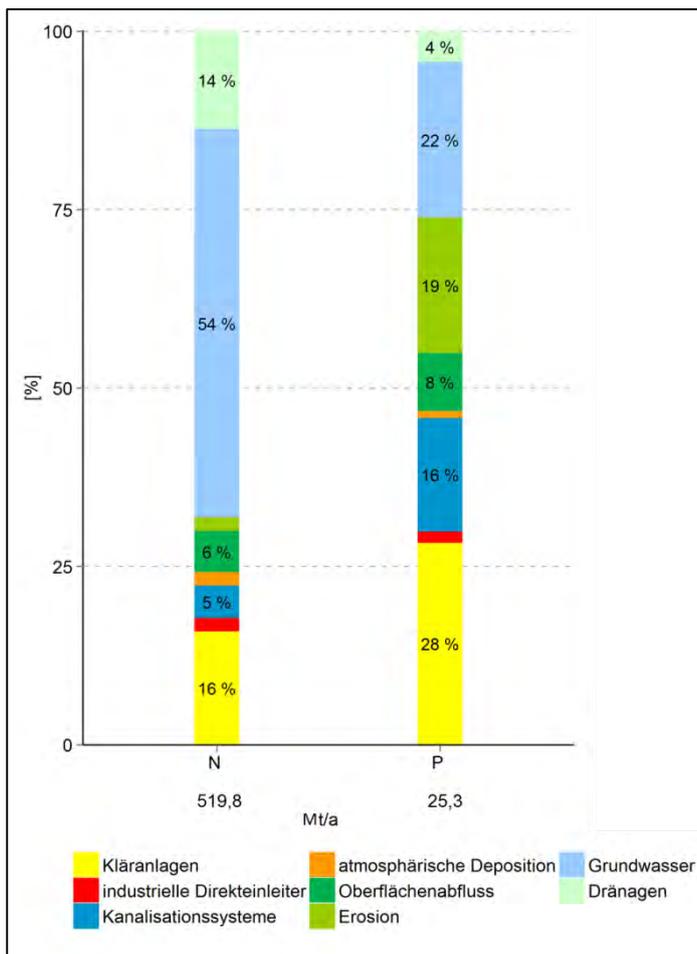


Abbildung 66: Relative Bedeutung der Eintragspfade an den Schwermetall-Gesamteinträgen im Mittel für den Zeitraum 2006-2011 (angepasste Variante)

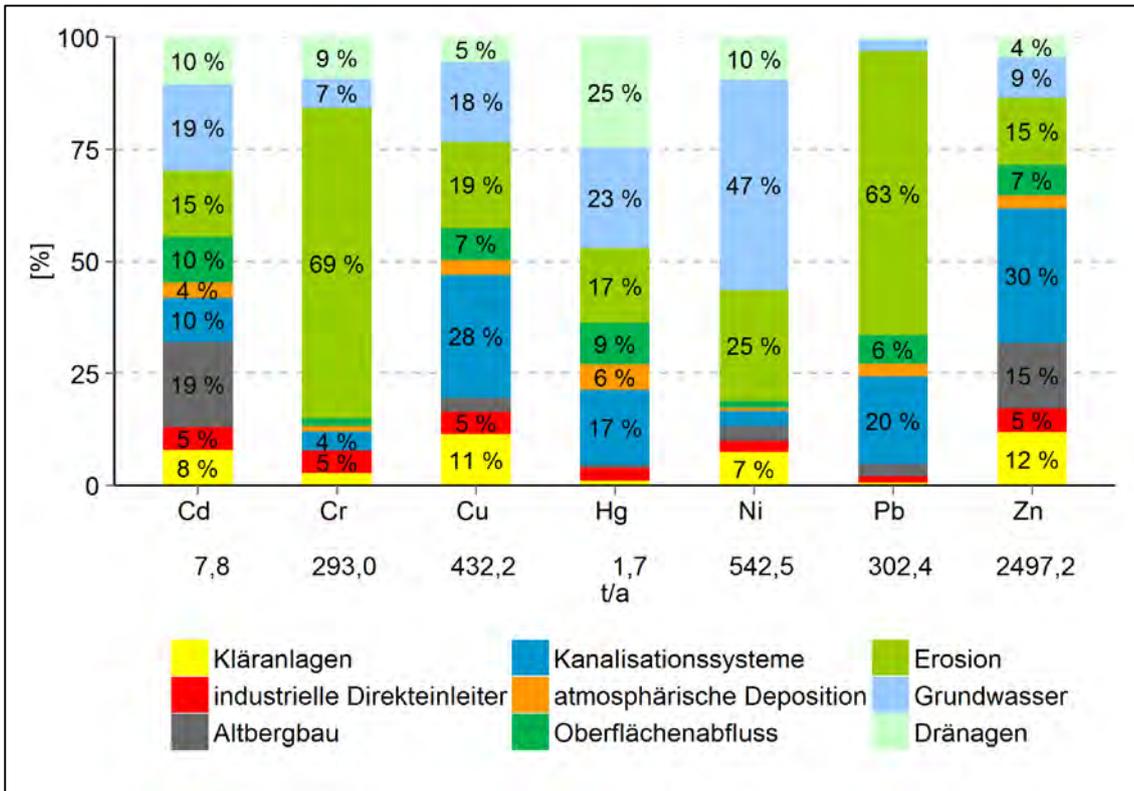
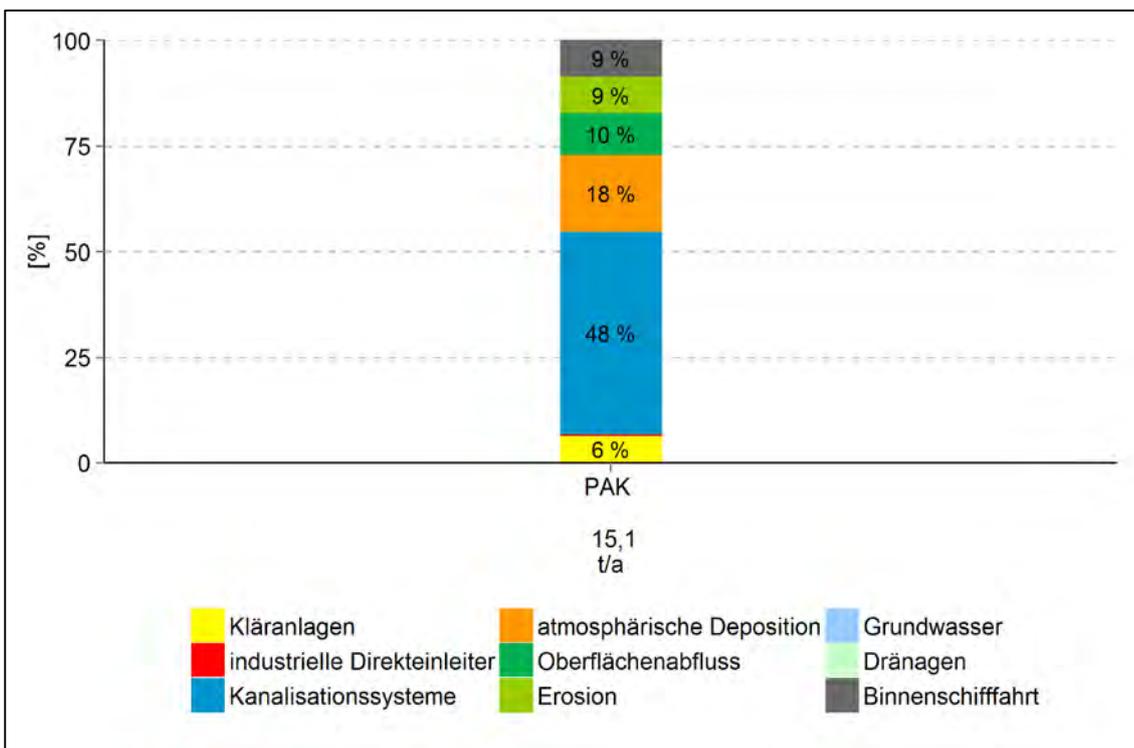


Abbildung 67: Relative Bedeutung der Eintragspfade an den PAK<sub>16</sub>-Gesamteinträgen im Mittel für den Zeitraum 2006-2011 (angepasste Variante)



In den folgenden Abbildungen Abbildung 68 bis Abbildung 77 ist jeweils die regionale Verteilung der Gesamteinträge im Jahr 2010 für die modellierten Stoffe im Vergleich zu den Modellierungsergebnissen für die Basisvariante dargestellt.

Bei Stickstoff zeigen sich flächendeckend niedriger berechnete Einträge in der Größenordnung zwischen 5 und 25 %. Im Nordwesten sind die Einträge um mehr als 25 % niedriger. Im Durchschnitt für Deutschland ergeben sich 26 %-ig bzw. 13 %-ig niedrigere Einträge über Dränagen bzw. Grundwasser, die sich deutlich in den Gesamteinträgen widerspiegelt.

Bei Phosphor ergibt sich in den meisten AU kaum eine Änderung. Tendenziell werden jedoch leicht höhere Gesamteinträge bilanziert. Überwiegend im Nordosten Deutschlands kann diese Erhöhung in der Größenordnung zwischen 5 und 25 % für einige AU liegen.

Für Chrom sind sowohl die deutlich höheren Einträge im Einzugsgebiet des Rheins als auch die deutlich niedrigeren Einträge im Donau-Einzugsgebiet auffällig. Im Norden Deutschlands sind die Gebiete weniger von den Änderungen beeinflusst. Dies ist insbesondere auf die Änderung bei den Oberbodengehalten und die nun räumlich besser aufgelösten Eingangsdaten zurückzuführen (vgl. Abschnitt 3.7).

Bei Zink werden eher niedrigere Gesamteinträge in Süd- und Norddeutschland ermittelt. In der Mitte Deutschlands ist ein inhomogenes Muster mit Zunahmen, Abnahmen und keinen Änderungen zu sehen, aus dem keine eindeutige Tendenz abgeleitet werden kann.

Für die PAK<sub>16</sub> werden tendenziell höhere Gesamteinträge im Norden und der Mitte Deutschlands bilanziert. Im Süden ist jedoch keine eindeutige Tendenz erkennbar.

Abbildung 68: Spezifische Stickstoff-Gesamteinträge im Jahr 2010 in Deutschland

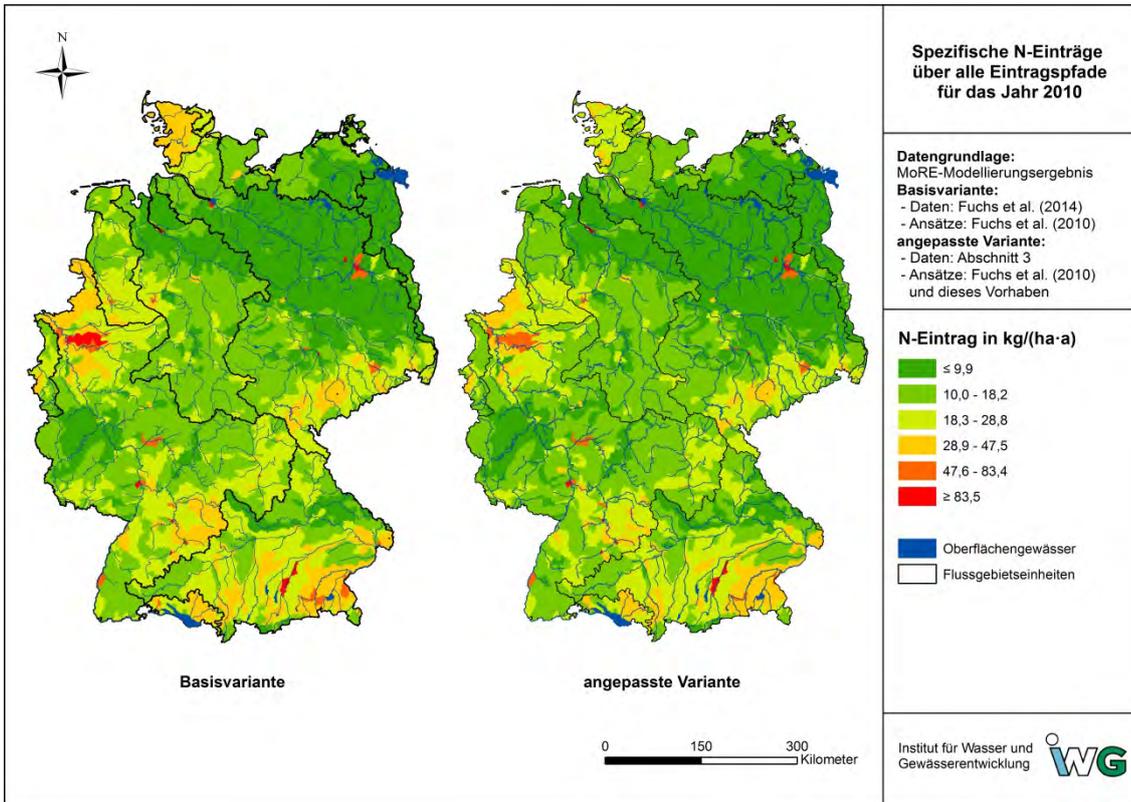


Abbildung 69: Änderung der Stickstoff-Gesamteinträge von angepasster Variante zur Basisvariante im Jahr 2010 in Deutschland

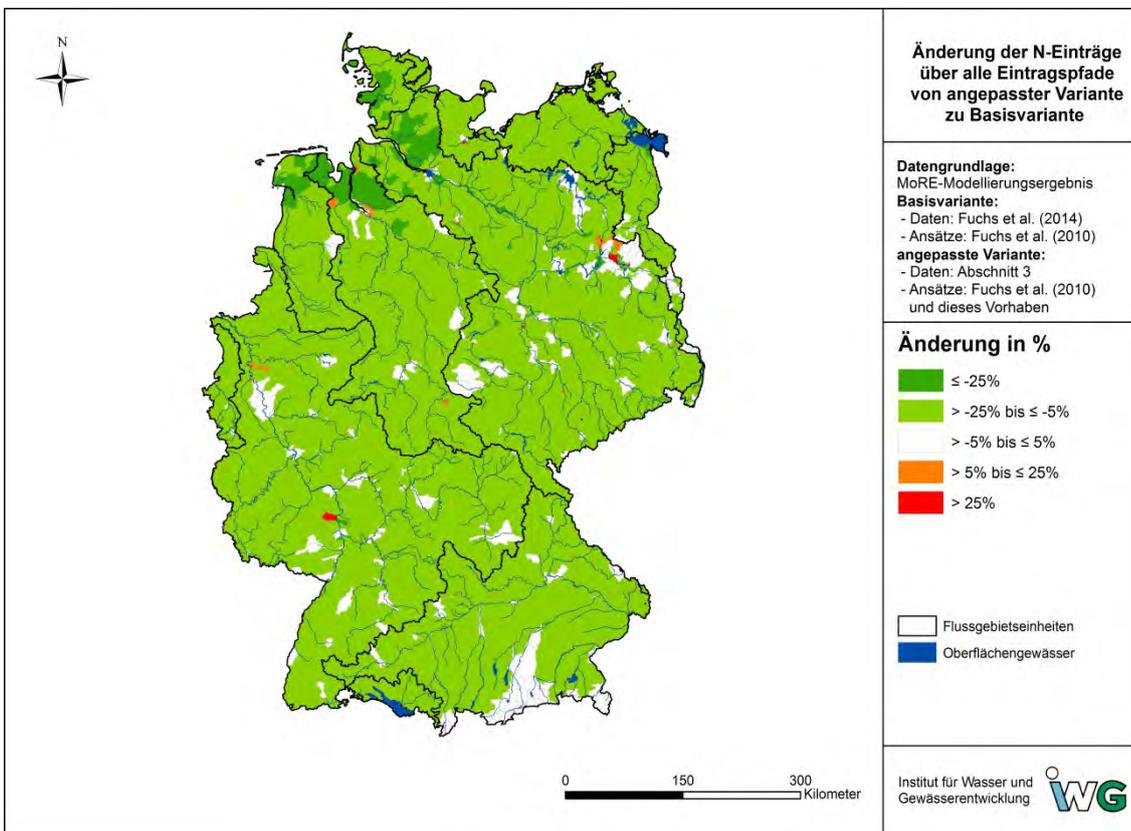


Abbildung 70: Spezifische Phosphor-Gesamteinträge im Jahr 2010 in Deutschland

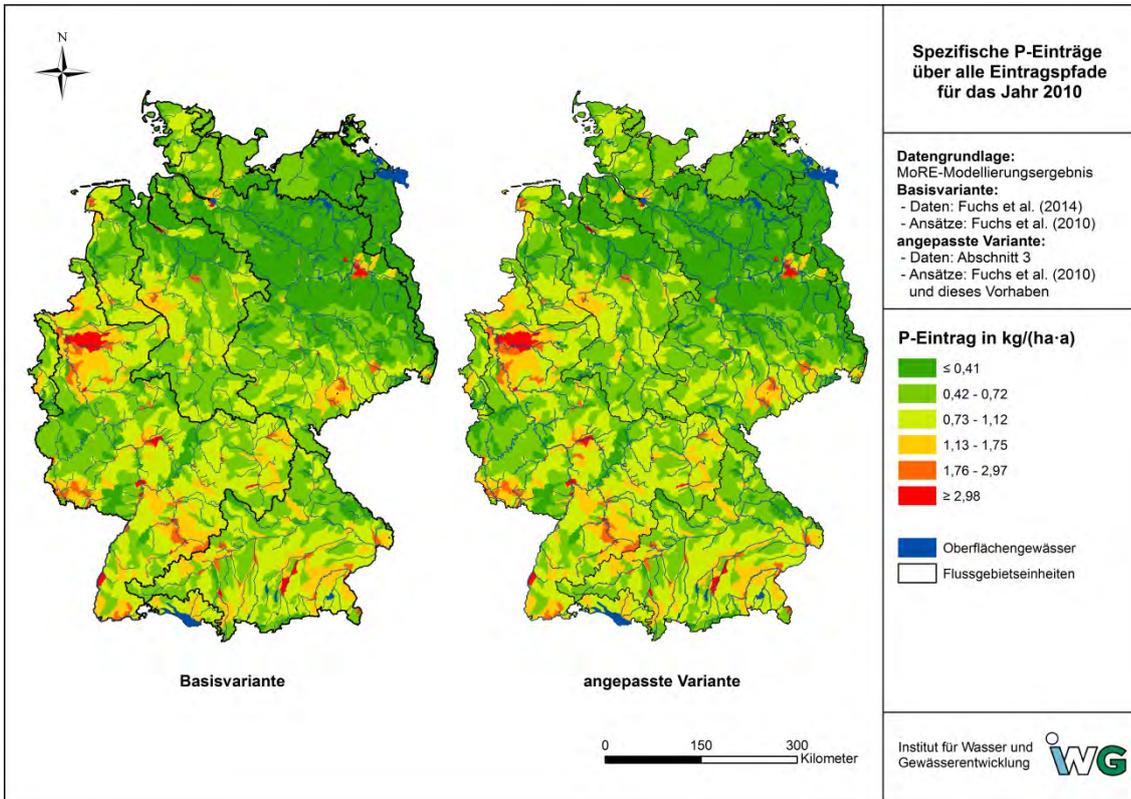


Abbildung 71: Änderung der Phosphor-Gesamteinträge von angepasster Variante zur Basisvariante im Jahr 2010 in Deutschland

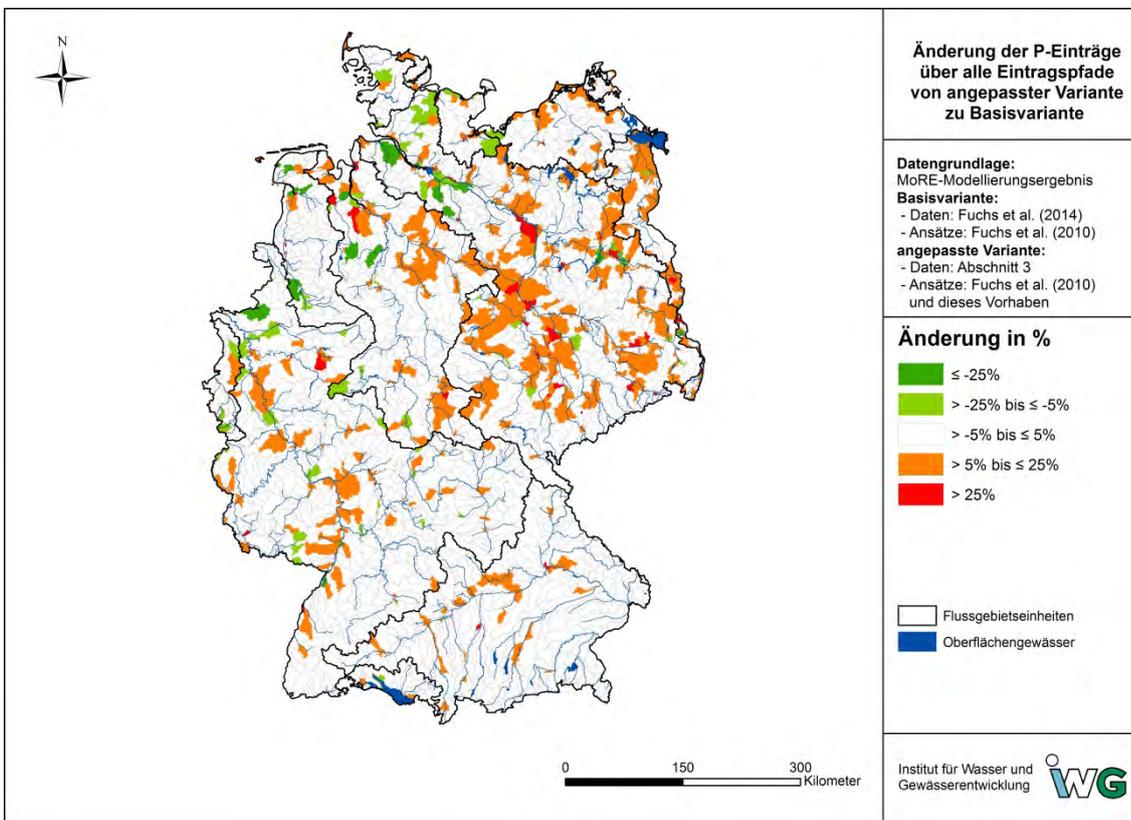


Abbildung 72: Spezifische Chrom-Gesamteinträge im Jahr 2010 in Deutschland

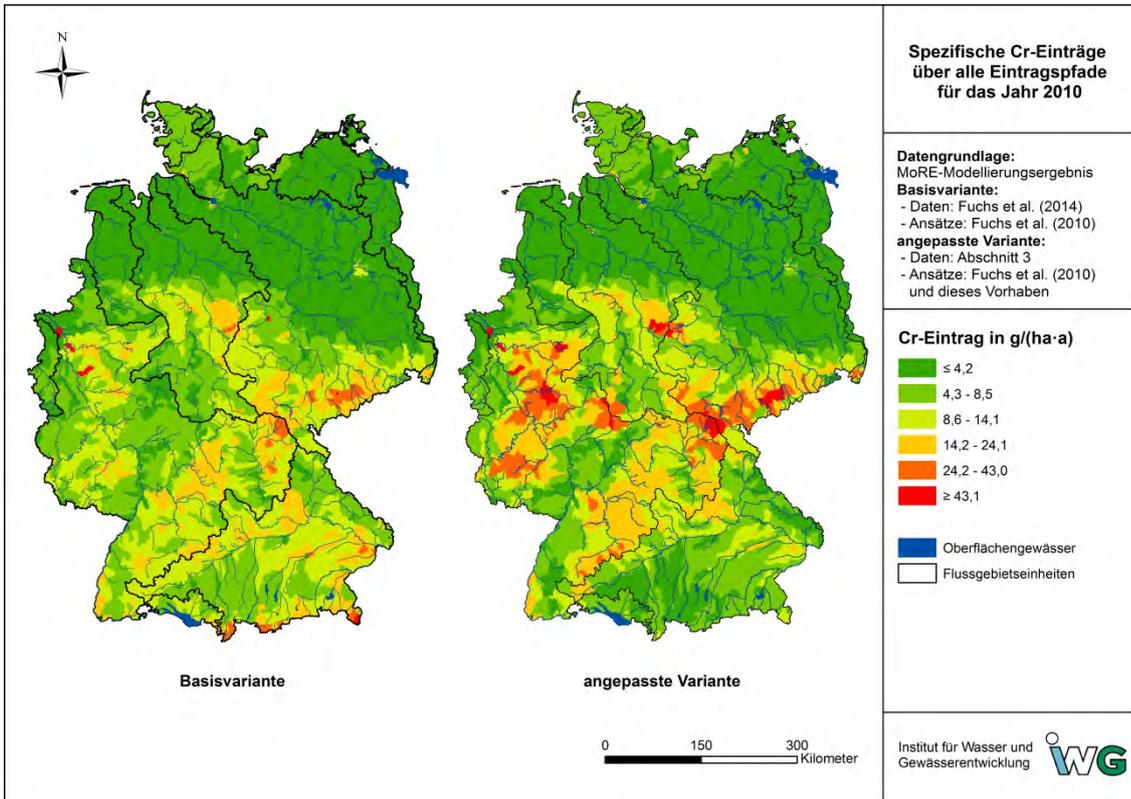


Abbildung 73: Änderung der Chrom-Gesamteinträge von angepasster Variante zur Basisvariante im Jahr 2010 in Deutschland

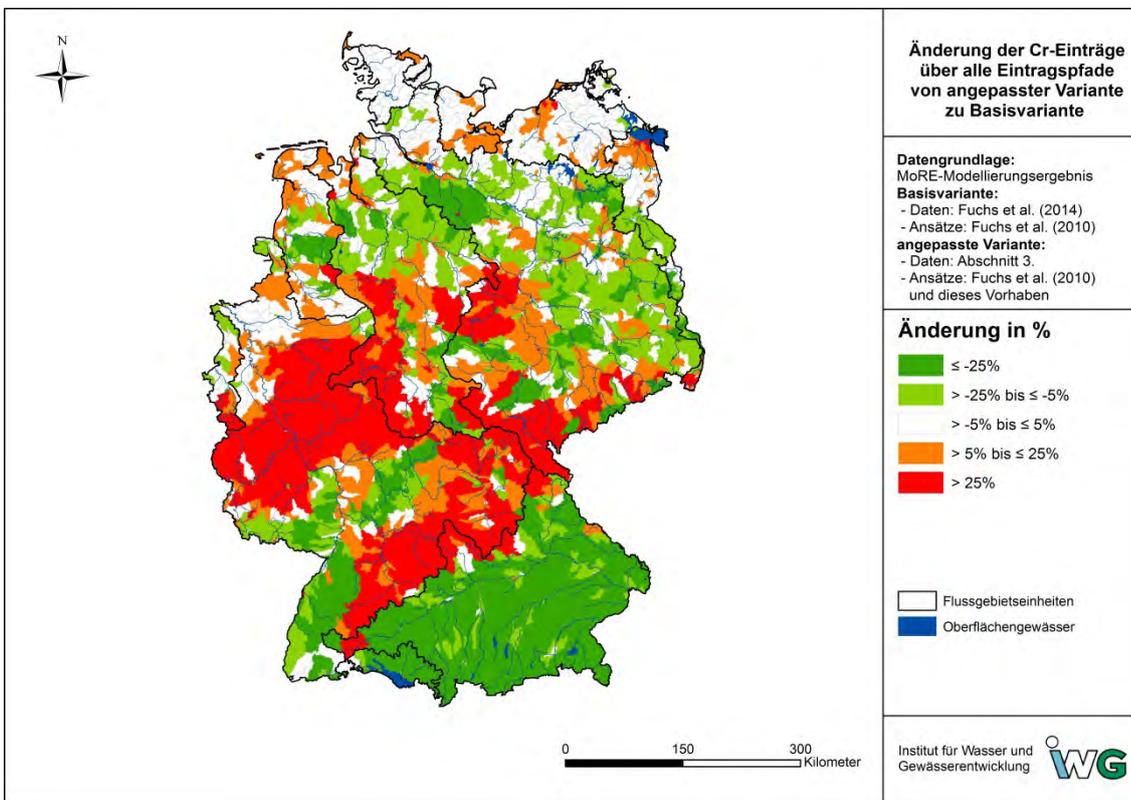


Abbildung 74: Spezifische Zink- Gesamteinträge im Jahr 2010 in Deutschland

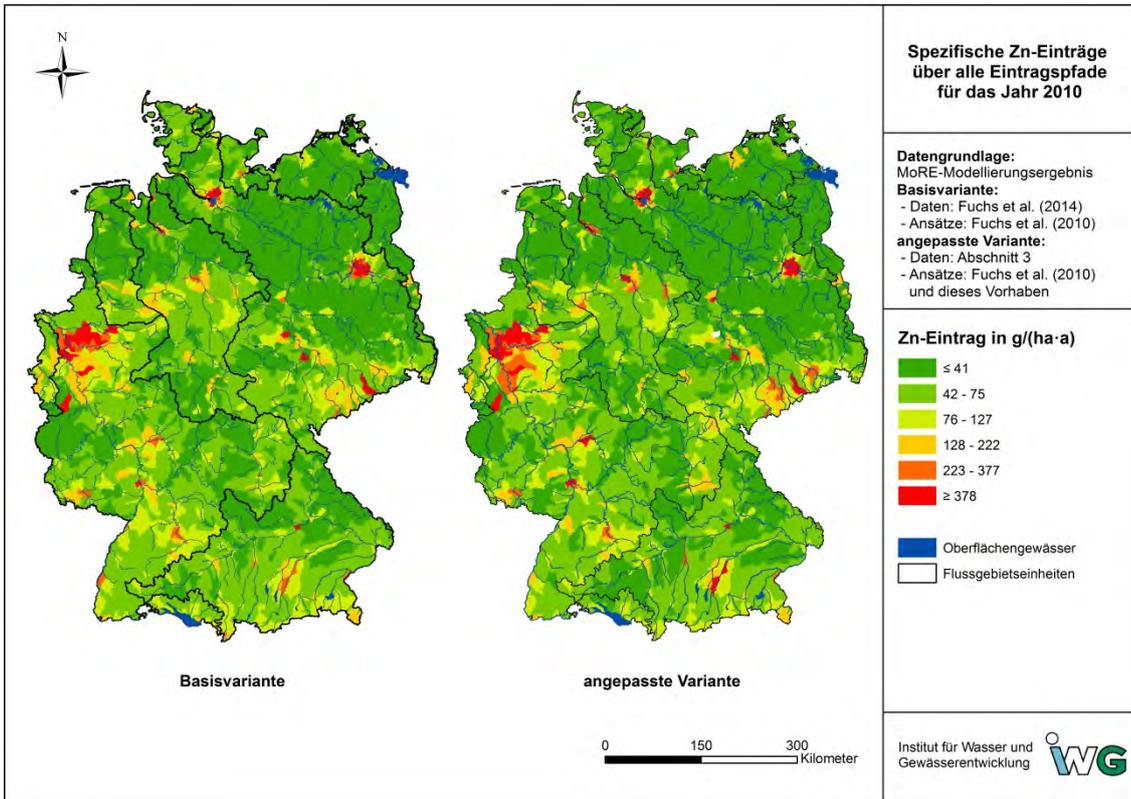


Abbildung 75: Änderung der Zink-Gesamteinträge von angepasster Variante zur Basisvariante im Jahr 2010 in Deutschland

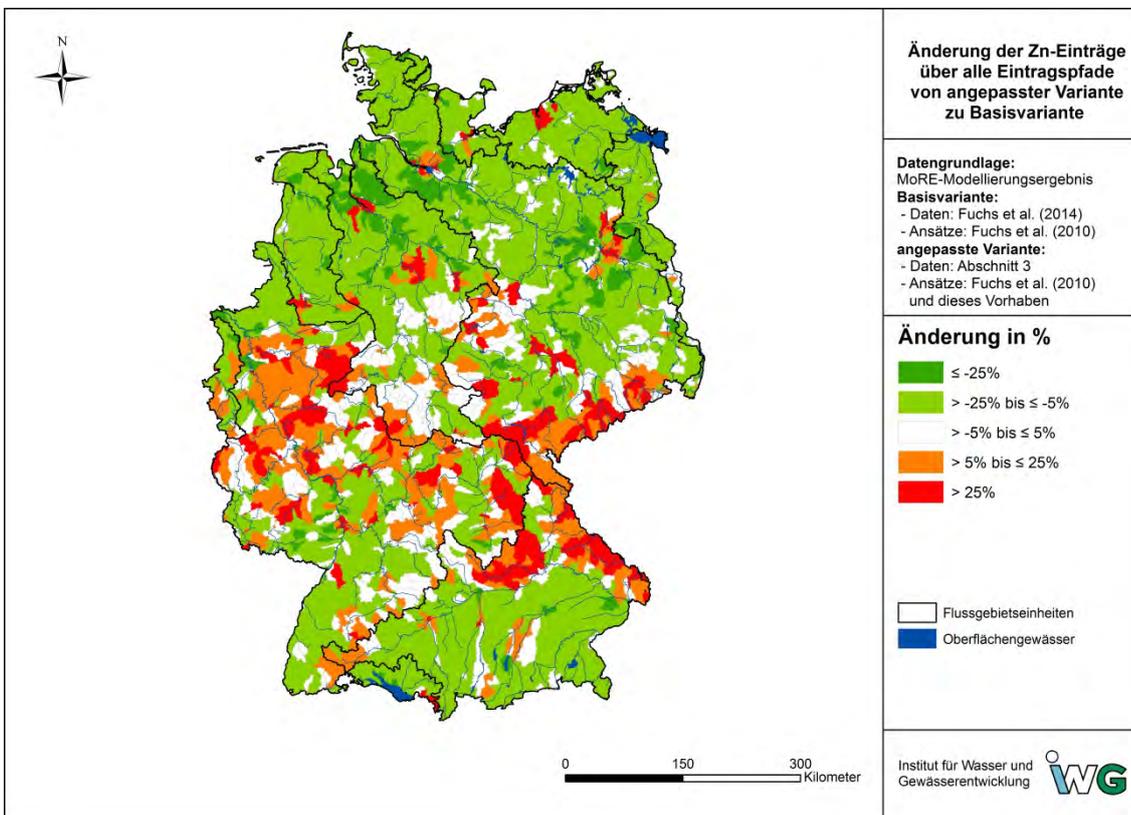


Abbildung 76: Spezifische PAK<sub>16</sub>-Gesamteinträge im Jahr 2010 in Deutschland

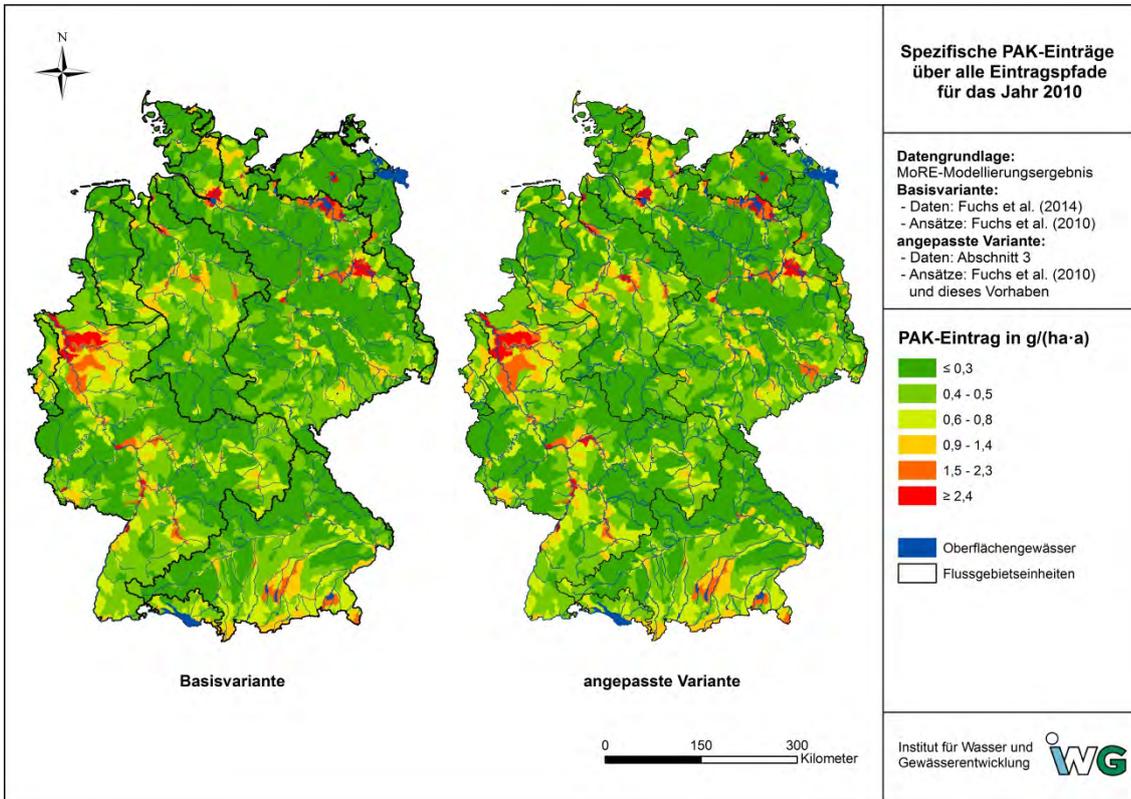
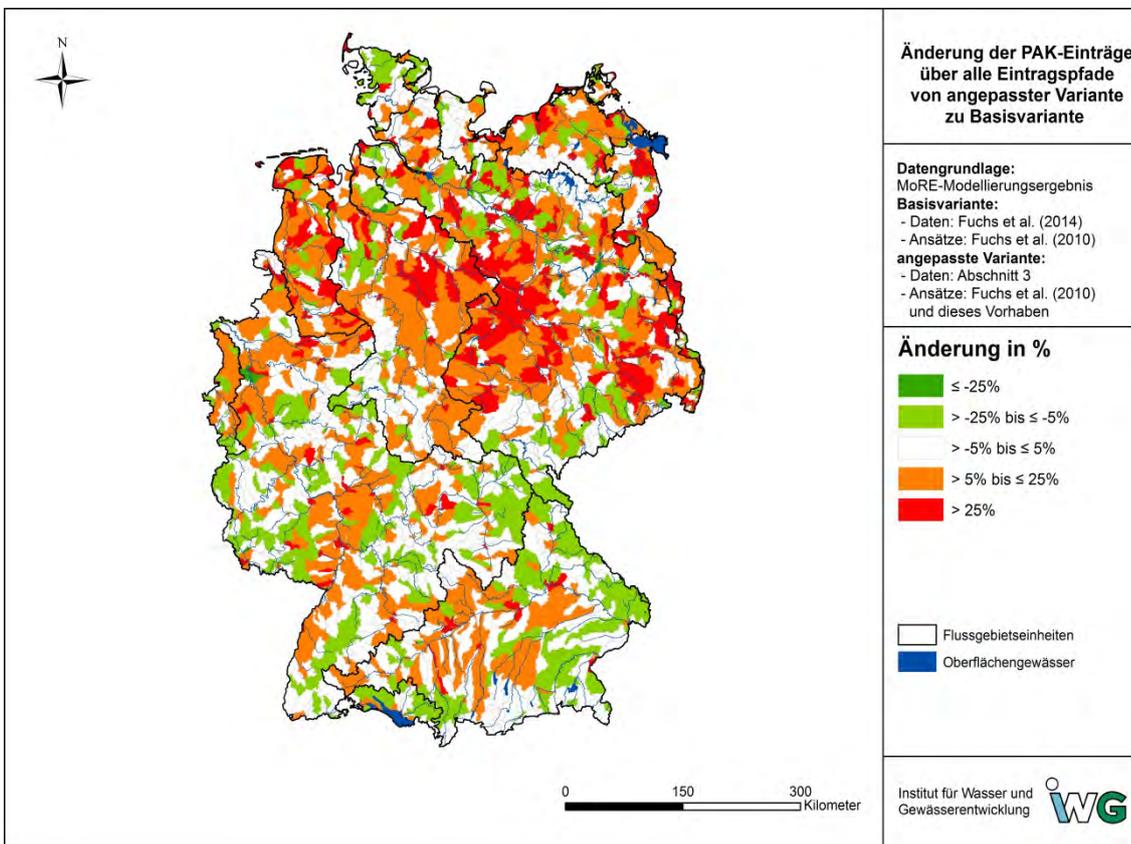


Abbildung 77: Änderung der PAK<sub>16</sub>- Gesamteinträge von angepasster Variante zur Basisvariante im Jahr 2010 in Deutschland



## 6.2 Validierung der Ergebnisse

Zur Validierung der Modellergebnisse werden aus den bilanzierten Stoffeinträgen in die Gewässer Gewässerfrachten abgeleitet. Diese werden den beobachteten Gewässerfrachten gegenübergestellt. Die hierfür verwendeten Daten sowie die Herleitung der beobachteten Gewässerfrachten wird in Abschnitt 8 detailliert erläutert.

Als statistische Güteparameter wurden zur Beurteilung der Plausibilität der modellierten Einträge und Frachten

- die systematische Abweichung (BIAS),
- die Wurzel aus dem mittleren quadratischen Fehler (RMSE) sowie
- der Modelleffizienzkoeffizient nach Nash-Sutcliffe (Nash und Sutcliffe 1970)

herangezogen.

Eine umfassende Validierung der Modellergebnisse kann allerdings derzeit nur für die Nährstoffe durchgeführt werden, da für diese die gewässerinternen Retentionsprozesse nach (Venohr et al. 2008) berücksichtigt werden können.

Für die Schwermetalle war eine Anpassung der empirischen Retentionsfaktoren im Rahmen dieses Vorhabens nicht möglich. Daher werden bei diesen Stoffen die modellierten Stoffeinträge den beobachteten Gewässerfrachten ohne Berücksichtigung der Retentionsprozesse im Gewässer gegenübergestellt.

Für die PAK erfolgt kein Vergleich modellierter und beobachteter Gewässerfrachten, da sich die modellierten Einträge auf PAK<sub>16</sub> beziehen aber die Gütedaten nur für PAK<sub>9</sub> vorliegen. Zudem müssten ähnlich wie bei den Schwermetallen Retentionsfaktoren neu ermittelt werden.

In Abbildung 78 und Abbildung 79 ist der Vergleich zwischen beobachteten und modellierten Gewässerfrachten für Nährstoffe und Schwermetalle an den Auslässen der AU jeweils für die sechs Einzeljahre für den Zeitraum 2006-2011 dargestellt. Innerhalb der 1:1-Linie wird der Bereich der Abweichung  $\pm 50\%$  dargestellt.

Die modellierten N-Gewässerfrachten streuen eher unterhalb der 1:1-Linie, was bedeutet, dass die modellierten Gewässerfrachten tendenziell niedriger sind als die beobachteten. Die modellierten P-Gewässerfrachten streuen gleichmäßig um die 1:1-Linie. Die Abweichungen zwischen beobachteter und modellierter Gewässerfracht sind dabei für Gütemessstellen mit einem kleineren Einzugsgebiet größer als für die größerer Einzugsgebiete. Die Modelleffizienz ausgedrückt im Nash Sutcliffe ist für beide Stoffe mit über 0,9 sehr hoch. Eine Zusammenstellung der statistischen Güteparameter ist in Tabelle 48 zu finden.

Insgesamt kann eine gute Übereinstimmung der beobachteten und modellierten Nährstoff-Gewässerfrachten festgestellt werden.

Abbildung 78: Vergleich modellierter und beobachteter Gewässerfrachten für die Einzeljahre im Zeitraum 2006-2011 für Nährstoffe

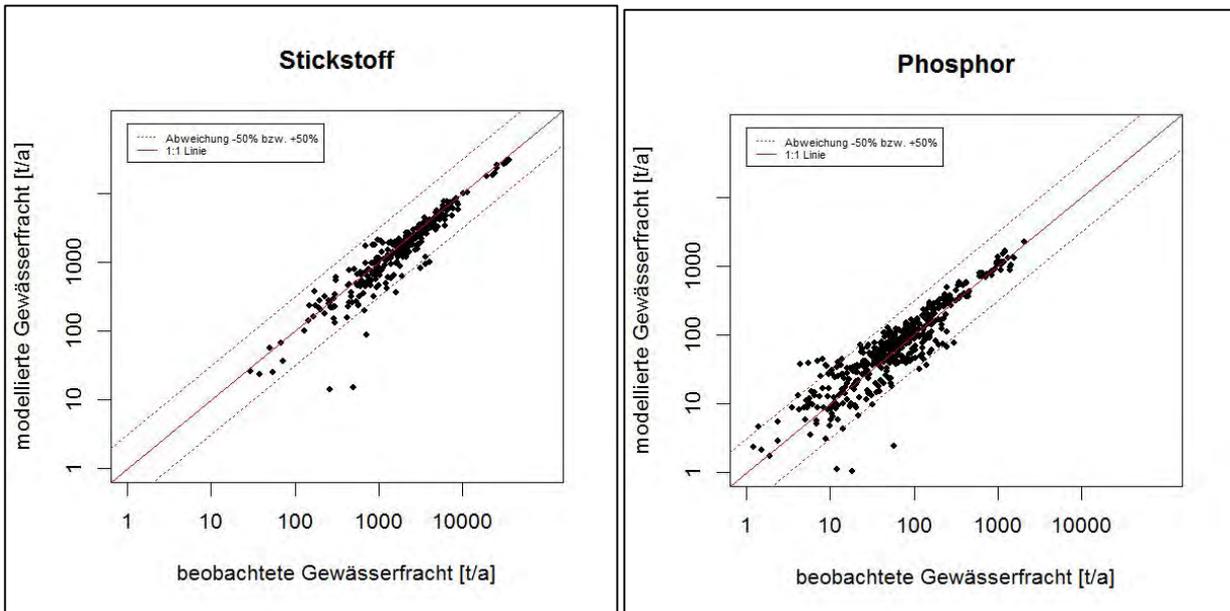


Tabelle 48: Statistische Güteparameter für Nährstoffe

| Stoff      | Einzeljahre von - bis | Anzahl Gütemessstellen | Mittel beobachtet [t/a] | Mittel modelliert [t/a] | BIAS [t/a] | RMSE, [t/a] | Nash Sutcliffe |
|------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------|-------------|----------------|
| Stickstoff | 2006-2011             | 63                     | 3209                    | 2722                    | 488        | 1138        | 0,95           |
| Phosphor   | 2006-2011             | 96                     | 156                     | 168                     | -12        | 74          | 0,93           |

Da bei den Schwermetallen für den Vergleich von modellierten Einträgen mit den an Gütepegeln beobachteten Gewässerfrachten die gewässerinterne Retention nicht berücksichtigt werden konnte, sind die modellierten Einträge von Blei, Chrom, Kupfer, Nickel und Zink tendenziell höher als die Gewässerfrachten (Abbildung 79). Für einige Metalle wie bei Blei, Chrom, Nickel und Zink zeigt sich eine Streuung deutlich über dem Abweichungsbereich von + 50 %. Bei Cadmium und Quecksilber wird diese Tendenz nicht beobachtet, dort streuen die Werte gleichmäßig um die 1:1-Linie.

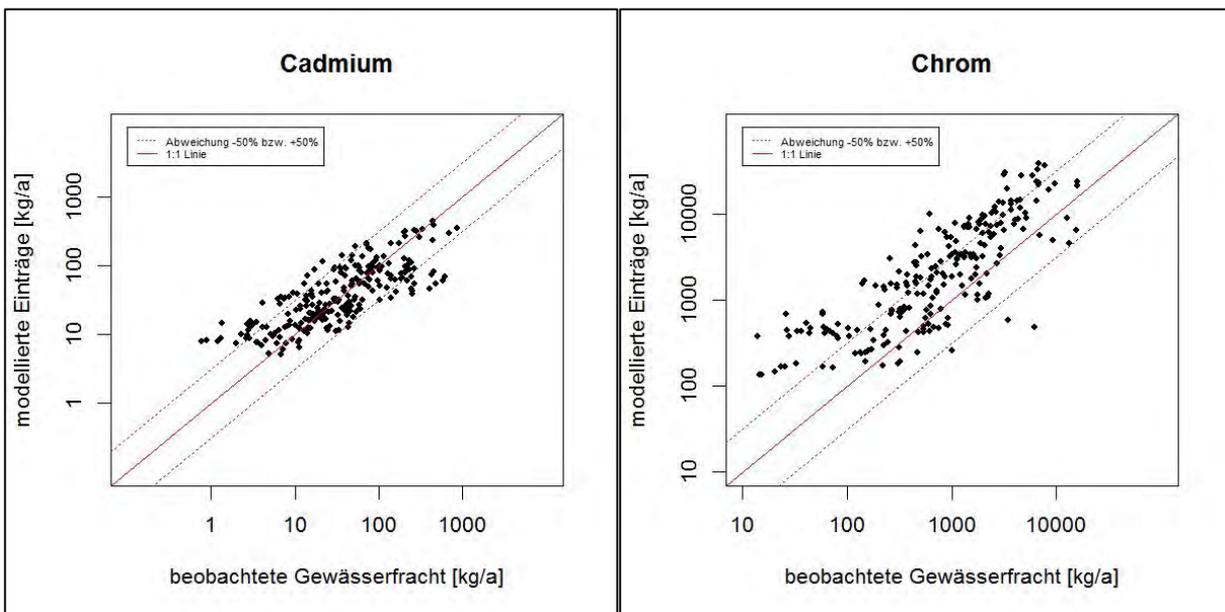
Die Gründe für die unregelmäßige Streuung liegen zum einen in der fehlenden Betrachtung der gewässerinternen Prozesse. Zum anderen sind sie auf die Unsicherheiten sowohl bei der Eintragsmodellierung als auch bei den Gütedaten, die für die Bilanzierung der Frachten herangezogen werden, zurück zu führen. Zum Teil liegen die gemessenen Konzentrationen unterhalb der BG. Hauptsächlich betroffen sind Cadmium und Quecksilber. In diesen Fällen wurde, analog zu den Eingangsdaten für die Eintragsberechnung, die halbe BG für die Frachtberechnung verwendet. Somit ist eine Überschätzung der beobachteten Gewässerfrachten aufgrund der BG-Problematik nicht auszuschließen. Bei den Schwermetallen Cadmium und Quecksilber sind teilweise große Unsicherheiten in den Eingangsdaten für die Berechnung der Stoffeinträge zu verzeichnen. Diese beruhen hauptsächlich auf der anspruchsvolleren Analytik für diese Stoffe, da diese in geringeren Konzentrationen als die anderen modellierten Schwermetalle in der Umwelt vorkommen. Die verbesserten BG bei der

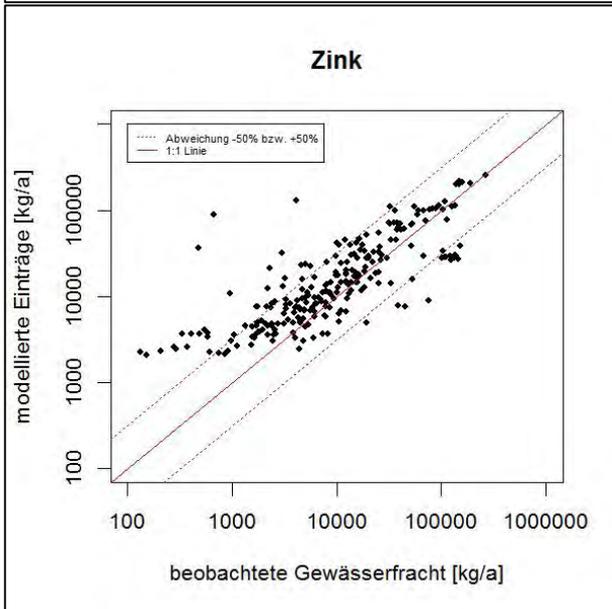
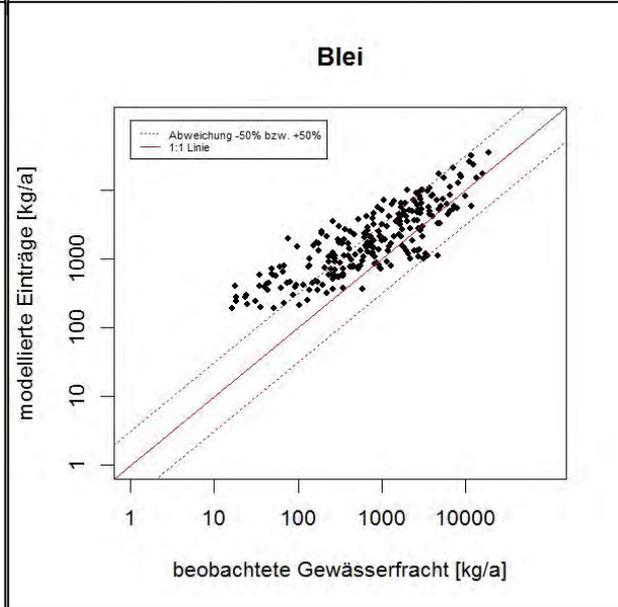
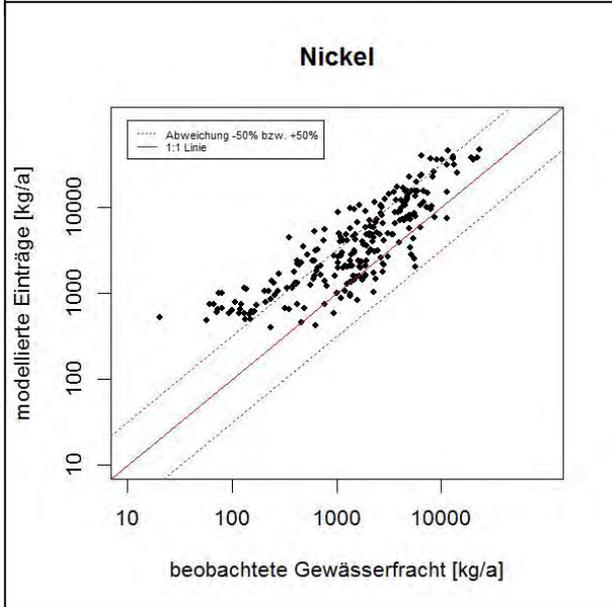
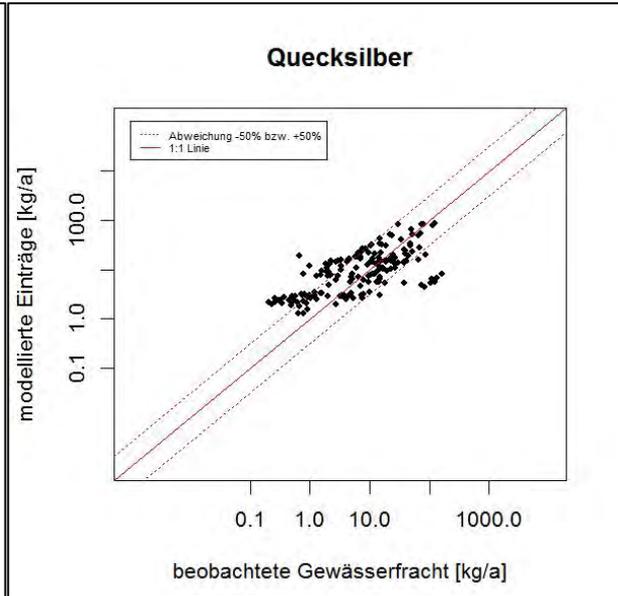
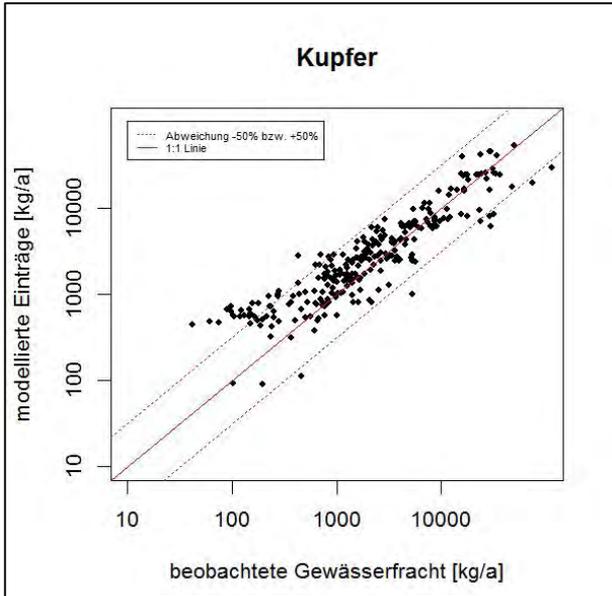
Analytik von Quecksilber in den neueren Untersuchungsprogrammen zeigte, wie signifikant und maßgebend diese Größe für die daraus abgeleiteten Daten ist. Ein markantes Beispiel dafür sind die abgeleiteten Quecksilber-Kläranlagenablaufkonzentrationen, die um den Faktor 100 niedriger liegen, als jene in Fuchs et al. (2010a) verwendeten. Daraus resultiert eine völlig neue Gewichtung der Eintragspfade untereinander und gleichzeitig stellt sich die Frage, wie zuverlässig die verwendeten Eingangsdaten für anderen Eintragspfade sind. Es ist davon auszugehen, dass einzelne Eintragspfade in der Modellierung weiterhin überschätzt werden so wie es für die kommunalen Kläranlagen der Fall war.

Es sind insbesondere Defizite in den Eingangsdaten für alle Schwermetalle bei der fehlenden Regionalisierung der Eingangsdaten für die Pfade Grundwasser und Dränagen festzustellen (Fuchs et al. 2013d)

Je nach Gewichtung der einzelnen Eintragspfade für die Schwermetalle können Über- oder Unterschätzung in der Eintragsmodellierung und bei den gemessenen Gewässerfrachten unterschiedliche Auswirkungen zeigen.

**Abbildung 79:** Gegenüberstellung der modellierten Einträge und der beobachteten Gewässerfrachten für die Einzeljahre im Zeitraum 2006-2011 für Schwermetalle (Fortsetzung auf nächster Seite)





## 6.3 Ergebnisse der Maßnahmenberechnungen

Die Darstellung der Ergebnisse der Maßnahmenberechnungen erfolgt beispielhaft für das Jahr 2010. Dieses Jahr bildet mit einem durchschnittlichen Niederschlag von 106 % des 30ig jährigen Mittels (1981-2010) für Deutschland die mittleren hydrologischen Verhältnisse sehr gut ab (DWD 2013) und ist gleichzeitig ein vergleichsweise aktuelles Jahr.

Die Beschreibung der Maßnahmen sowie ihre Abbildung in MoRE ist den Maßnahmensteckbriefen (Abschnitt 10.2) zu entnehmen. Änderungen hinsichtlich der getroffenen Annahmen wie bspw. Wirksamkeiten können in MoRE mit wenig Aufwand integriert werden.

### 6.3.1 Ergebnisse der Maßnahmen aus dem urbanen Bereich

#### 6.3.1.1 Maßnahmen in Bezug auf Nährstoffe

##### 6.3.1.1.1 Erhöhung des Anschlussgrades der Bevölkerung an die bestehenden kommunalen Kläranlagen

Eine ausführliche Beschreibung dieser Maßnahme befindet sich im Maßnahmensteckbrief (Abschnitt 10.2.1.1) sowie in Abschnitt 4.2.2.1.

Mit Umsetzung dieser Maßnahme kann deutschlandweit ca. die Hälfte des Abwassers der ca. 677.000 nur an die Kanalisation angeschlossenen Einwohner zusätzlich in einer kommunalen Kläranlage behandelt werden. Davon können ca. 80 % (ca. 295.000 Einwohner) an Kläranlagen  $\geq 2.000$  EW angeschlossen werden. Aus der Umsetzung dieser Maßnahme resultiert eine Eintragsminderung für Kanalisationssysteme gekoppelt mit einer Erhöhung der Einträge über Kläranlagen. Die über Kanalisationssysteme emittierte Nährstofffracht vermindert sich für N um 11 % und für P um 9 %. Gleichzeitig steigt die über den Pfad Kläranlagen eingetragene Nährstofffracht um 0,4 % für N bzw. 0,7 % für P (Tabelle 49). Da die Kläranlagen hinsichtlich der Nährstoffeinträge jedoch relevanter als die Kanalisationssysteme sind, kommt es letztendlich trotz einer deutlichen Verringerung der Einträge über Kanalisationssysteme, zu einer eher bescheidenen Verringerung der Einträge insgesamt (ca. 2 %) (Abbildung 80). Nichtsdestotrotz kann die Maßnahme besonders in Thüringen und Sachsen von Relevanz sein (Abbildung 81).

Tabelle 49: Modellerte Phosphor- und Stickstoff-Einträge für die Eintragspfade Kläranlage und Kanalisationssysteme bei Umsetzung der Maßnahme „Erhöhung des Anschlussgrades der Bevölkerung an die bestehenden kommunalen Kläranlagen“

|                              | Phosphor-Einträge [t/a] |                      | Stickstoff-Einträge [t/a] |                      |
|------------------------------|-------------------------|----------------------|---------------------------|----------------------|
|                              | Kläranlagen             | Kanalisationssysteme | Kläranlagen               | Kanalisationssysteme |
| Ausgangssituation            | 7.140                   | 3.770                | 82.500                    | 24.100               |
| Erhöhung des Anschlussgrades | 7.190                   | 3.470                | 82.800                    | 21.800               |
| Veränderung %                | 0,7                     | -9                   | 0,4                       | -11                  |

Abbildung 80: Reduktionspotenzial der modellierten Einträge durch die Maßnahmen „Erhöhung des Anschlussgrades der Bevölkerung an die bestehenden kommunalen Kläranlagen“ beim Eintragspfad Kanalisationssysteme und kommunale Kläranlagen für Phosphor und Stickstoff (Bilanzierungsjahr 2010)

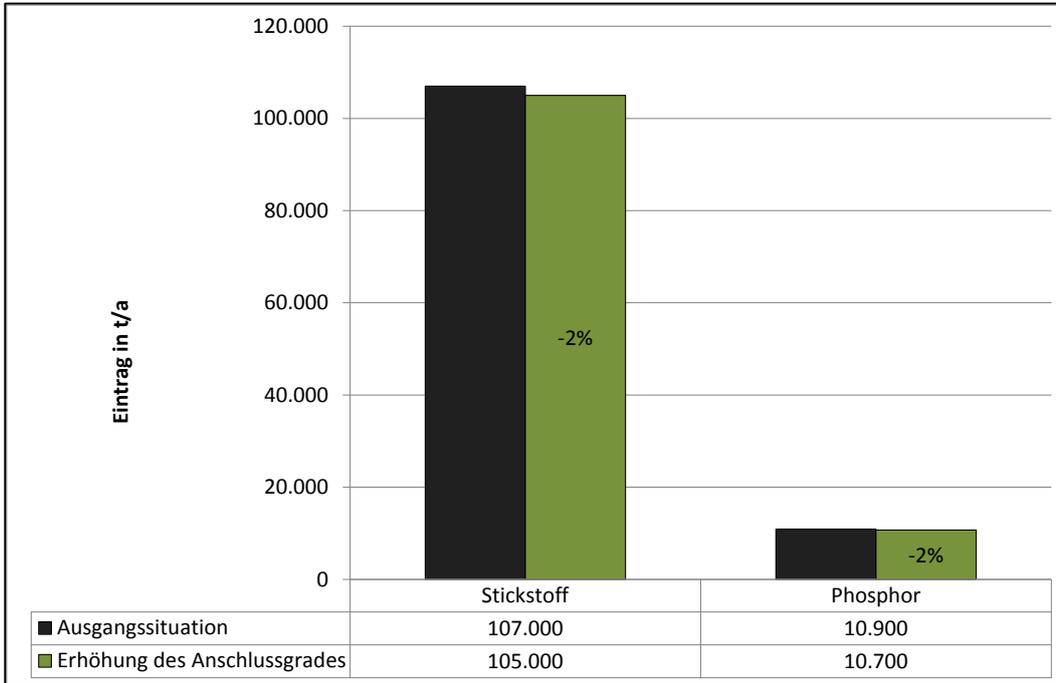
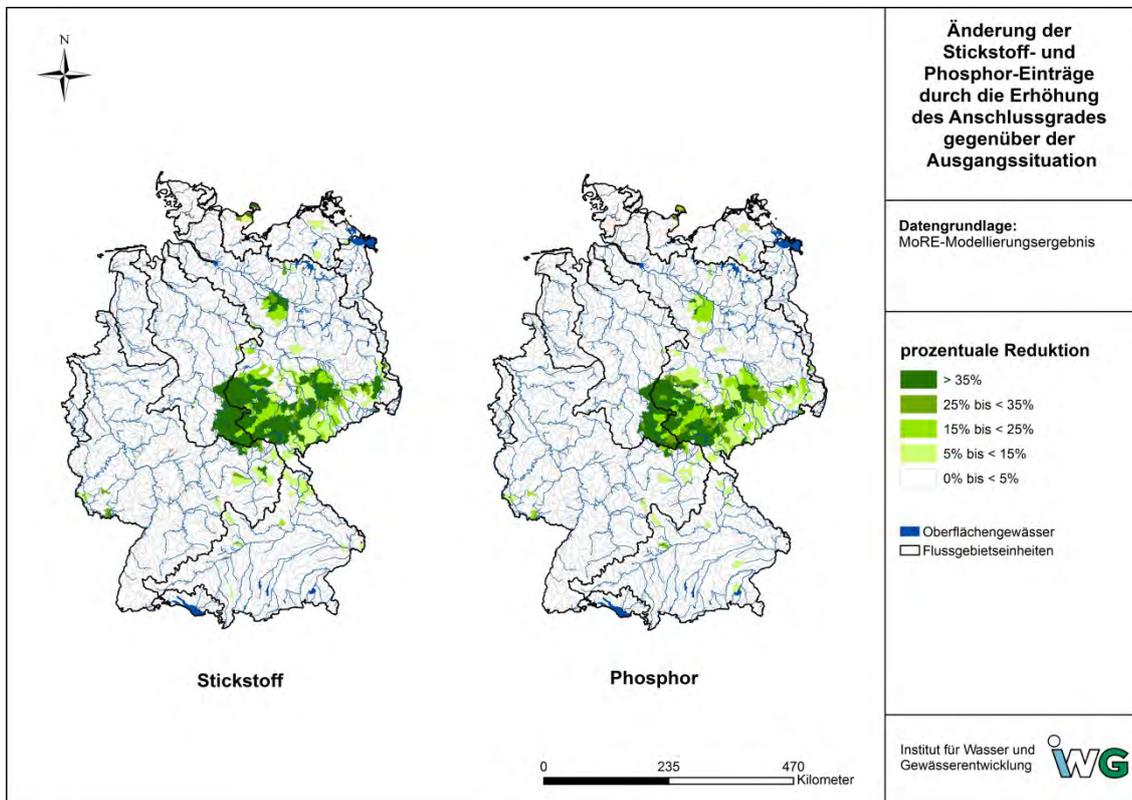


Abbildung 81: Regionale Bedeutung der Maßnahme „Erhöhung des Anschlussgrades der Bevölkerung an die bestehenden kommunalen Kläranlagen“ hinsichtlich Nährstoffeinträge über kommunale Kläranlagen



### 6.3.1.1.2 Optimierung der Betriebsweise der kommunalen Kläranlagen

Eine ausführliche Beschreibung dieser Maßnahme befindet sich im Maßnahmensteckbrief (Anhang 10.2.1.2) sowie Abschnitt 4.2.1.1.

Die für die größenklassenspezifische Berechnung der Eintragsreduktionspotenziale verwendeten Nährstoffzielkonzentrationen der Kläranlagen sind in Anhang 10.2.1.2 zu finden.

Abbildung 82 stellt für Gesamtdeutschland die Reduktionspotenziale dieser Maßnahme für N und P dar. Die Modellierung der Maßnahme führt zu sehr ähnlichen Reduktionspotenzialen für die beiden Stoffe. Mit dem ersten Quartil als Zielkonzentration kann für beide Nährstoffe deutschlandweit potentiell eine Eintragsreduktion von 44 % erreicht werden. Mit dem Median als Zielkonzentration, werden noch 24 % Reduktion des Nährstoffeintrags über kommunale Kläranlagen erreicht, bei dem dritten Quartil sind es ca. 10 %.

Abbildung 82: Reduktionspotenzial der modellierten Einträge mit der Maßnahme „Optimierung der Betriebsweise der kommunalen Kläranlagen“ für Phosphor und Stickstoff, Bilanzierungsjahr 2010

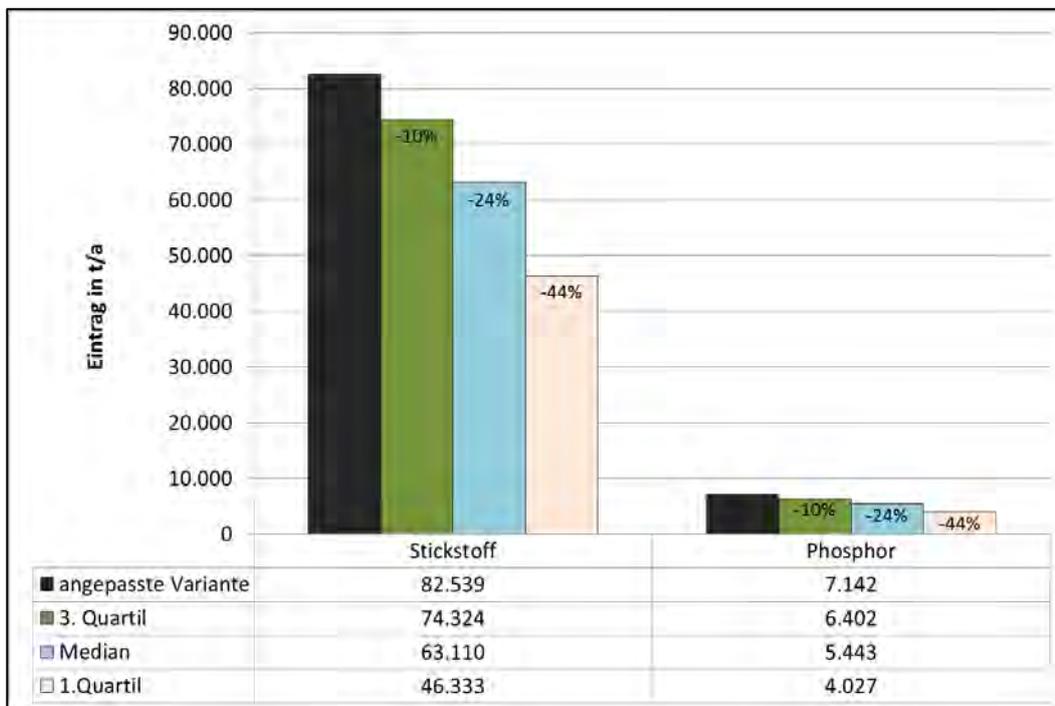


Abbildung 83 und Abbildung 84 stellen die räumliche Verteilung der Änderung der Nährstoff-Einträge nach Umsetzung der Maßnahme der Ausgangssituation gegenüber.

Abbildung 83: Änderung der Stickstoffeinträge über Kläranlagen durch die Maßnahmenvarianten zur „Optimierung der Betriebsweise der kommunalen Kläranlagen“ gegenüber der Ausgangssituation

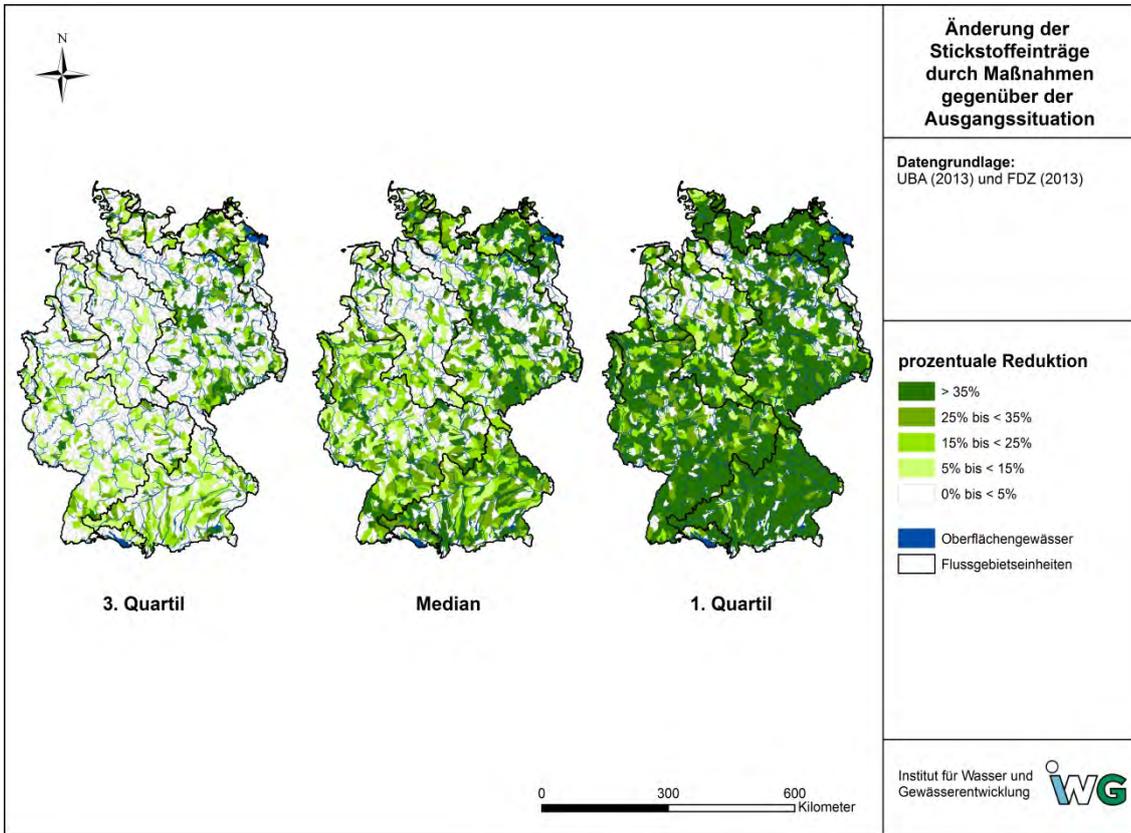
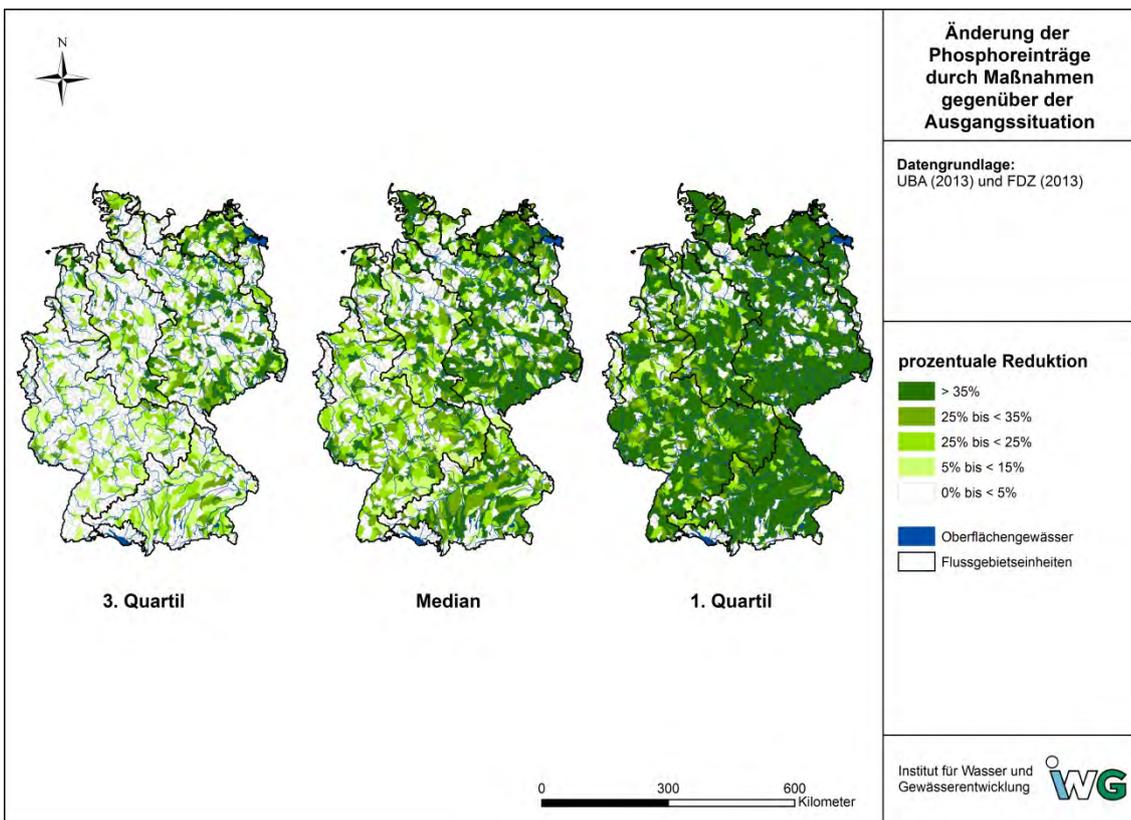


Abbildung 84: Änderung der Phosphoreinträge über Kläranlagen durch die Maßnahmenvarianten zur „Optimierung der Betriebsweise der kommunalen Kläranlagen“ gegenüber der Ausgangssituation



### **6.3.1.2 Maßnahmen in Bezug auf Schwermetalle**

Eine ausführliche Beschreibung dieser Maßnahmen befindet sich im Maßnahmensteckbrief (Anhang 10.2.1.3 bis 10.2.1.5) sowie in den Abschnitten 4.2.1.1, 4.2.2.2 bis 4.2.2.4.

Die Maßnahmen mit Bezug zu Schwermetallen wurden für den Eintragspfad Kanalisationssysteme modelliert. Maßnahmen in diesem Eintragspfad haben prinzipiell Auswirkungen auf die Einträge aller Stoffe, sie wurden in dem vorliegenden Vorhaben beispielhaft für die Schwermetalleinträge umgesetzt. Die Ergebnisse der Maßnahmenmodellierung sowie deren Änderung zur Ausgangssituation sind Abbildung 85 bis Abbildung 87 zu entnehmen. Die Analyse der Ergebnisse folgt in den folgenden untergeordneten Abschnitten „Erhöhung der klärtechnischen Wirksamkeit im Mischsystem“, „Neubau von Speichervolumen im Mischsystem“ sowie „Reduzierung der versiegelten Flächen“. Abbildung 88 und Abbildung 89 stellen anhand von Cr und Zn die räumliche Verteilung der Änderung der Schwermetall-Einträge nach Umsetzung der Maßnahmen gegenüber der Ausgangssituation dar.

#### **6.3.1.2.1 Erhöhung der klärtechnischen Wirksamkeit im Mischsystem**

Die Erhöhung der klärtechnischen Wirksamkeit beinhaltet zwei optionale Komponenten:

- Verringerung der Oberflächenbeschickung in Durchlaufbecken (RÜB) durch geeignete Einbauten (Maßnahme „Schräglklärer RÜB (Mischsystem)“) und
- Behandlung eines Teils des Mischwasserüberlaufs durch Bau von RBF zwischen Entlastungsbauwerk und Vorfluter (Maßnahme „RBF Mischsystem“).

In Abbildung 85 bis Abbildung 87 ist das Reduktionspotenzial dieser Maßnahmen für die Schwermetalleinträge dargestellt. Die Modellierung der Maßnahmen „Schräglklärer RÜB“ führt für alle Schwermetalle zu einer Reduktion der Einträge über diesen Eintragspfad von 7 % bis 8 %. Die Maßnahme „RBF (Mischsystem)“ hingegen führt zu einer Reduktion um 14 % bis 18 %. Trotz der hohen Wirksamkeit der Maßnahmen (60 % bzw. 95 %) fällt die Reduktion der Gesamteinträge über Kanalisationssysteme teilweise gering aus. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Maßnahmen nur im Mischsystem und dort nur bei Durchlaufbecken zur Anwendung kommen. Zudem wird bei der Maßnahme „RBF“ angenommen, dass nur die Hälfte des Mischwasserüberlaufs von Durchlaufbecken im RBF behandelt wird. Die Maßnahme „RBF“ ist die effektivste Maßnahme unter den gegebenen Modellannahmen.

Die größten Reduktionspotenziale für die beiden Maßnahmen sind in AU zu sehen, die einen hohen Anteil am Mischsystem als Entwässerungsart haben (Abbildung 88 und Abbildung 89).

#### **6.3.1.2.2 Neubau von Speichervolumen im Mischsystem**

In Abbildung 85 bis Abbildung 87 ist das Reduktionspotenzial der Maßnahme für die Schwermetalleinträge dargestellt. Hieraus ist ersichtlich, dass dieses je nach Schwermetall 7 % bis 8 % beträgt. Auch bei dieser Maßnahme ist die räumliche Verteilung durch den Modellansatz eng an AU gekoppelt, in denen das Mischsystem dominiert, der 100 %ige Ausbaugrad von 23,3 m<sup>3</sup>/ha jedoch noch nicht erreicht ist (Abbildung 88 und Abbildung 89).

#### **6.3.1.2.3 Reduzierung der versiegelten Flächen**

Das Reduktionspotenzial für die Maßnahme „Entsiegelung“ beträgt zwischen 6 % und 8 % (Abbildung 85 bis Abbildung 87). Dabei handelt es sich um eine gleichmäßig über Deutschland verteilte Reduktion (Abbildung 88 und Abbildung 89).

Abbildung 85: Reduktionspotenzial der modellierten Einträge durch Maßnahmen beim Eintragspfad Kanalisationssysteme für Chrom, Nickel und Blei (Bilanzierungsjahr 2010)

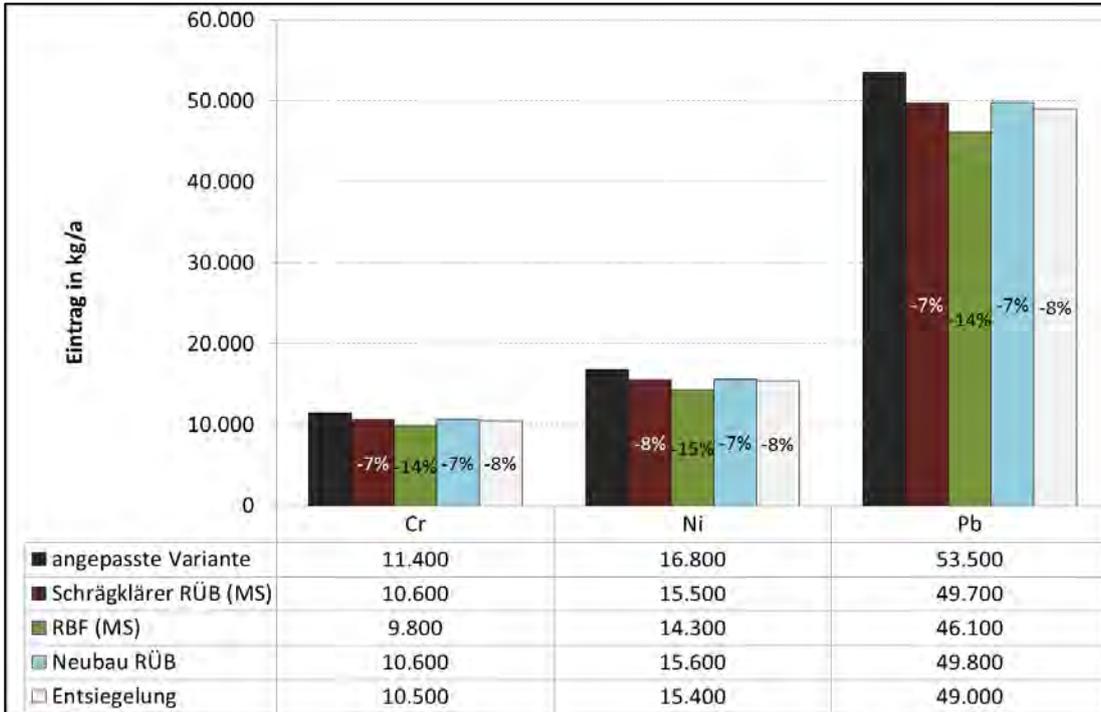


Abbildung 86: Reduktionspotenzial der modellierten Einträge durch Maßnahmen beim Eintragspfad Kanalisationssysteme für Cadmium und Quecksilber (Bilanzierungsjahr 2010)

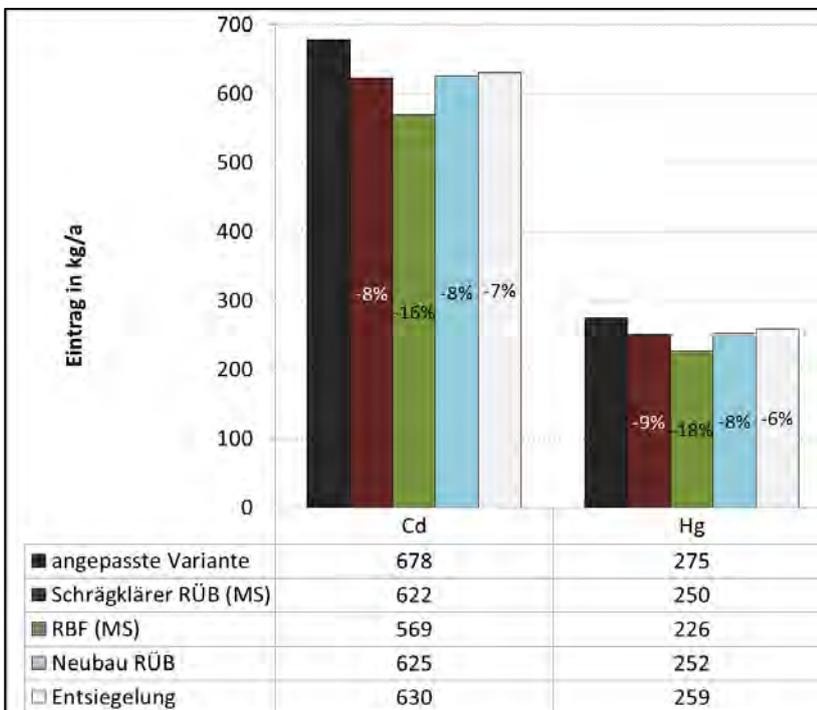


Abbildung 87: Reduktionspotenzial der modellierten durch Maßnahmen beim Eintragspfad Kanalisationssysteme für Kupfer und Zink (Bilanzierungsjahr 2010)

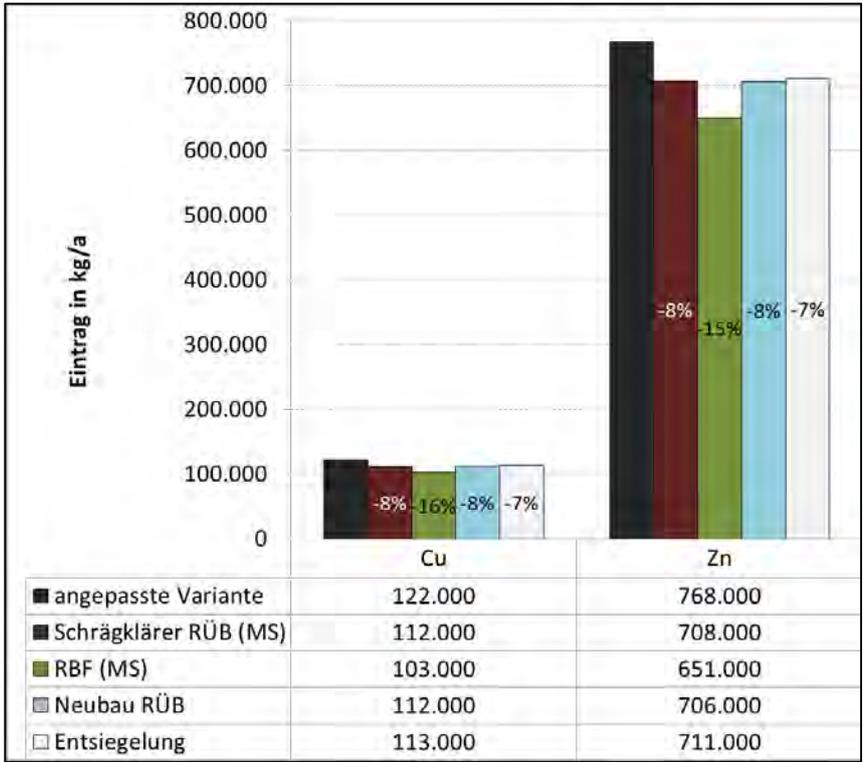


Abbildung 88: Änderung der Chrom-Einträge durch Maßnahmen beim Eintragspfad Kanalisationssysteme gegenüber der Ausgangssituation

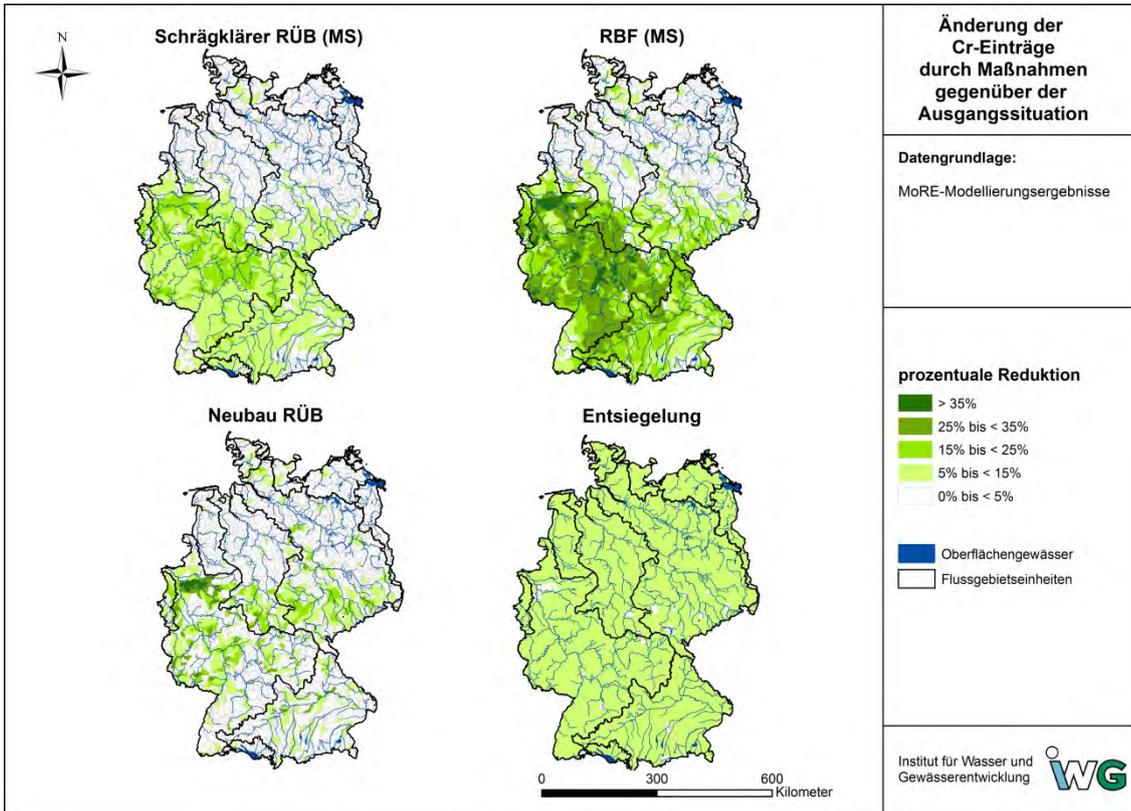
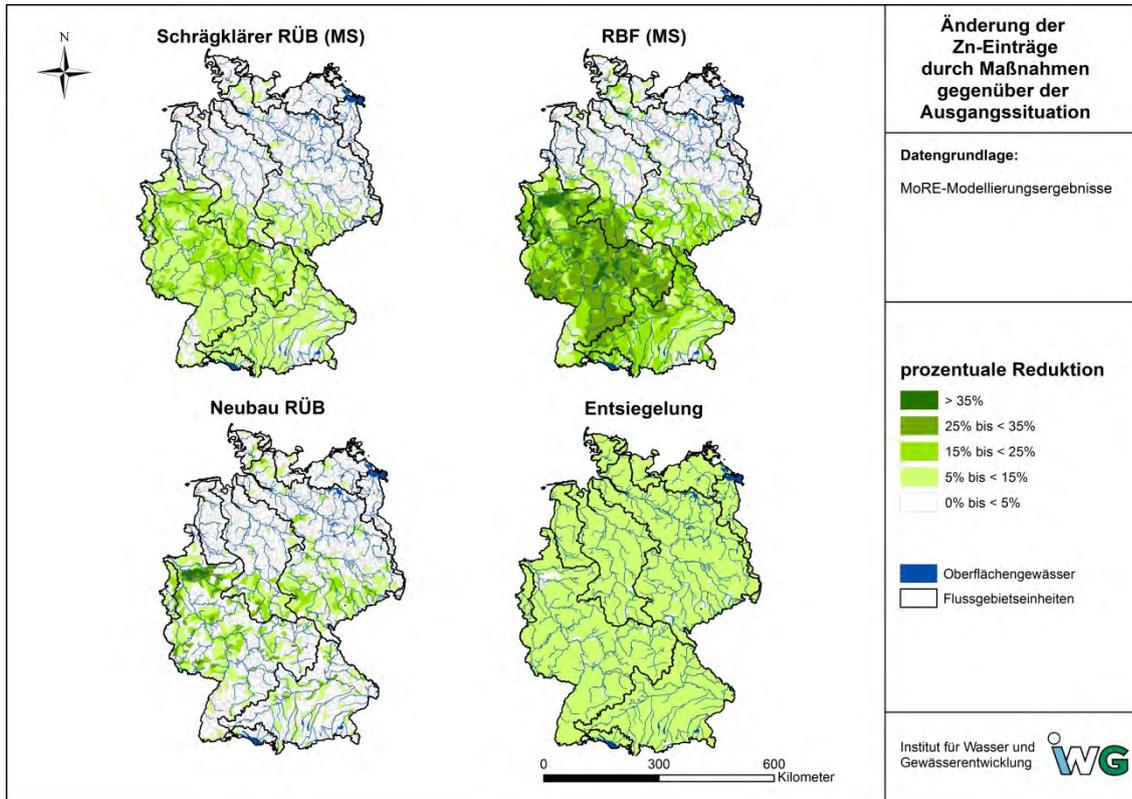


Abbildung 89: Änderung der Zink-Einträge durch Maßnahmen beim Eintragspfad Kanalisationssysteme gegenüber der Ausgangssituation



### 6.3.1.3 Auswirkung auf Gesamteinträge und Zusammenfassung

#### 6.3.1.3.1 Maßnahmen in Bezug auf Nährstoffe

Die Wirkung der Einzelmaßnahmen ist relevant im Hinblick auf die Gesamteinträge. Tabelle 50 fasst die prozentuale Reduktion der Gesamteinträge für die einzelnen Maßnahmen im Jahr 2010 zusammen, die sich auf die Reduktion der Schwermetalleinträge aus Kanalisationssystemen beziehen. Abbildung 90 und Abbildung 91 stellen die regionale Verteilung der Auswirkung der Maßnahmen für das Jahr 2010 dar.

Es ist ersichtlich, dass die Maßnahme „Erhöhung des Anschlussgrades der Bevölkerung an die bestehenden kommunalen Kläranlagen“ das niedrigste Potential hat. Für beide Nährstoffe liegt es unter 1 % in Bezug auf die Gesamteinträge für Deutschland. Regional betrachtet, sind die Regionen mit einem hohen Anteil an Einwohnern, die nur an die Kanalisation angeschlossen sind, deutlich ersichtlich (Abbildung 90 und Abbildung 91). In Thüringen wird in einigen Gebieten ein hohes Reduktionspotential > 10 % für die Nährstoffe erreicht, bei P resultieren lokal Reduktionspotentiale über 25 %. Die Wirkung dieser Maßnahme ist aber eindeutig lokal begrenzt und flächendeckend für Deutschland nicht zielführend. So konnte sie als überregional und strategisch wichtige Maßnahme zur Reduktion der Nährstoffeinträge in die Gewässer nicht identifiziert werden.

Bei der Maßnahme „Optimierung der Betriebsweise der kommunalen Kläranlagen“ wird mit dem 1.Quartil als Zielkonzentration das höchste Reduktionspotential erreicht, für N bis zu knapp 7 % Reduktion der Gesamteinträge und für P bis zu knapp 12 % (Tabelle 51). Bezogen auf die räumliche Verteilung der Einträge wird für N das größte Reduktionspotential im Rhein-Einzugsgebiet lokalisiert. Bei P handelt es sich neben dem Rhein auch um das Donau-Einzugsgebiet. In diesen Regionen liegt die prozentuale Reduktion der gesamten

Nährstoffeinträge oft über 15 %. Somit kann diese Maßnahme eindeutig als überregional wichtig angesehen werden.

Identische räumliche Verteilung ergibt sich mit dem Median als Zielkonzentration. Die Reduktionseffekte sind aber dementsprechend nicht so stark ausgeprägt und liegen in der Größenordnung unter 10 %, obwohl in einzelnen Gebieten auch höhere Potentiale erreicht werden können. Insgesamt ist festzustellen, dass die Maßnahme eine mäßige Wirkung zeigt, aber dafür überregional.

Bei dem 3. Quartil als Zielkonzentration wird nur in einzelnen Gebieten eine Reduktion der Nährstoff-Einträge über 5 % erreicht, so dass das Reduktionspotential dieser Maßnahme als nicht ausreichend für eine flächendeckende relevante Minderung der Nährstoff-Einträge zu bezeichnen ist.

Tendenziell lässt sich sagen, dass für P ein höheres Reduktionspotential als N für Maßnahmen im urbanen Bereich erreicht wird. Die Erklärung dafür besteht in der Relevanz der einzelnen Eintragspfade an dem gesamten Nährstoff-Eintrag. Bei N machen die kommunalen Kläranlagen und die Kanalisationssysteme etwa 21 % an dem Gesamteintrag aus, während ihr Anteil bei P mit 44 % mehr als doppelt so hoch ist (vgl. Abbildung 65). Dies spiegelt sich in den ausgewiesenen Reduktionspotentialen für die Maßnahmen für die beiden Stoffe wider (Tabelle 50). Für P liegen die Reduktionspotentiale für die betrachteten Maßnahmen um etwa den Faktor 2 höher.

Tabelle 50: Reduktionspotential der Maßnahmen mit Bezug zur Abwasserreinigung für Stickstoff und Phosphor bezogen auf das Jahr 2010

| Maßnahme                                  | Stickstoff [t/a] | Phosphor [t/a] | Änderung Stickstoff [%] | Änderung Phosphor [%] |
|---|------------------|----------------|-------------------------|-----------------------|
| Basisvariante                             | 539.000          | 26.200         |                         |                       |
| Erhöhung Anschlussgrad                    | 537.000          | 26.000         | -0,4                    | -0,8                  |
| Optimierung Betrieb Kläranlage 1. Quartil | 503.000          | 23.100         | -6,7                    | -11,8                 |
| Optimierung Betrieb Kläranlage Median     | 520.000          | 24.500         | -3,5                    | -6,5                  |
| Optimierung Betrieb Kläranlage 3. Quartil | 531.000          | 25.500         | -1,5                    | -2,7                  |

Abbildung 90: Änderung der Stickstoff-Gesamteinträge durch Maßnahmen mit Bezug zur Abwasserreinigung gegenüber der Ausgangssituation im 2010

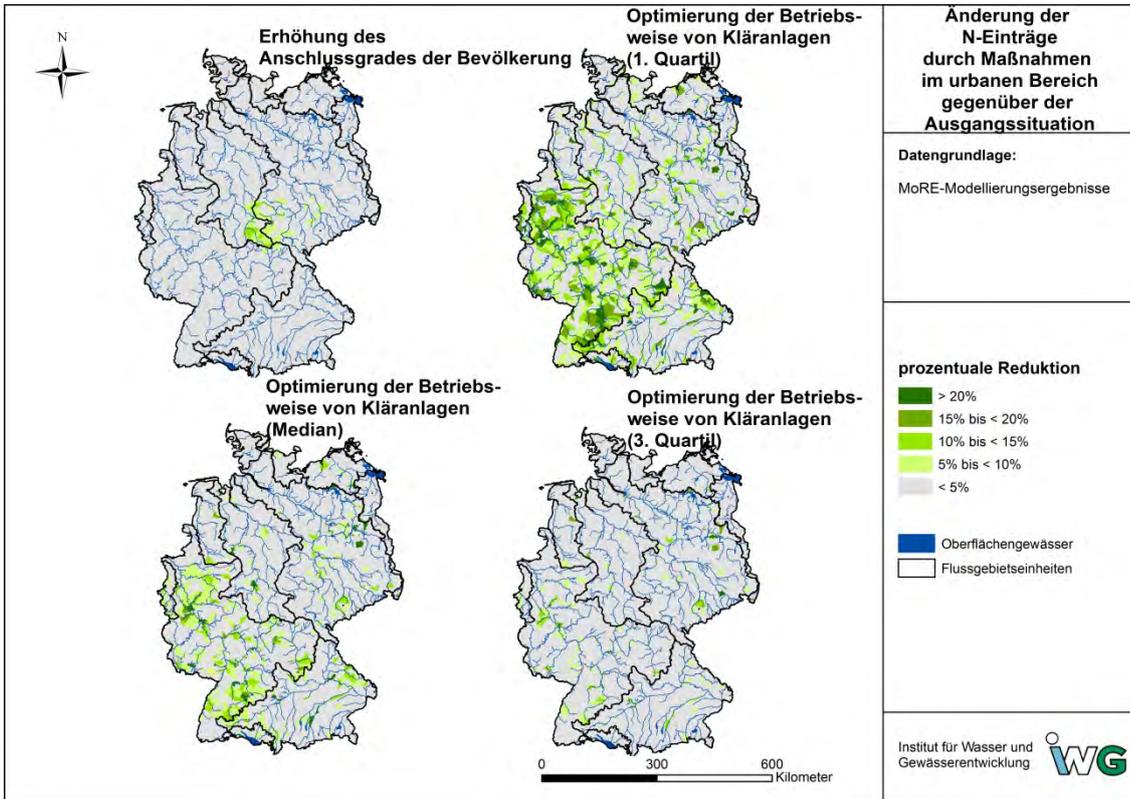
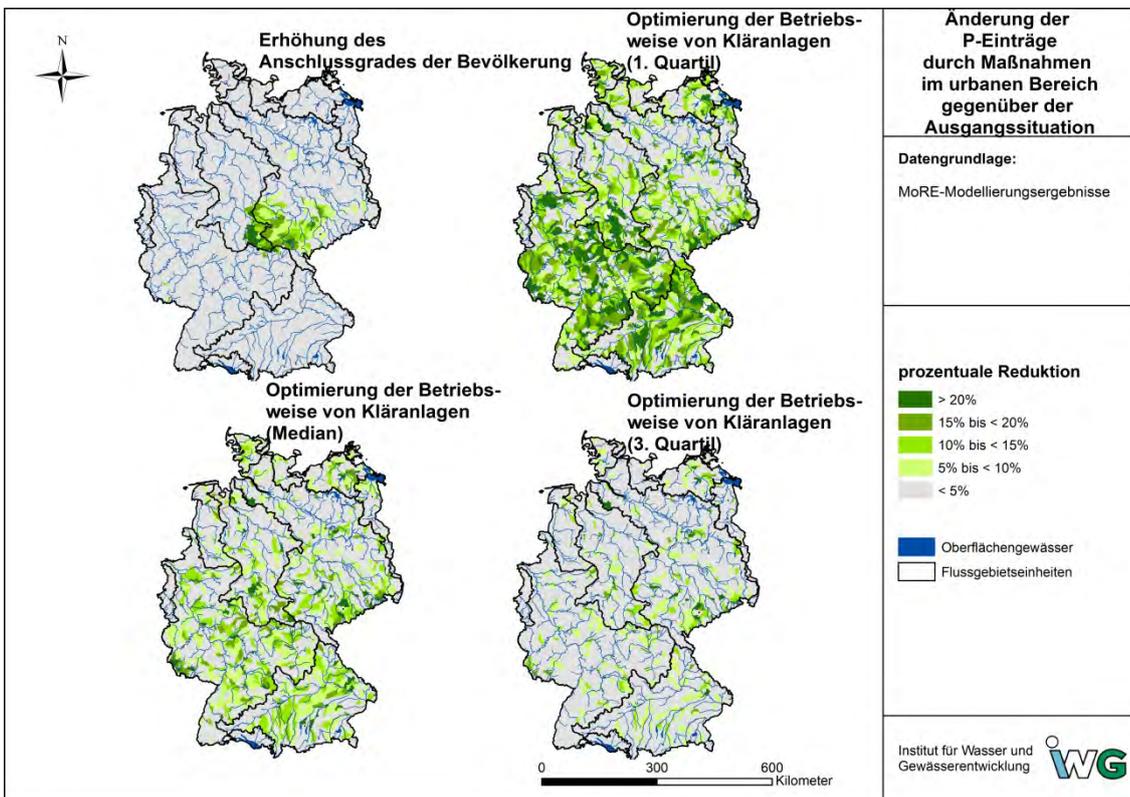


Abbildung 91: Änderung der Phosphor-Gesamteinträge durch Maßnahmen mit Bezug zur Abwasserreinigung gegenüber der Ausgangssituation im 2010



### 6.3.1.3.2 Erhöhung der klärtechnischen Wirksamkeit

Im Hinblick auf die Gesamteinträge zeigen Tabelle 51 bis Tabelle 53 die mögliche prozentuale Reduktion für die einzelnen Maßnahmen im Jahr 2010 für Deutschland. Es ist ersichtlich, dass die Maßnahme „Retentionsbodenfilter (Mischsystem)“ das höchste Potential hat. Je nach Schwermetall liegt es bei ca. 1 % (Cd, Cr, Ni) bis max. 4 % (Cu, Zn) Reduktion in Bezug auf die Gesamteinträge (Tabelle 51 bis Tabelle 53). Die restlichen Maßnahmen wirken sich in einem geringeren Umfang auf die Gesamteinträge aus. Ihre räumliche Verteilung zeigt jedoch durchaus ein Potenzial bis zu 20 % in einzelnen AU.

Tendenziell lässt sich sagen, dass für Cu und Zn ein höheres Reduktionspotential als bei den restlichen Schwermetallen für Maßnahmen in Kanalisationssystemen erreicht wird. Die Erklärung dafür besteht in der höheren Relevanz dieses Eintragspfades an dem gesamten Schwermetall-Eintrag.

Abbildung 92 und Abbildung 93 stellen die regionale Verteilung der Auswirkung der Maßnahmen für das Jahr 2010 am Beispiel für Hg und Zn dar. Regional betrachtet, sind insbesondere die Agglomerationsräume von der Maßnahmenwirkung betroffen. Die Wirkung der Maßnahme „Retentionsbodenfilter“ kann als überregional eingestuft werden. Alle anderen Maßnahmen sind in ihrer Wirksamkeit lokal begrenzt und flächendeckend für Deutschland nicht zielführend.

Tabelle 51: Reduktionspotential der Maßnahmen in Kanalisationssystemen für Cadmium und Quecksilber im Jahr 2010

| Szenario                            | Cadmium-Gesamteintrag [kg/a] | Quecksilber-Gesamteintrag [kg/a] | Reduktionspotential Cadmium [%] | Reduktionspotential Quecksilber [%] |
|-------------------------------------|------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|
| Ausgangssituation                   | 7.750                        | 1.690                            | -                               | -                                   |
| Schräglklärer RÜB (Mischsystem)     | 7.690                        | 1.670                            | -1                              | -1                                  |
| Retentionsbodenfilter (Mischsystem) | 7.640                        | 1.640                            | -1                              | -3                                  |
| Neubau RÜB                          | 7.700                        | 1.670                            | -1                              | -1                                  |
| Entsiegelung                        | 7.710                        | 1.680                            | -1                              | -1                                  |

Tabelle 52: Reduktionspotential der Maßnahmen in Kanalisationssystemen für Chrom, Nickel und Blei im Jahr 2010

| Szenario                            | Chrom-Gesamteintrag [kg/a] | Nickel-Gesamteintrag [kg/a] | Blei-Gesamteintrag [kg/a] | Reduktionspotential Chrom [%] | Reduktionspotential Nickel [%] | Reduktionspotential Blei [%] |
|-------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Ausgangssituation                   | 313.000                    | 578.000                     | 312.000                   | -                             | -                              | -                            |
| Schräglklärer RÜB (Mischsystem)     | 312.000                    | 576.000                     | 308.000                   | 0                             | 0                              | -1                           |
| Retentionsbodenfilter (Mischsystem) | 311.000                    | 575.000                     | 305.000                   | -1                            | -1                             | -2                           |
| Neubau RÜB                          | 312.000                    | 577.000                     | 308.000                   | 0                             | 0                              | -1                           |
| Entsiegelung                        | 312.000                    | 577.000                     | 308.000                   | 0                             | 0                              | -1                           |

Tabelle 53: Reduktionspotential der Maßnahmen in Kanalisationssystemen für Kupfer und Zink im Jahr 2010

| Szenario                            | Kupfer-Gesamteintrag [kg/a] | Zink-Gesamteintrag [kg/a] | Reduktionspotential Kupfer [%] | Reduktionspotential Quecksilber [%] |
|-------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| Ausgangssituation                   | 461.000                     | 2.560.000                 | -                              | -                                   |
| Schräglklärer RÜB (Mischsystem)     | 451.000                     | 2.500.000                 | -2                             | -2                                  |
| Retentionsbodenfilter (Mischsystem) | 442.000                     | 2.450.000                 | -4                             | -4                                  |
| Neubau RÜB                          | 452.000                     | 2.500.000                 | -2                             | -2                                  |
| Entsiegelung                        | 452.000                     | 2.510.000                 | -2                             | -2                                  |

Abbildung 92: Änderung der Quecksilber-Gesamteinträge durch Maßnahmen in Kanalisationssystemen gegenüber der Ausgangssituation im Jahr 2010

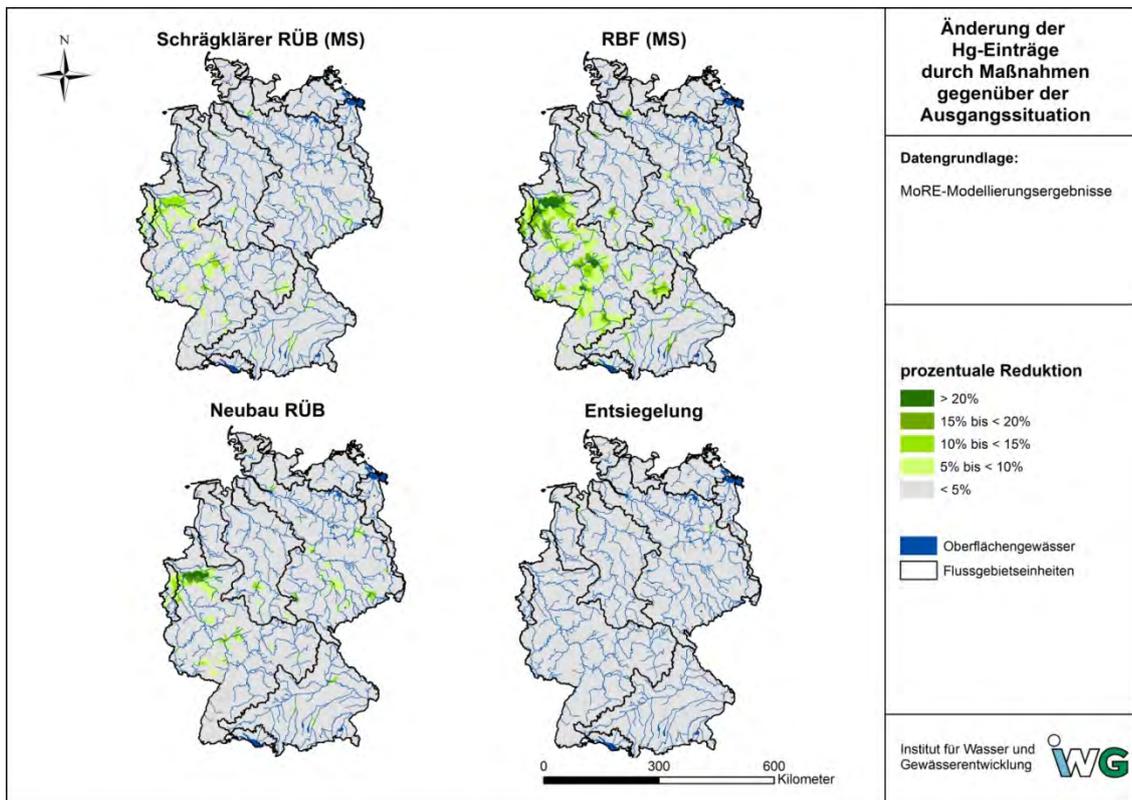
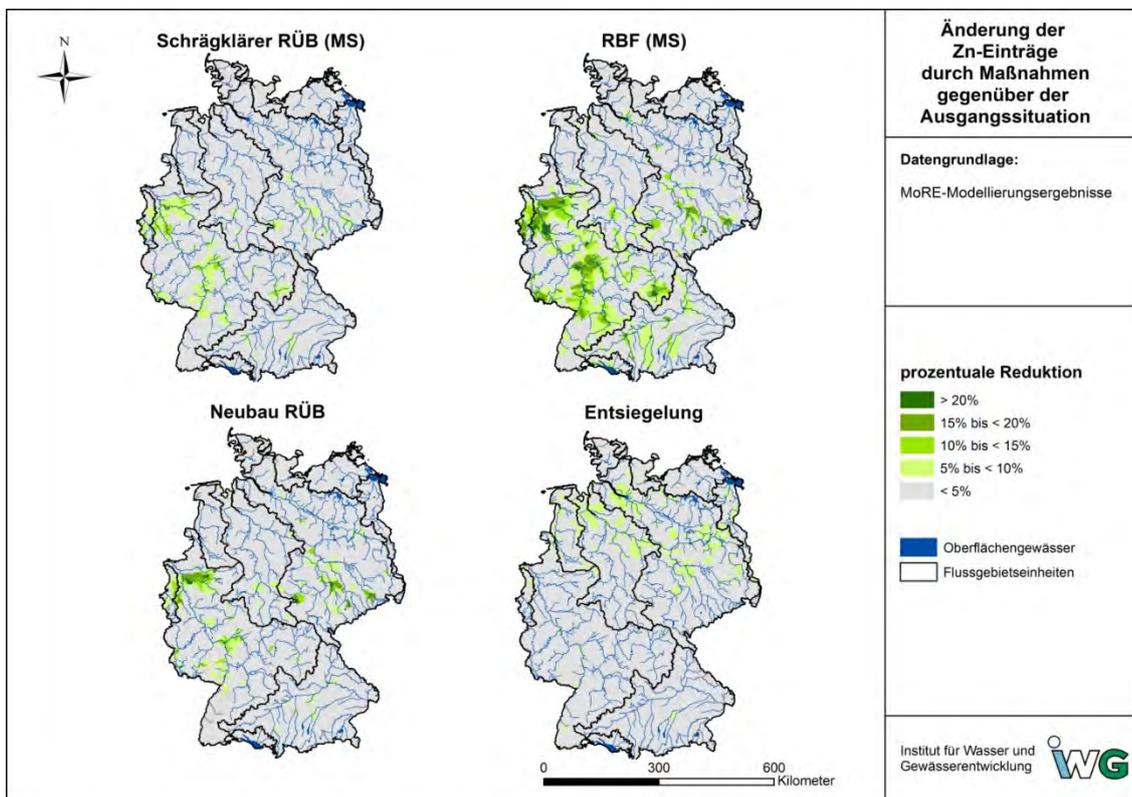


Abbildung 93: Änderung der Zink-Gesamteinträge durch Maßnahmen in Kanalisationssystemen gegenüber der Ausgangssituation im Jahr 2010



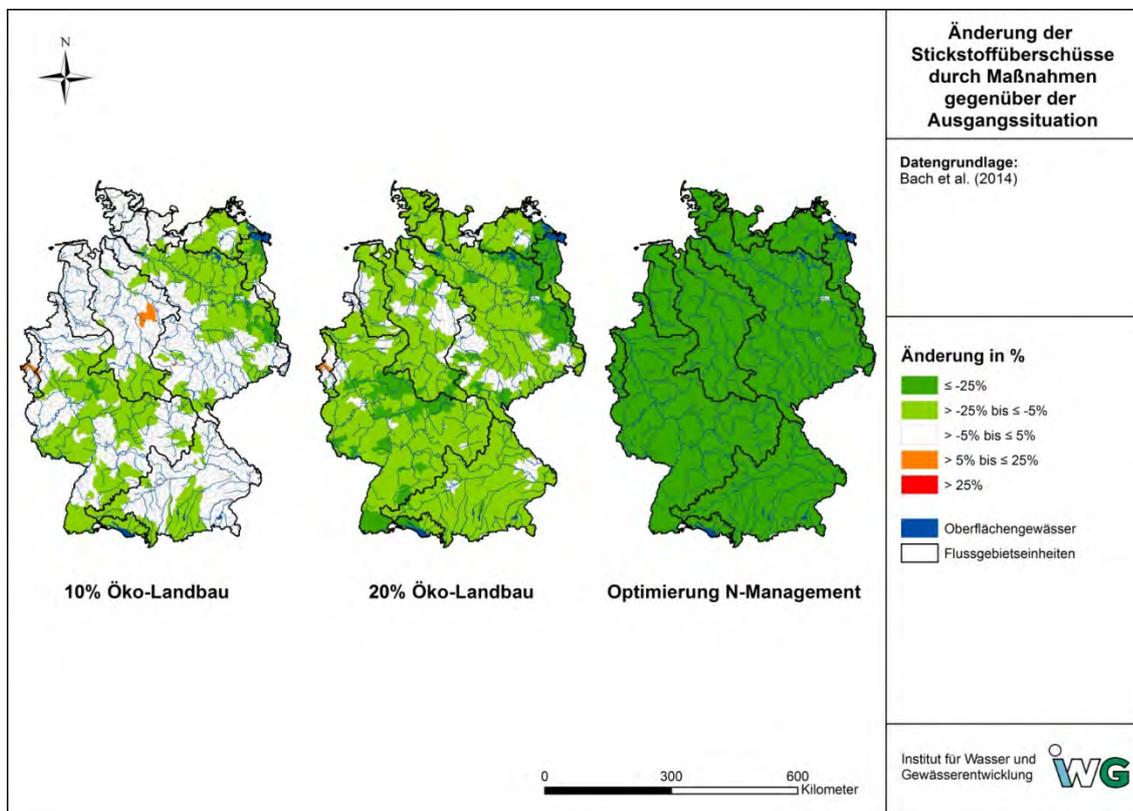
## 6.3.2 Ergebnisse der Maßnahmen aus dem landwirtschaftlichen Bereich

### 6.3.2.1 Stickstoffüberschuss

Für die Maßnahmen im landwirtschaftlichen Bereich ist der N Überschuss die maßgebliche Größe. Die methodische Vorgehensweise zur Ermittlung der Wirkungen von ausgewählten Maßnahmen auf die Verminderung des Überschusses der N-Flächenbilanz 2009-2011 ist im Anhang 10.7 zusammengefasst.

Die aus den Maßnahmen „10 % bzw. 20 % Öko-Landbau“ und „Optimierung des Stickstoff-Managements“ resultierenden N-Überschüsse sind in Abbildung 94 der Ausgangssituation auf Kreisebene gegenübergestellt. Auffällig ist, dass in der räumlichen Verteilung die N-Überschüsse bei Umsetzung der Maßnahme teilweise zunehmen. Die Gründe dafür wurden im Abschnitt 3.3 näher erläutert.

Abbildung 94: Änderung der Stickstoff-Überschüsse durch Maßnahmen im landwirtschaftlichen Bereich gegenüber der Ausgangssituation auf Ebene der Kreise



Die Ausgangssituation kann grundsätzlich nach zwei verschiedenen Ansätzen berechnet werden.

(1) Bei der ersten Methode werden als Mengengerüst zu Flächennutzung und Viehbestand die Ausgangsdaten der Agrarstatistik 2010 verwendet – ohne Aufteilung in konventionelle und ökologische Landwirtschaftsfläche. Für die Hektarerträge und die Mineraldüngermengen werden die Mittelwerte aus den Jahren 2009 bis 2011 verwendet, um die jährlichen Schwankungen in den Erträgen und der Mineraldüngermenge auszugleichen. Dieser Ansatz führt zu Ergebnissen, die praktisch identisch sind zum Eingangsdatum N-Überschuss im Mittel 2009-2011.

Der Vorteil liegt darin, dass der Unterschied zu den Ergebnissen des N-Überschuss im Mittel 2009-2011 sehr gering ist; im Mittel aller Kreise weniger als 0,1 % bzw. 0,05 kg N/ha LF. Die verbleibenden geringfügigen Unterschiede sind darauf zurückzuführen, dass die Erträge und Mineraldüngung für drei Jahre gemittelt werden, während für Viehbestand und Flächennutzung nur die Zahlen des einen Jahres 2010 verwendet werden.

Der Nachteil ist, dass für die Maßnahmen 10 % / 20 % Öko-Landbau sich für einige Kreise stärkere positive Änderungen ergeben, d.h. Anstieg des N-Überschuss, was im Widerspruch zu den Erwartungen steht.

(2) Bei der zweiten Methode werden Mengengerüst zu Flächennutzung und Viehbestand sowie die Hektarerträge für jeden Kreis in konventionelle und ökologische Landwirtschaftsfläche „gesplittet“ (Erträge sind ebenfalls für drei Jahre gemittelt). Für beide Mengengerüste (konventionelle und ökologisch) werden die N-Überschüsse getrennt berechnet und für die Ausgangssituation anschließend summiert.

Der Vorteil: Dieser Ansatz ist konsistent zwischen Ausgangssituation und den beiden Maßnahmen „10 % bzw. 20 % Öko-Landbau“ und ergibt daher für (nahezu) alle Kreise einen Rückgang des N-Überschuss, was der Erwartung entspricht.

Der Nachteil: Die N-Überschüsse der Kreise in der Ausgangssituation sind im Mittel des Bundesgebietes zwar praktisch identisch mit den Ergebnissen das für Mittel 2009-2011, aber für eine Reihe von Kreisen treten größere Abweichungen auf (zwischen -15,1 und + 4,5 kg N/ha LF, entsprechend -29 % und +8,3 %). D.h. das regionale Muster der N-Überschüsse stimmt nur noch eingeschränkt mit der N-Bilanzierung nach der ersten Berechnungsmethode überein.

Die wesentliche Ursache für die Unterschiede in der Ausgangssituation (2) zu (1) ist die Annahme zur Spreizung der Hektar-Erträge zwischen konventionellen und ökologischen Flächen. Im Bundesdurchschnitt beträgt das Ertragsniveau im Öko-Landbau im Mittel aller Kulturen rd. 50 % des konventionellen Ertragsniveaus. Um die Hektar-Erträge für konventionell und ökologisch zu berechnen, wurden (i) zunächst die Ertragsangaben der Agrarstatistik für die ökologischen Flächen mit dem Faktor für die jeweilige Kulturart heruntergerechnet. Damit die Erntemengen der einzelnen Kulturarten im Bundesgebiet insgesamt aber unverändert bleiben, müssen (ii) anschließend die Hektar-Erträge für konventionell angepasst werden, d.h. etwas erhöht werden, damit gilt:

$$\text{Fläche}_{\text{gesamt}} * \text{Ertrag}_{\text{gesamt}} = \text{Fläche}_{\text{konv}} * \text{Ertrag}_{\text{konv}} + \text{Fläche}_{\text{öko}} * \text{Ertrag}_{\text{öko}}$$

mit

$$\text{Ertrag}_{\text{öko}} = \text{Ertrag}_{\text{gesamt}} * \text{Faktor} \quad (\text{rd. } 0,5)$$

$$\text{Ertrag}_{\text{konv}} = (\text{Fläche}_{\text{gesamt}} * \text{Ertrag}_{\text{gesamt}} - \text{Fläche}_{\text{öko}} * \text{Ertrag}_{\text{öko}}) / \text{Fläche}_{\text{konv}}$$

Dieser Faktor, mit dem der konventionelle Ertrag aus dem gesamten Ertrag hochskaliert wird, gilt streng genommen nur für diejenigen Gebietseinheiten, deren Nutzungsanteile ungefähr dem Verhältnis von rd. 94 % konventioneller und 6 % ökologischer Landwirtschaftsfläche im Bundesgebiet entsprechen.

Für die ökologischen Landwirtschaftsflächen wird generell ein sehr niedriger N-Überschuss berechnet, für die konventionellen Landwirtschaftsflächen dagegen ein N-Überschuss, der nur etwas höher liegt als nach (1) für die Landwirtschaftsflächen insgesamt. Summiert man nun die beiden N-Überschüsse (konventionell und ökologisch) und bezieht die Summe auf die gesamte Landwirtschaftsfläche, dann ist der resultierende N-Überschuss pro ha LF umso niedriger, je größer der Anteil der ökologischen Flächen ist.

In Kreisen mit einem unterdurchschnittlichen Anteil an ökologischer LF tritt der beschriebene Effekt in umgekehrter Richtung in Erscheinung: der N-Überschuss nach Ansatz (2) führt zu (etwas) höherem N-Überschuss, da für die konventionellen LF (= nahezu die gesamte Fläche) höhere Erträge angesetzt werden; höhere Erträge verursachen gemäß der Annahmen zur N-Bilanzierung auch höhere Überschüsse.

Dahinter verbirgt sich das Problem, dass die Verminderung des mittleren Hektar-Ertrags in einem Kreis in den Ertragsangaben des StaBu nicht abgebildet wird, auch wenn die ökologischen Anbauflächen der betreffenden Kultur einen höheren Anteil erreichen. Mit anderen Worten: bei der bislang durchgeführten N-Bilanzierung für Kreise (ohne Differenzierung nach konventionell und ökologisch LF und deren spezifischen Hektar-Erträgen) wird der Überschuss-mindernde Effekt der Öko-LF auf den N-Überschuss mutmaßlich nicht in vollem Umfang erfasst, wenn ein Kreis deutlich mehr als die mittleren 6 % ökol. LF aufweist.

Gewählt wurde die erste Berechnungsmethode (1), da der Aspekt der Übereinstimmung der N-Überschüsse in der Ausgangssituation für die Maßnahmenberechnung mit den N-Überschüssen für die Erzeugung der Eingangsdaten in MoRE vorrangig erscheint. Die dann auftretende unplausible Zunahme für einige Kreise bei den Maßnahmen „10 % bzw. 20 % Öko-Landbau“ erschien vor diesem Hintergrund weniger relevant. Diese Zunahme kann in einigen Fällen (wie vorstehend erläutert) aus der Methodik erklärt werden und muss als methodischer Artefakte in Kauf genommen werden.

Insgesamt gesehen ist festzuhalten, dass die hier verwendete Methodik zur Abbildung von Maßnahmen, die eine Aufteilung des Mengengerüsts in zwei Fraktionen (konventionell und ökologisch) an „gesamt“ und anschließend die Verschiebung der Anteile der beiden Fraktionen erfordern, offensichtlich in einer Reihe von Fällen (Kreisen) zu inkonsistenten bzw. unplausiblen Ergebnissen führt. Das Instrument der N-Flächenbilanzierung, auf Basis der Daten der Agrarstatistik, ist für diese Aufgabe nur eingeschränkt aussagefähig; dafür fehlt es an einer belastbaren Datenbasis zum Mengengerüst der ökologischen Landwirtschaftsflächen für Regionalgliederung „Kreise“. Die Ergebnisse sollten vorrangig auf der nationalen Ebene für die Darstellung und vergleichende Interpretation der Größenordnung der Wirkung von Maßnahmen herangezogen werden, für regionalspezifische Aussagen sind sie nur eingeschränkt verwendbar.

Die Ergebnisse der Eintragsmodellierung in Bezug auf Dränagen sowie auf die Gesamteinträge sind den folgenden Abschnitten 6.3.2.2 bzw. 6.3.2.3 zu entnehmen.

Der Stickstoffüberschuss wirkt sich neben den Dränagen, wo er unmittelbar als Jahreswert in die Modellierung einfließt, auch auf die Einträge über Grundwasser aus. Diese wurden jedoch nicht modelliert, da sie sich aufgrund der sehr teilweise sehr langen Aufenthaltszeiten des Grundwassers in ferner Zukunft unter anderen sonstigen Bedingungen auswirken werden.

### **6.3.2.2 Stickstoff-Einträge über Dränagen**

Für die Ausgangssituation werden für Deutschland N-Einträge über Dränagen von insgesamt 70.500 t/a berechnet. Nach Umsetzung der Maßnahme „10 % ökologischer Landbau“ werden die N-Einträge über Dränagen deutschlandweit um 3 % auf 68.500 t/a reduziert. Mit der Maßnahme „20 % ökologischer Landbau“ werden 63.300 t/a N-Einträge berechnet, die einer 10 %igen Reduktion der Einträge gegenüber der Ausgangssituation entsprechen. Mit Umsetzung der Maßnahme der „Optimierung N-Management“ werden die Einträge über den Eintragspfad deutschlandweit um 27 % auf 51.500 t/a reduziert. Das entspricht einer Reduktion der Einträge um 19.000 t/a N. Somit ist das größte Reduktionspotenzial der abgebildeten landwirtschaftlichen Maßnahmen bei der Maßnahme „Optimierung N-Management“ zu

identifizieren. Abbildung 95 und Abbildung 96 zeigen die regionalen Unterschiede des Ergebnisses.

Die regionale Verteilung hinsichtlich deren Auswirkung auf die Änderung der Einträge ist für die einzelnen Maßnahmen unterschiedlich (Abbildung 96). Die Maßnahme „10 % ökologischer Landbau“ bewirkt in dem Großteil der AU keine Reduktion, die über 5 % liegt. Im Nordosten Deutschlands (Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg), im Saarland, in Teilen von Rheinland-Pfalz, Hessens und Süddeutschlands kann es zu Reduktionen bis 25 %, in Einzelgebieten Hessens, Mecklenburg-Vorpommerns und Brandenburgs teilweise bis zu 37 % kommen.

Die Maßnahme „20 % ökologischer Landbau“ bewirkt in einem Großteil der AU bereits eine Reduktion bis 25 %. Vereinzelt kommt es sogar zu Verminderungen von deutlich über 50 %.

Die Maßnahme „Optimierung N-Management“ bewirkt in fast allen AU merkliche Reduktionen. Diese reichen von bis 5 % in einigen wenigen Gebieten in Ostbayern und Nordrhein-Westfalen bis zu 25 % in weiteren wenigen Gebieten Deutschlands. Im Großteil der AU kommt es sogar zu Verminderungen von deutlich über 25 % (mit Spitzenwerten um ca. 40 %).

**Abbildung 95: Stickstoff-Einträge über Dränagen für die Ausgangssituation und nach Umsetzung landwirtschaftlicher Maßnahmen im Jahr 2010**

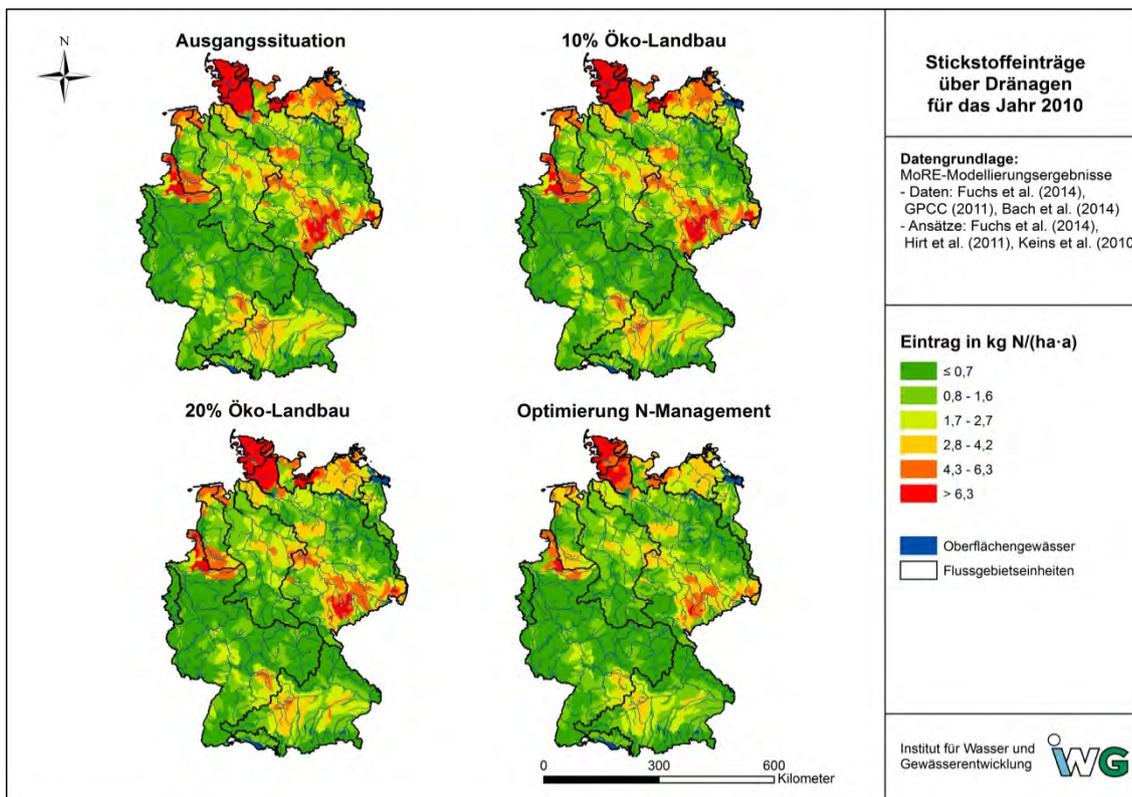
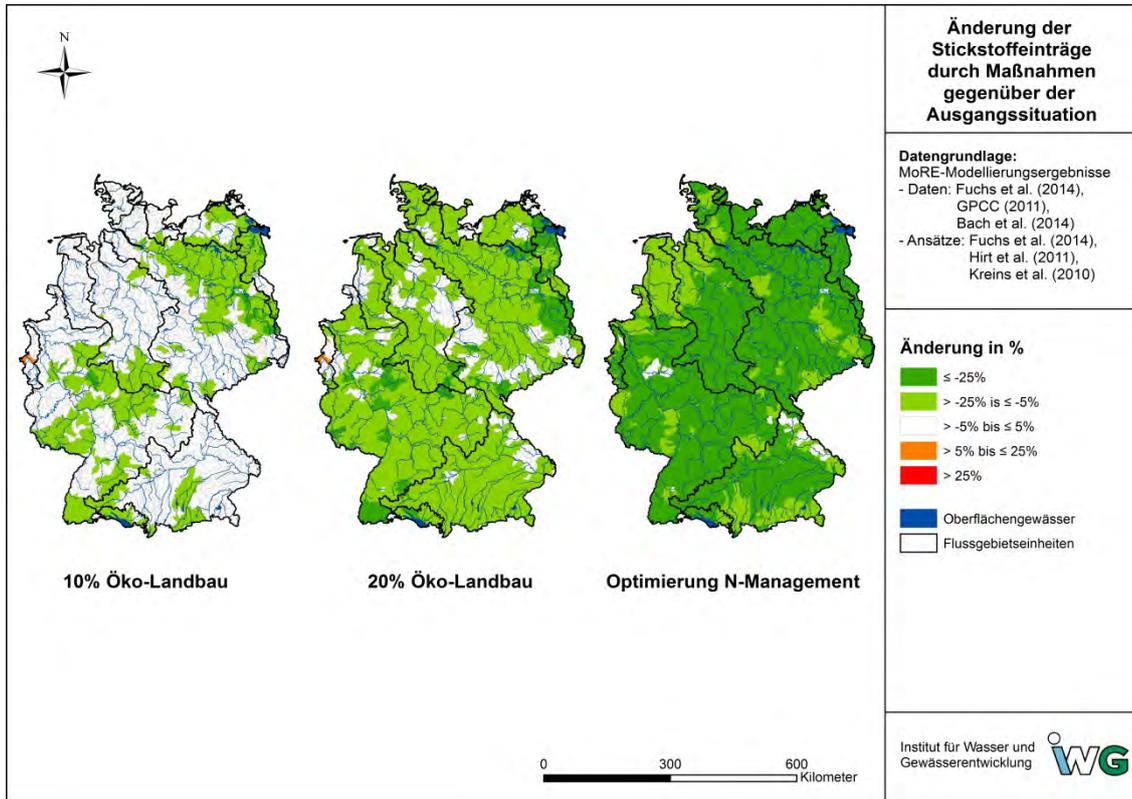


Abbildung 96: Änderung der Stickstoff-Einträge über Dränagen nach Umsetzung landwirtschaftlicher Maßnahmen gegenüber der Ausgangssituation im Jahr 2010



### 6.3.2.3 Auswirkung auf Gesamteinträge und Zusammenfassung

Die Wirkung der Einzelmaßnahmen ist relevant im Hinblick auf das Reduktionspotential der Gesamteinträge. Tabelle 54 fasst die prozentuale Reduktion der Gesamteinträge für die einzelnen N-Maßnahmen im landwirtschaftlichen Bereich im Jahr 2010 für Deutschland zusammen. Abbildung 97 stellen die regionale Verteilung der Auswirkung der Maßnahmen für das Jahr 2010 dar.

Die Maßnahmen mit „10 % und 20 % ökologischem Landbau“ zeigen ein weniger stark ausgeprägtes Reduktionspotential im Vergleich zur „Optimierung des Stickstoff-Managements“. Auffällig bei der Analyse der Änderungen dieser Maßnahmen gegenüber der Ausgangssituation sind die Gebiete, in denen die Gesamteinträge durch die Maßnahmenumsetzung gestiegen sind (Abbildung 97). Für einzelne Gebiete sind die N-Überschüsse in dem Eingangsdatsatz für diese Maßnahmen höher als bei der Ausgangssituation. Die Gründe dafür und die resultierenden Effekte sind im Kapitel 6.3.2.1 erläutert. Betroffen von dieser Zunahme der Einträge über die Maßnahme Ökolandbau sind die Gebiete mit einer höheren relativen Relevanz des Pfades Dränagen an dem Gesamteintrag.

Die Maßnahme „Optimierung des N-Managements“ erweist sich als die wirkungsvollste und erreicht eine prozentuale Reduktion der Gesamteinträge für N von 3,5 % (Tabelle 54). Der räumliche Schwerpunkt der Maßnahmenwirkung liegt im Nord-Osten Deutschlands, wo auch der Anteil an dränierten Flächen deutlich höher ist als im Restdeutschland. Dort werden in vielen Gebieten Reduktionspotentiale über 5 % erreicht (Abbildung 97).

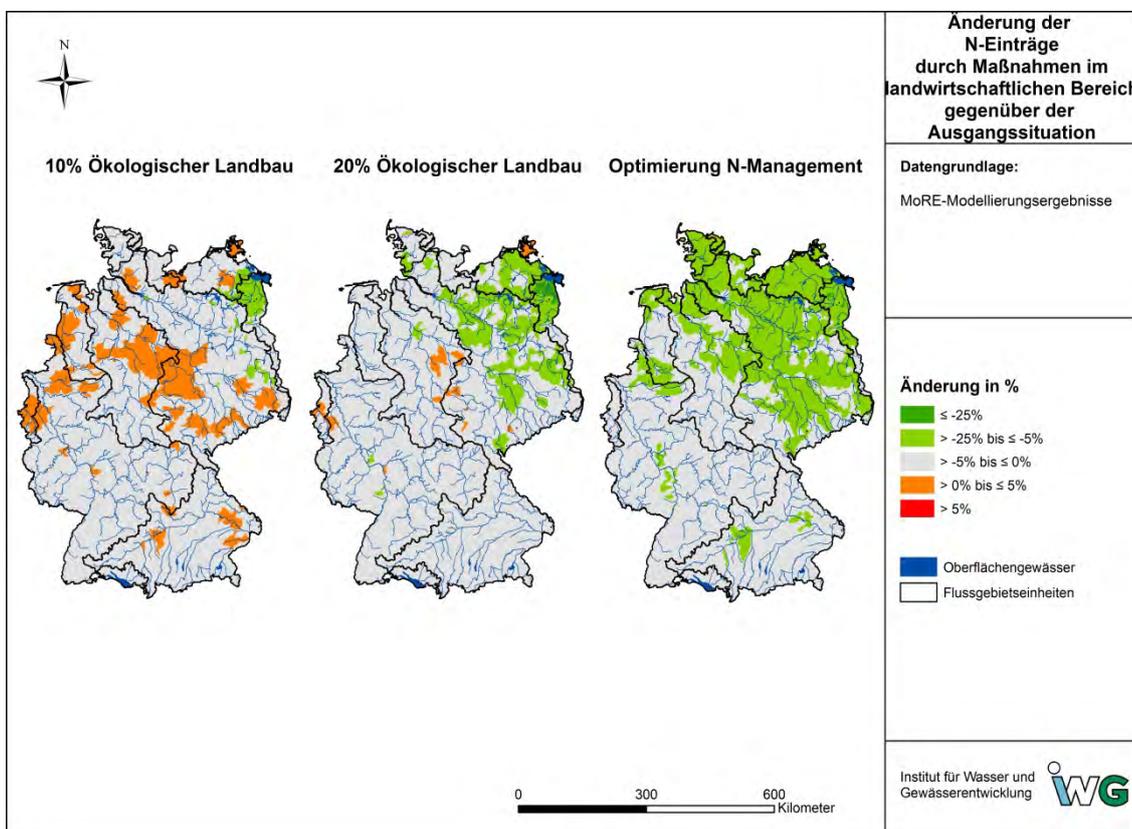
Insgesamt begrenzt sich die Auswirkung aller drei landwirtschaftlichen Maßnahmen auf Nord-Osten Deutschlands, bzw. auf die Gebiete mit einem hohen Anteil an dränierten Flächen. Durch die Nähe dieser Gebiete an Nord- und Ostsee werden vor allem die Maßnahmen „20 %

ökologischer Landbau“ und „Optimierung des N-Managements“ im Hinblick auf den Meeresschutz als zielführend angesehen, auch wenn sie nicht eine flächendeckende Wirkung für Deutschland zeigen.

Tabelle 54: Reduktionspotential der Maßnahmen im landwirtschaftlichen Bereich für Stickstoff im Jahr 2010

| Maßnahme                 | Stickstoff-Gesamteintrag [t/a] | Reduktionspotential Stickstoff [%] |
|--------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| 10% Ökolandbau           | 537.000                        | -0,4                               |
| 20% Ökolandbau           | 532.000                        | -1,3                               |
| Optimierung N-Management | 520.000                        | -3,5                               |

Abbildung 97: Änderung der Stickstoff-Gesamteinträge durch Maßnahmen im landwirtschaftlichen Bereich gegenüber der Ausgangssituation im Jahr 2010



## 6.4 Ergebnisdarstellung des Kostenmoduls zur Bewertung von Maßnahmen zur Stoffeintragsreduktion

### 6.4.1 Abgeschätzte Kosten der Maßnahmen mit Bezug zum Eintragspfad kommunaler Kläranlagen

#### 6.4.1.1 Abgeschätzte Kosten der Maßnahmen „Erhöhung des Anschlussgrades der Bevölkerung an die kommunalen Kläranlagen“

Basierend auf den in Kapitel 5.6.1.1 dargestellten Kostendaten ergeben sich für die Maßnahme „Erhöhung des Anschlussgrades der Bevölkerung an die kommunalen Kläranlagen“ bei einer Umsetzung der Maßnahme in Deutschland entsprechend Maßnahmensteckbrief die in Tabelle 55 dargestellten Kosten.

Die Investitionskosten für erweiterte Kläranlagenkapazitäten würden 353 Millionen Euro und rund 40 Millionen Euro für zusätzliche Kanalisationsstrecken betragen. Zusammen mit den Betriebskosten von 27 Millionen Euro für die erweiterten Kläranlagenkapazitäten und 24,2 Millionen Euro für die zusätzlichen Kanalisationsstrecken ergeben sich Jahreskosten von 76,5 Millionen Euro.

Die Jahreskosten, die sowohl Investitionskosten für einen Kläranlagenausbau sowie für zusätzliche Kanalstrecken und zusätzlich notwendige Betriebskosten für eine Umsetzung dieser Maßnahme berücksichtigen, stellen aufgrund der Kostenüberschätzung der Investitionskosten für den Kläranlagenausbau den oberen Bereich der zu erwartenden Gesamtkosten der Maßnahme dar.

Die durch die zusätzlich angeschlossenen Einwohner entstehenden Betriebskosten stellen den unteren Kostenbereich dar, der realisiert werden kann, sofern entsprechende Kapazitäten vorhanden sind und keine zusätzlichen Kanalstrecken gebaut werden müssen.

Tabelle 55: Abgeschätzte mittlere Kosten der Maßnahme „Erhöhung des Anschlussgrades der Bevölkerung an die kommunalen Kläranlagen“

| Kostenart   | Kosten [Mio. €] |
|---|-----------------|
| Investitionskosten zur Erweiterung von Kläranlagenkapazität                   | 353,0           |
| Investitionskosten für zusätzliche Kanalstrecken                              | 39,7            |
| Zusätzliche Betriebskosten p.a. aufgrund Erweiterung der Kläranlagenkapazität | 27,0            |
| Zusätzliche Betriebskosten aufgrund zusätzlicher Kanalstrecken                | 24,2            |
| <b>Jahreskosten</b>   | <b>76,5</b>     |

Durch die Maßnahme „Erhöhung des Anschlussgrades..“ erhöht sich einerseits die über die Kläranlagen eingetragene Fracht (bei N um 207 t/a), andererseits wird die über das Kanalisationssystem eingetragene Fracht reduziert (bei N um 530 t/a). Für N liegt die gesamte Reduktion somit bei 323 t/a. Die spezifischen Kosten in Bezug auf die reduzierte Fracht liegen somit bei 237 Euro pro Kilogramm eliminiertes N-Fracht.

Das Umsetzungspotenzial der Maßnahme „Erhöhung des Anschlussgrades..“ variiert stark zwischen den Bundesländern. Laut destatis (2010) betrug der Anschlussgrad der Bevölkerung an das Kanalisationssystem ohne weitere Behandlung in einer zentralen Abwasserbehandlungsanlage zwischen 0 und 20,2 %. In den ostdeutschen Flächenländern liegt der Anteil der Bevölkerung mit Anschluss an ein Kanalisationssystem ohne weitere Behandlung in einer zentralen Abwasserreinigungsanlage bei 5 %, in den westdeutschen Flächenländern bei 0,1 % und in den Stadtstaaten bei 0 % (Gesamtdeutschland 0,9 %). Insbesondere für die Bundesländer Thüringen, Sachsen, Sachsen-Anhalt und das Saarland besteht demnach ein größeres Umsetzungspotenzial der Maßnahme „Erhöhung des Anschlussgrades der Bevölkerung an die kommunalen Kläranlagen“ über einen Anschluss der Kanalisationssysteme an eine zentrale Abwasserreinigungsanlage.

Der Anteil der Bevölkerung ohne Anschluss an das kommunale Kanalisationssystem (i.d.R. Kleinkläranlagen und abflusslose Sammelgruben) wurde hierbei nicht berücksichtigt.

#### 6.4.1.2 Abgeschätzte Kosten der Maßnahmen „Optimierung der Betriebsweise an den kommunalen Kläranlagen“

Basierend auf den in Kapitel 5.6.1.2 dargestellten Kostendaten ergeben sich für die Maßnahme „Optimierung der Betriebsweise in Bezug auf P-Elimination“ bei einer Umsetzung der Maßnahme in Deutschland entsprechend Maßnahmensteckbrief die in Tabelle 56 dargestellten Kosten.

Die Investitionskosten würden zwischen 37 Millionen Euro bei günstigen Randbedingungen und unter Einbezug des dritten Quartils und 280 Millionen Euro bei ungünstigen Randbedingungen und unter Einbezug des ersten Quartils liegen. Zusammen mit den Betriebskosten zwischen 18,5 Millionen Euro und 202 Millionen Euro ergeben sich hieraus Jahreskosten von 21 Millionen Euro bis 221 Millionen Euro.

Setzt man die ermittelten Jahreskosten in Relation zu der eliminierten P-Fracht, ergeben sich für alle drei Optimierungsziele spezifische Jahreskosten von 28,4 bis 71 Euro pro Kilogramm eliminierte P-Fracht. Da der Kostenansatz sich pauschal an der eliminierten Fracht orientiert, wird der gesteigerte Aufwand zur Nährstoffelimination bei höheren Optimierungszielen nicht direkt berücksichtigt. Es ist jedoch davon auszugehen, dass bei einer Kläranlage mit gleichen Rahmenbedingungen, die spezifischen Jahreskosten für das Optimierungsziel mit dem Zielwert „1. Quartil“ tendenziell höher ausfallen (somit eher im Bereich der Kostenvariante 2) als die spezifischen Jahreskosten für das Optimierungsziel mit dem Zielwert „3. Quartil“ (eher im Bereich der Kostenvariante 1).

Tabelle 56: Kostenabschätzung der Maßnahme „Optimierung der Betriebsweise an der kommunalen Kläranlage in Bezug auf Phosphor-Elimination“: günstige (Variante 1) und ungünstige Randbedingungen (Variante 2)

| Kostenart           | Optimierung Kläranlage in Bezug auf Phosphor (Zielwert = 1.Quartil) |                           | Optimierung Kläranlage in Bezug auf Phosphor (Zielwert = 2.Quartil) |                           | Optimierung Kläranlage in Bezug auf Phosphor (Zielwert = 3.Quartil) |                           |
|---------------------|---|---------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------|
|                     | Kostenvariante 1 [Mio. €]   | Kostenvariante 2 [Mio. €] | Kostenvariante 1 [Mio. €]   | Kostenvariante 2 [Mio. €] | Kostenvariante 1 [Mio. €]   | Kostenvariante 2 [Mio. €] |
| Investitionskosten  | 156   | 280                       | 84,9  | 153                       | 37,0  | 66,6                      |
| Betriebskosten p.a. | 77,9  | 202                       | 42,5  | 110                       | 18,5  | 48,1                      |
| <b>Jahreskosten</b> | <b>88,3</b>   | <b>221</b>                | <b>48,2</b>   | <b>121</b>                | <b>21</b>   | <b>52,6</b>               |

Basierend auf den in Kapitel 5.6.1.2 dargestellten Kostendaten ergeben sich für die Maßnahme „Optimierung der Betriebsweise in Bezug auf N-Elimination“ bei einer Umsetzung der Maßnahme in Deutschland die in Tabelle 57 dargestellten Kosten.

Die Investitionskosten würden zwischen 66 Millionen Euro bei günstigen Randbedingungen und unter Einbezug des dritten Quartils und 579 Millionen Euro bei ungünstigen Randbedingungen und unter Einbezug des ersten Quartils liegen. Zusammen mit den Betriebskosten zwischen 4 Millionen Euro und 127 Millionen Euro ergeben sich hieraus Jahreskosten von 8,5 Millionen Euro bis 166 Millionen Euro.

Setzt man die ermittelten Jahreskosten in Relation zu der eliminierten N-Fracht, ergeben sich für alle drei Optimierungsziele spezifische Jahreskosten von 1,04 bis 4,58 Euro pro Kilogramm eliminierte N-Fracht. Da sich der Kostenansatz pauschal an der eliminierten Fracht orientiert, wird der gesteigerte Aufwand zur Nährstoffelimination bei höheren Optimierungszielen nicht direkt berücksichtigt. Es ist jedoch davon auszugehen, dass bei einer Kläranlage mit gleichen Rahmenbedingungen, die spezifischen Jahreskosten für das Optimierungsziel mit dem Zielwert „1. Quartil“ tendenziell höher ausfallen (somit eher im Bereich der Kostenvariante 2) als die spezifischen Jahreskosten für das Optimierungsziel mit dem Zielwert „3. Quartil“ (eher im Bereich der Kostenvariante 1).

Tabelle 57: Kostenabschätzung der Maßnahme „Optimierung der Betriebsweise an der kommunalen Kläranlage in Bezug auf Stickstoff-Elimination“: günstige (Variante 1) und ungünstige Randbedingungen (Variante 2)

| Kostenart               | Optimierung Kläranlage in Bezug auf Stickstoff (Zielwert = 1.Quartil) |                           | Optimierung Kläranlage in Bezug auf Stickstoff (Zielwert = 2.Quartil) |                           | Optimierung Kläranlage in Bezug auf Stickstoff (Zielwert = 3.Quartil) |                           |
|-------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------|
|                         | Kostenvariante 1 [Mio. €]   | Kostenvariante 2 [Mio. €] | Kostenvariante 1 [Mio. €]   | Kostenvariante 2 [Mio. €] | Kostenvariante 1 [Mio. €]   | Kostenvariante 2 [Mio. €] |
| Investitionskosten      | 290   | 579                       | 155   | 311                       | 66  | 131                       |
| Betriebskosten pro Jahr | 18  | 127                       | 9,7   | 68                        | 4,1   | 29                        |
| <b>Jahreskosten</b>     | <b>37,6</b>   | <b>165,7</b>              | <b>20,2</b>   | <b>88,9</b>               | <b>8,5</b>  | <b>37,9</b>               |

Bei der Kostenbetrachtung der Maßnahme „Optimierung der Betriebsweise an den kommunalen Kläranlagen“ ist zu berücksichtigen, dass die entstehenden Kosten vom eingesetzten Verfahren abhängig sind und in MoRE jeweils für N und P spezifisch umgesetzt wurden. Sekundäreffekte (bspw. Elimination eines zusätzlichen Nährstoffes) wurden bei der Kostenbetrachtung nicht berücksichtigt. Bei gleichzeitiger Elimination von mehreren Nährstoffen müssen daher die entstehenden Kosten gesondert betrachtet und mögliche Sekundäreffekte gegebenenfalls separat berücksichtigt werden.

## 6.4.2 Abgeschätzte Kosten der Maßnahmen mit Bezug zum Eintragspfad Kanalisationssystem

### 6.4.2.1 Abgeschätzte Kosten der volumenbezogenen Maßnahmen am Beispiel zusätzliches Speichervolumen und Retentionsbodenfilter

Basierend auf den in Kapitel 5.6.2.1 dargestellten Kostendaten ergeben sich für die Maßnahme „Neubau von Speichervolumen bei Unterschreitung einer Speichervolumenkapazität von 23,3 m<sup>3</sup>/ha bis zur Erreichung von 23,3 m<sup>3</sup>/ha“ bei einer Umsetzung der Maßnahme entsprechend Maßnahmensteckbrief die in Tabelle 58 dargestellten Kosten.

Die Investitionskosten würden bei einer Umsetzung der Maßnahme bei rund 9,6 Milliarden Euro liegen, die Betriebskosten bei rund 79,4 Millionen Euro pro Jahr. Hieraus ergeben sich Jahreskosten von 496 Millionen Euro bei einer angesetzten Nutzungsdauer von 40 Jahren.

Setzt man diese Jahreskosten entsprechend dem zuvor ermittelten Frachtrückhalt in Relation zu der mittleren Rückhalterate der Maßnahme in Höhe von 7,65 %, ergeben sich spezifische Jahreskosten von 64,8 Millionen Euro pro Prozent Rückhalt bei einem maximalen Stoffrückhalt von 8,4 % bei Hg unter den betrachteten Rahmenbedingungen. Eine Kostendegression in Abhängigkeit vom Umfang der Maßnahmenumsetzung wurde nicht berücksichtigt.

Tabelle 58: Kostenabschätzung der Maßnahme Neubau Speichervolumen mit Zielwert 23,3 m<sup>3</sup>/ha

| Kostenart               | Kosten [Mio. €] |
|-------------------------|-----------------|
| Investitionskosten      | 9.630           |
| Betriebskosten pro Jahr | 79,4            |
| <b>Jahreskosten</b>     | <b>496</b>      |

Basierend auf den in Kapitel 5.6.2.1 dargestellten Kostendaten ergeben sich für die Maßnahme „Nachschaltung eines Retentionsbodenfilters“ bei einer Umsetzung der Maßnahme entsprechend Maßnahmensteckbrief die in Tabelle 59 dargestellten Kosten.

Die Investitionskosten würden bei einer Umsetzung der Maßnahme entsprechend Maßnahmensteckbrief, mit einer Behandlung von 580 Millionen m<sup>3</sup> pro Jahr, zwischen 19,4 Milliarden und 49 Milliarden Euro liegen. Die Betriebskosten lägen bei 1,1 bis 2,7 Milliarden Euro pro Jahr. Hieraus ergeben sich Jahreskosten von 2,2 bis 5,5 Milliarden Euro für die angesetzte Nutzungsdauer von 25 Jahren.

Setzt man die ermittelten Jahreskosten entsprechend dem zuvor ermittelten Frachtrückhalt in Relation zu der ermittelten mittleren Rückhalterate der Maßnahme in Höhe von 15,4 %, ergeben sich spezifische Jahreskosten von 142 bis 361 Millionen Euro pro Prozent Rückhalt bei einem maximalen Stoffrückhalt von 18 % bei Hg. Eine Kostendegression in Abhängigkeit vom Umfang der Maßnahmenumsetzung wurde nicht berücksichtigt.

Tabelle 59: Kostenabschätzung der Maßnahme Nachschaltung eines Retentionsbodenfilters bei einer Umsetzung bei 50 % des über das Speicherbecken eingeleiteten Volumens im urbanen Raum

| Kostenart               | Kostenvariante 1 [Mio. €] | Kostenvariante 2 [Mio. €] |
|-------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Investitionskosten      | 19.400                    | 49.000                    |
| Betriebskosten pro Jahr | 1.070                     | 2.710                     |

|                     |              |              |
|---------------------|--------------|--------------|
| <b>Jahreskosten</b> | <b>2.180</b> | <b>5.540</b> |
|---------------------|--------------|--------------|

#### 6.4.2.2 Abgeschätzte Kosten der flächenbezogenen Maßnahmen am Beispiel Reduktion der versiegelten Fläche

Basierend auf den in Kapitel 5.6.2.2 dargestellten Kostendaten ergeben sich für die Maßnahme Entsiegelung bei einer Umsetzung der Maßnahme in ganz Deutschland entsprechend Maßnahmensteckbrief die in Tabelle 60 dargestellten Kosten.

Die Investitionskosten würden bei einer Umsetzung der Maßnahme in gesamt Deutschland zwischen 10,5 und 11 Milliarden Euro für den urbanen Bereich bzw. zwischen 22,3 und 28,3 Milliarden Euro für den ländlichen Bereich liegen. Hieraus ergeben sich Jahreskosten von 1,9 bis 2,3 Milliarden Euro für die angesetzte Nutzungsdauer von 25 Jahren.

Setzt man die ermittelten Jahreskosten entsprechend dem zuvor ermittelten Frachtrückhalt in Relation zu der mittleren Rückhalterate der Maßnahme in Höhe von 7,48 %, ergeben sich spezifische Jahreskosten von 255 bis 306 Millionen Euro pro Prozent Rückhalt bei einem maximalen Stoffrückhalt von 8,4 % bei Pb unter den betrachteten Rahmenbedingungen. Eine Kostendegression in Abhängigkeit vom Umfang der Maßnahmenumsetzung wurde nicht berücksichtigt.

Tabelle 60: Kostenabschätzung der Maßnahme Entsiegelung für Gesamtdeutschland: günstige (Variante 1) und ungünstige Randbedingungen (Variante 2)

| <b>Kostenart</b>   | <b>Kostenvariante 1<br/>[Mio. €]</b> | <b>Kostenvariante 2<br/>[Mio. €]</b> |
|--|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Investitionskosten Entsiegelung im urbanen Bereich         | 10.500                               | 11.000                               |
| Investitionskosten Entsiegelung ländlicher Bereich         | 22.300                               | 28.300                               |
| Betriebskosten Entsiegelung im urbanen Bereich pro Jahr    |                                      | 16                                   |
| Betriebskosten Entsiegelung im ländlichen Bereich pro Jahr | nicht berücksichtigt                 | nicht berücksichtigt                 |
| <b>Jahreskosten Entsiegelung in Gesamtdeutschland</b>      | <b>1.900</b>                         | <b>2.300</b>                         |

Das Potenzial der Umsetzung der Maßnahme Entsiegelung ist schwer abschätzbar. Belastbare Daten liegen weder zum Entsiegelungspotenzial in Deutschland noch zu der gesamten versiegelten Fläche vor. Für den Umfang der versiegelten Fläche werden laut destatis (2014) zwischen 43 und 50 % der Siedlungs- und Verkehrsflächen angesetzt, da in den Umfang der Siedlungs- und Verkehrsflächen auch unbebaute und nicht versiegelte Flächen eingehen.

Die Flächenversiegelung hat in den verschiedenen Bundesländern bis auf wenige Ausnahmen (Berlin 2011, Bremen 2010, Hessen 2010 und Rheinland Pfalz 2009) seit dem Jahr 2000 jährlich im Durchschnitt um 0,2-1 % zugenommen. Aus Gegenden, in denen verstärkt eine Entsiegelung der Fläche vorangetrieben werden soll (Bsp. Emscher-Region) zeigt sich, dass die Umsetzung sowohl von topographischen Bedingungen, aber auch stark von den beteiligten Akteuren abhängig ist. Auf Basis von informellen Informationen (Anon. 2014) kann von einem Umsetzungspotenzial zwischen 1-10 % innerhalb von zehn Jahren ausgegangen werden.

## **7 Aggregation der Stoffeinträge auf der Ebene von Planungseinheiten**

Die Eintragsmodellierung in MoRE erfolgt auf Ebene von AU als kleinster Gebietseinheit. Zur Verwendung der Modellierungsergebnisse für die Berichterstattung nach der WRRL wurde bereits in vorangegangenen Vorhaben die hierarchische Berichtsstruktur der WRRL (Flussgebietseinheiten, Koordinierungsräume/Bearbeitungsgebiete) in das Modellsystem integriert (Fuchs et al. 2010a; Fuchs et al. 2012).

Im Zuge des ersten BWP wurden zusätzlich zu den bestehenden Berichtsebenen im Rahmen des nationalen Datenmanagements als zentrales Planungsinstrument die PE durch die Länder ausgewiesen. Die PE umfassen mehrere WK und sind Untereinheiten der Koordinierungsräume/Bearbeitungsgebiete.

Mit Blick auf die Weiterverwendbarkeit der Ergebnisse der Modellierung und die Abbildung der Wirksamkeit überregionaler Maßnahmen im Modell ergab sich die Anforderung, die PE als weitere hierarchische Aggregationsebene in das Modellsystem zu integrieren. Das erfordert einerseits eine Zuordnung der AU (die nicht den WK nach WRRL entsprechen) zu den PE und andererseits eine Zuordnung der PE zu den Koordinierungsräumen/Bearbeitungsgebieten.

Diese Arbeiten erforderten sowohl eine fachlich konzeptionelle Umsetzung (Erarbeitung von fachlich sinnvollen Zuordnungskriterien) als auch strukturelle Anpassungen in MoRE, die im Abschnitt 2.2.2.2 zusammengefasst sind.

Mit Abschluss dieser Arbeiten stellt die PE eine weitere Aggregationsebene für die Ergebnisdarstellung bei der Stoffeintragsmodellierung dar. Die tabellarische Übersicht der Gesamteinträge aller weiteren Stoffe in den einzelnen PE findet sich in Anhang 10.6.5.

### **7.1 Zuordnung der Analysegebiete zu Planungseinheiten**

Insgesamt sind in MoRE für Deutschland 2.759 AU ausgewiesen, die zu den 216 PE der WRRL zugeordnet werden mussten. Für die Zuordnung der AU zu den PE wurde der bei der BfG vorliegende Datensatz zu den deutschen PE verwendet. In einem ersten Arbeitsschritt erfolgte die Prüfung des Datensatzes und der räumlichen Übereinstimmung beider Datensätze (s. Abschnitt 7.1). Dabei wurde einerseits festgestellt, dass der Datensatz zu den PE keine sauberen Geometrien aufwies, was eine eindeutige Zuordnung der AU zu den PE erschwerte. Nach mehrstufiger Diskussion des Sachverhaltes im B/L AK Stoffeintragsmodellierung konnte von der BfG schließlich ein korrigierter/bereinigter Datensatz zur Verfügung gestellt werden (BfG 2013c). Andererseits ergab die Prüfung, dass nicht für alle AU eine eindeutige Zuordnung zu den PE bspw. auf Grund unterschiedlicher Vorgehensweisen bei der Ableitung der Geometrien (Datengrundlagen, Methoden) möglich war (s. Abschnitt 7.1). Eine topologische Anpassung der AU-Grenzen konnten im Rahmen des Vorhabens nicht vorgenommen werden. Der Grund liegt in einem unverhältnismäßig hohen finanziellen und zeitlichen Aufwand zur Umsetzung solcher Änderungen in der Modellierung. Anpassungen der Topologie ziehen neben der Umsetzung der strukturellen Änderungen im Modell eine Neuberechnung aller Modelleingangsdaten nach sich. So entstand die Notwendigkeit, einzelne AU auf Grund der Überschneidung der Geometrien mehreren PE zuzuordnen. In Abstimmung mit dem B/L AK Stoffeintragsmodellierung wurde als übergeordnetes Zuordnungskriterium festgelegt: Liegt ein AU mit mehr als 90 % in einer PE, wird es zu 100 % der betreffenden PE zugeordnet.

So wurden knapp 97% (2.671) der AU bereits im ersten Arbeitsschritt eindeutig einer PE zugeordnet. 88 AU konnten nicht eindeutig einer einzigen PE zugeordnet werden. In Einzelfällen erfolgte in Zusammenarbeit mit den Vertretern der Bundesländer eine Anpassung der Zuordnung der AU beruhend auf der Erfahrung und Kenntnis der lokalen Bedingungen. Auf diese Weise konnten sechs weitere AU einer bestimmten PE zugewiesen werden (s. Anhang 10.6.1). Für die verbleibenden 82 AU ergab sich nun die Notwendigkeit, die Stoffeinträge eines AU auf mehrere PE aufzuteilen. Hierfür wurden eintragungspfadspezifische Faktoren für deren Übertragung abgeleitet (Abschnitt 7.2).

Die vollständige Liste der AU, die nicht eindeutig einer PE zugeordnet werden konnten, einschließlich der Flächenanteile in den einzelnen PE finden sich im Anhang 10.6.3. Eine vollständige Liste der AU mit Namen, Kennung (IDs), Zugehörigkeit zu einem Land und Koordinierungsraum sowie Fläche und Anzahl der AU, die vollständig und teilweise in einer PE liegen, finden sich im Anhang 10.6.2.

## 7.2 Zuordnung der Stoffeinträge zu Planungseinheiten

Die Stoffeinträge der AU, die in mehreren PE liegen, werden nicht als flächengewichtete Gesamteinträge den PE zugewiesen, sondern in Abhängigkeit vom jeweiligen Eintragungspfad. Diese Vorgehensweise wurde gewählt, um eine realitätsnähere Übertragung der Stoffeinträge zu gewährleisten. Hierfür wurden eintragungspfadspezifische Zuordnungskriterien erarbeitet und in Abstimmung mit dem B/L AK Stoffeintragsmodellierung umgesetzt (Tabelle 61).

Tabelle 61: Kriterien für die pfadabhängige Zuordnung der Modellierungsergebnisse der Analysegebiete zu den Planungseinheiten bei Überlappung eines Analysegebietes mit mehreren Planungseinheiten

| Eintragungspfad  | Kriterium   |
|--|---|
| kommunale Kläranlagen $\geq$ 2.000 EW                                    | Lage der Einleitstellen, eintragungsgewichtet, Stand 2010 (UBA 2013c) |
| industrielle Direkteinleiter   | Lage der Einleitstelle, eintragungsgewichtet, Stand 2011 (UBA 2013a)  |
| Altbergbau   | Lage der Standorte (Marscheider-Weidemann et al. 2013)                |
| kommunale Kläranlagen $<$ 2.000 EW                                       | Einwohnerzahl für das Jahr 2011 (EUROSTAT 2014b)                      |
| Kanalisationssysteme   | versiegelte Fläche für das Jahr 2009 (EEA 2014)                       |
| Erosion, Oberflächenabfluss, Grundwasser, Dränagen                       | landwirtschaftliche Nutzfläche von CLC 2006 (EEA 2013a)               |
| atmosphärische Depositionen auf die Wasseroberflächen, Binnenschifffahrt | flächengewichtet  |

Die Zuordnung der Einträge über „kommunale Kläranlagen  $\geq$  2.000 EW“, „industrielle Direkteinleiter“ und „Altbergbau“ erfolgte im Präprozessing lagegetreu entsprechend der Lage der Anlagen zu den Schnittflächen zwischen PE und AU. Jede PQ wurde einer Schnittfläche zugewiesen und anschließend wurden die Einträge in MoRE eintragungsgewichtet auf die PE übertragen.

Die Übertragungsfaktoren für die restlichen Eintragungspfade sind entweder flächen- oder einwohnergewichtet.

## **7.2.1 Ableitung von Übertragungsfaktoren je nach Eintragspfad**

Die pfadspezifischen Übertragungsfaktoren wurden anhand der Kriterien aus der Tabelle 61 abgeleitet. In MoRE wurden anschließend Ergebnisvariablen als Bezugsvariablen hinterlegt, deren Werte im Bereich zwischen 0 und 1 liegen. Dies ist der Anteil, mit welchem ein Ergebniswert von einem AU zu der dazugehörigen PE zugeordnet wird.

### **7.2.1.1 Kommunale Kläranlagen $\geq$ 2.000 EW**

Die Einträge von kommunalen Kläranlagen  $\geq$  2.000 EW wurden anhand der Lage der Einleitstelle einer PE zugeordnet. Für eine PE im Land Bayern wurden spezifische Rückmeldungen berücksichtigt. Im Anhang 10.6.4 sind die Zuordnungen dokumentiert.

Die Einträge über den Teileintragungspfad „Kommunale Kläranlagen  $\geq$  2000 EW“ wurden anhand des Vorkommens mindestens einer Kläranlage in einer Teilfläche aufgeteilt: Enthält eine Teilfläche mindestens eine Anlage wurde dieser Teilfläche der Faktor 1 zugewiesen, während Teilflächen, die keine Kläranlage enthalten, den Faktor 0 erhielten. Wenn eine Kläranlage nur in einem von beiden Datenauszügen vorhanden war (Jahr 2008 oder 2010), wurde dem Faktor der Wert 1 zugeteilt.

Der Faktor für den Eintrag aus Kläranlagen  $\geq$  2000 EW wurde stoffspezifisch ermittelt. Es wurden die Daten aus dem Jahr 2010 verwendet. Lag keine Anlage in der Schnittfläche vor wurde der Faktor 0 vergeben. Lagen alle Anlagen innerhalb eines AU in einer einzigen Teilfläche dieses AUs wurde der Faktor 1 vergeben. Lagen in mehreren Teilflächen eines AU Anlagen vor, wurde der Faktor für die Teilfläche anteilig am Gesamteintrag aller Anlagen des AU berechnet (Faktor Teilfläche = Einträge Teilflächen/Einträge AU gesamt). Dieser Faktor wurde für jeden Stoff (Schwermetalle, N, P, PAK) berechnet. Der Faktor für eine Schnittfläche liegt dann zwischen 0 und 1. Pro AU kann somit in der Summe (aller Faktoren der enthaltenen Schnittflächen) nur der Faktor 1 oder 0 vorliegen.

### **7.2.1.2 Industrielle Direkteinleiter**

Zur Ableitung der Übertragungsfaktoren für den Eintragungspfad „Industrielle Direkteinleiter“ wurden die Koordinaten der Anlagen herangezogen, die im PRTR (UBA 2012 und UBA 2013a) für die Jahre 2007-2011 vorlagen.

Wie auch beim Vorgehen für die kommunalen Kläranlagen  $\geq$  2000 EW wurden die industriellen Direkteinleiter zu den Teilflächen für jedes Jahr aus dem Zeitraum 2007-2011 zugeordnet. Liegt mindestens eine Anlage in einer Teilfläche, wurde dieser der Faktor 1 zugewiesen sonst der Faktor 0. Der Faktor ist zusammengefasst für die Jahre 2007-2011 angegeben. D. h. auch wenn nicht in allen Jahren (sondern beispielsweise nur in einem Jahr) eine Anlage in der Schnittfläche vorhanden ist, so wurde der Faktor 1 vergeben.

Wie auch beim Vorgehen für die Einträge aus den Kläranlagen  $\geq$  2000 EW wurden die Daten zu den Einträgen von industriellen Direkteinleitern für die Jahre 2007 bis 2011 mit den Teilflächen verschnitten und so den Teilgebieten die in ihnen befindlichen industriellen Direkteinleiter zugewiesen.

Der Faktor wurde stoffspezifisch vergeben und bezieht sich auf die Einträge aus dem Jahr 2011. Hat eine Anlage für einen Stoff im Jahr 2011 Einträge, wurde für die Teilfläche der Faktor 1 vergeben, sonst der Faktor 0. Insgesamt waren im Jahr 2011 acht Anlagen in sieben Schnittflächen aktiv. Der Faktor 1 wurde für die Bezugsvariable ID\_E\_HM vergeben, wenn Einträge für mindestens ein Schwermetall vorlagen.

Sonderfall ist die Schnittfläche PE\_BWSMAI20496, hier liegen zwei berichtspflichtige Anlagen für das Jahr 2011 vor, es wurde der Faktor 1 für einen Stoff vergeben, wenn mindestens eine dieser Anlagen Einträge für diesen Stoff vorweist.

### **7.2.1.3 Altbergbau**

Zur Ermittlung der Übertragungsfaktoren für den Eintragspfad „Altbergbau“ wurden die Koordinaten der Standorte verwendet (Marscheider-Weidemann et al. 2013).

Allen Teilflächen wurde der Faktor 0 zugewiesen, da keine Altbergbaustandorte innerhalb von AU liegen, die mehreren PE zugeordnet wurden.

### **7.2.1.4 Kommunale Kläranlagen < 2.000 EW**

Da die Informationen zu kommunalen Kläranlagen < 2.000 EW nur aggregiert auf Gemeindeebene zur Verfügung stehen (FDZ 2012, 2013a), wurde die Ableitung der Übertragungsfaktoren anhand der Gesamteinwohner durchgeführt. Hierfür wurde der Datensatz zur Bevölkerungsdichte von EUROSTAT aus dem Jahr 2011 berücksichtigt (EUROSTAT 2014b).

Der Faktor spiegelt das Verhältnis aus den Einwohnern in der Teilfläche zu den Einwohnern im gesamten AU wider.

### **7.2.1.5 Kanalisationssysteme**

Zur Ableitung der Faktoren für den Teileintragspfad „Kanalisationssysteme“ wurde der Rasterdatensatz zu den innerörtlich versiegelten Flächen aus dem Jahr 2009 (EEA 2014) herangezogen.

Der Faktor spiegelt das Verhältnis der versiegelten Fläche in der Teilfläche und der versiegelten Fläche im gesamten AU wider.

### **7.2.1.6 Landwirtschaftlich geprägte Eintragspfade**

Für die hauptsächlich landwirtschaftlich geprägten Eintragspfade „Erosion“, „Oberflächenabfluss“, „Grundwasser“ und „Dränagen“ wurden die Übertragungsfaktoren anhand der Größe der landwirtschaftlichen Nutzflächen (Summe von Acker- und Grünlandflächen) abgeleitet. Diese wurde aus dem CLC Rasterdatensatz (EEA 2013a) anhand der landwirtschaftlichen Nutzungsklassen identifiziert (s. Tabelle 62).

Tabelle 62: CLC-Nutzungsklassen für Acker- und Grünlandflächen (EEA 2013a)

| CLC-ID | Beschreibung der CLC-Klasse  |
|--------|--|
| 211    | Nicht bewässertes Ackerland  |
| 212    | Regelmäßig bewässertes Ackerland   |
| 213    | Rieselfelder   |
| 221    | Weinanbauflächen   |
| 222    | Obst und Beerenobstbestände  |
| 223    | Olivenhaine  |
| 231    | Wiesen und Weiden  |
| 241    | Einjährige Kulturen in Verbindung mit Dauerkulturen  |
| 242    | Komplexe Parzellenstrukturen   |
| 243    | Landwirtschaftlich genutztes Land mit Flächen natürlicher Vegetation von signifikanter Größe |
| 244    | Land- und forstwirtschaftliche Flächen   |

Der jeweilige Übertragungsfaktor ist das Verhältnis aus der landwirtschaftlichen Nutzfläche in der Teilfläche und der landwirtschaftlichen Nutzfläche im gesamten AU.

#### 7.2.1.7 Atmosphärische Depositionen auf die Wasseroberflächen und Binnenschifffahrt

Für die Eintragspfade „Atmosphärische Depositionen auf die Wasseroberflächen“ und „Binnenschifffahrt“ wurden die Übertragungsfaktoren anhand der AU-Fläche abgeleitet. Er wird aus dem Verhältnis der Größe einer Teilfläche zur Gesamtfläche des AU abgeleitet.

### 7.3 Ergebnisse der Eintragsberechnungen auf der Ebene von Planungseinheiten

Die Ergebnisse der Eintragsberechnungen auf der Ebene von PE sind eine Zusammenfassung der bereits für die AU berechneten Einträge. Im Anhang 10.6.5 befinden sich die Ergebnisse der Eintragsmodellierung von Nährstoffen, Schwermetallen und PAK<sub>16</sub> als Mittelwert für den Zeitraum 2006-2011.

## **8 Validierung der Ergebnisse anhand beobachteter Gewässerfrachten**

Die Validierung ist ein unerlässlicher Schritt bei der Modellierung. Hier wird die Plausibilität der Modellergebnisse überprüft. Zur Validierung der Ergebnisse, der Stoffeinträge in die Gewässer, werden aus den modellierten Einträgen modellierte Gewässerfrachten abgeleitet. Diese werden beobachteten Gewässerfrachten gegenübergestellt. Die beobachteten Gewässerfrachten werden aus den im Gewässer gemessenen Abflüssen und Stoffkonzentrationen ermittelt.

Bisher erfolgte die Validierung der MoRE-Modellergebnisse extern. Um diesen Prozessschritt innerhalb von MoRE zu ermöglichen, wurde in MoRE-Developer das Modul „Validierung“ entwickelt und umgesetzt. Im Validierungsmodul sind Daten zu Gütemessstellen und Abflusspegeln hinterlegt. Diese Daten sind Grundlage für die Berechnung der Gewässerfrachten an den vorliegenden Gütemessstellen. Diese können dann mit den beobachteten Gewässerfrachten verglichen werden.

Im Folgenden wird die inhaltliche Implementierung des Validierungsmoduls in MoRE dargestellt. Zunächst wird die Aufbereitung der Abfluss- und Gütedaten beschrieben (Abschnitt 8.1). Anschließend wird die Vorgehensweise zur Berechnung der Gewässerfrachten erläutert (Abschnitt 8.2).

Die technische Umsetzung des Moduls Validierung ist in Abschnitt 2.2.3 beschrieben.

### **8.1 Präprozessing der Eingangsdaten**

Vor Verwendung und Übernahme der Abfluss- und Gütedaten in das Validierungsmodul sind diese zu prüfen und aufzubereiten. Dies gilt einerseits hinsichtlich der Daten selbst, andererseits aber auch hinsichtlich ihrer Stammdaten und Verbindungen untereinander.

#### **8.1.1 Daten der Abflussmessstellen**

Bei den für die Validierung verwendeten Abflussdaten handelt es sich sowohl um Daten der Länder, die im Rahmen einer Verwaltungsvereinbarung zwischen Bund und Ländern bei der BfG zusammengeführt werden, als auch um Daten von der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung, die ebenfalls bei der BfG vorliegen. Insgesamt liegen tägliche Abflussdaten zu ca. 1.000 Messstellen vor.

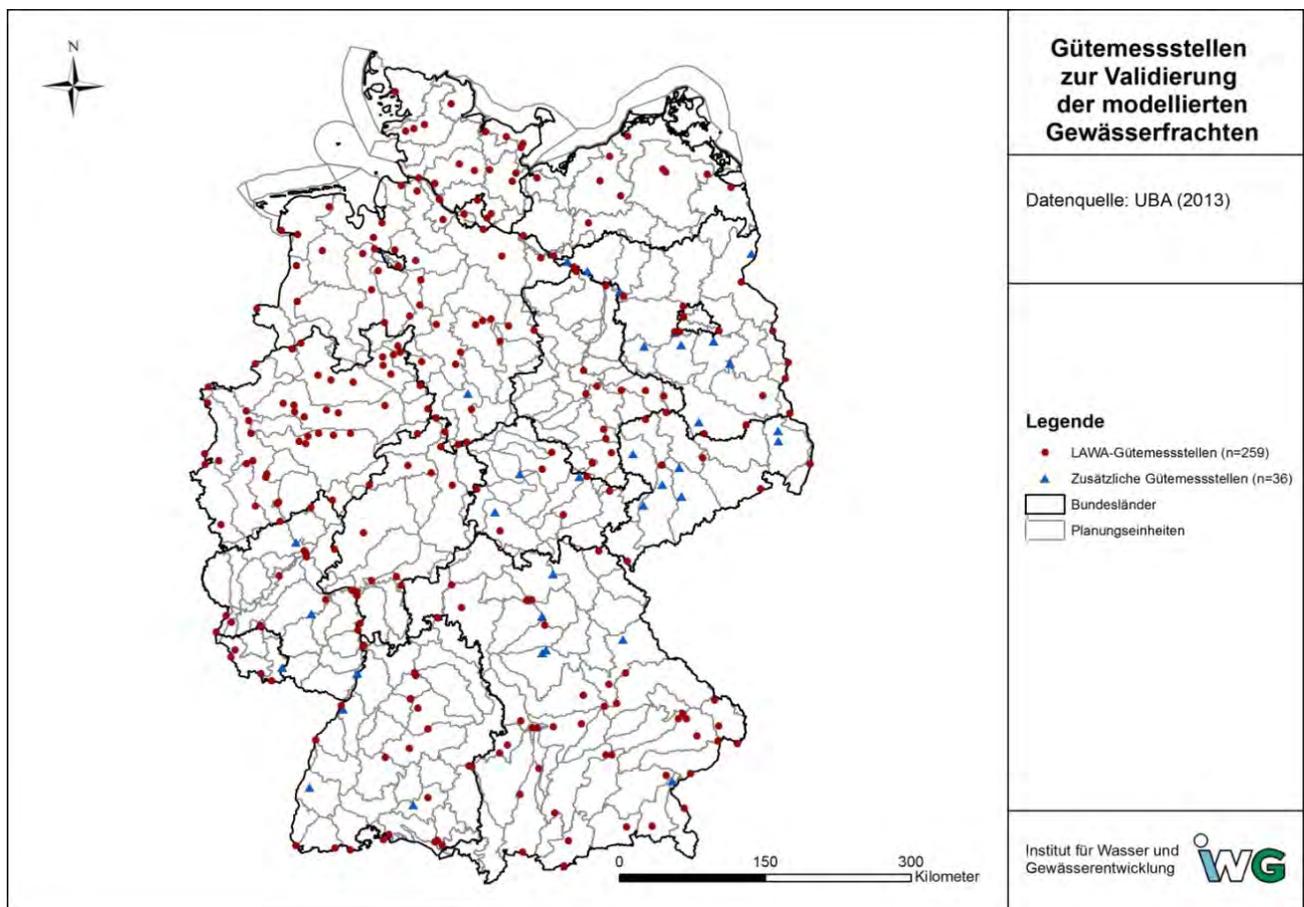
Bei der Datenanalyse identifizierte Datenlücken zu täglichen Abflussdaten wurden nach der kubischen Spline-Methode für einzelne Messstellen interpoliert. Diese Methode zur zeitlichen Interpolation wird üblicherweise für hydrologische Merkmale und bei kleinen Datenlücken angewandt. Dabei wurden für die Interpolation jeweils die zehn vorrausgehenden und die zehn nachfolgenden Abflusswerte einbezogen. Vorab wurde ein Schwellenwert für die maximale Anzahl fehlender Werte innerhalb eines Jahres festgelegt. Dieser lag bei sieben. Für die Pegel mit mehr als sieben fehlenden Abflusswerten innerhalb eines Jahres schien die Interpolation nicht sinnvoll, da die Abflussdynamik nicht mehr richtig erfasst und somit keine zuverlässigen Daten ermittelt werden können. Alle Abflusszeitreihen, die größere Datenlücken aufwiesen, wurden zwar auch in MoRE integriert, sie werden jedoch nicht für die Validierung herangezogen.

## 8.1.2 Daten der Gütemessstellen

### 8.1.2.1 Verfügbare Gütemessstellen

Bei den für die Validierung verwendeten Gütemessstellen handelt es sich um die Daten der Länder des LAWA-Überblicksmessnetzes (259 Messstellen, s. Anhang 10.3) einschließlich 36 weiterer ausgewählter Messstellen der Länder. Die Daten des LAWA-Überblicksmessnetzes werden im Rahmen einer Verwaltungsvereinbarung zwischen Bund und Ländern jährlich beim UBA zusammengeführt. Die zusätzlichen Messstellen wurden auf Basis der Modellanforderungen ausgewählt und im B/L AK Stoffeintragsmodellierung diskutiert und abgestimmt. In der Abbildung 98 ist die räumliche Verteilung der Gütemessstellen des LAWA-Überblicksmessnetzes und der zusätzlichen Gütemessstellen dargestellt.

Abbildung 98: Gütemessstellen zur Validierung



### 8.1.2.2 Aufbereitung der Gütedaten

Auch die Gütedaten mussten für die Validierung aufbereitet werden. Dies betraf hauptsächlich die Werte, die als „kleiner BG“ ausgewiesen waren. Ist ein Wert kleiner BG wird konventionsgemäß dieser Wert für die Frachtberechnung mit der halben BG angenommen.

### 8.1.2.3 Metadaten der Gütemessungen in MoRE

#### Beprobungsart und Probenahmeintervalle

Darüber hinaus sind weitere Metadaten, wie Datum der Probenahme, Art der Beprobung und Probenintervalle bei Mischproben in der Datenbank hinterlegt. Die Beprobungsart wird bei der Frachtberechnung berücksichtigt, sodass je nach Beprobungsart die jährlichen beobachteten Gewässerfrachten mit unterschiedlichen Formeln berechnet werden. Die Beprobung im Gewässer kann als Einzelprobe oder Mischprobe durchgeführt worden sein. Das Datum, zu dem ein Wert einer Mischprobe in der Datenbank eingeordnet ist, ist der Konvention nach das Anfangsdatum der Probenahme. Es gibt 7-, 14- und 28-tägige Mischproben.

Nach der allgemeinen Prüfung der Datenqualität wurde bei den Mischproben festgestellt, dass Mischprobenintervalle z.T. nicht korrekt ausgewiesen waren. Deshalb wurde für alle neu importierten Daten eine Kontrolle und ggf. eine Korrektur des Intervalls durchgeführt. Dabei wurde das Mischprobenintervall als Differenz zum Datum der nächstfolgenden Mischprobe berechnet. Falls es keine Folgeprobe gibt (zwischenzeitlicher Ausfall oder Ende der Beprobung), wird vom „Standardintervall“ des entsprechenden Jahres ausgegangen.

Beim Vorkommen sowohl von Misch- als auch Einzelproben für den gleichen Tag und Stoff wurde die Mischprobe weiter verwendet; die Informationen zu Einzelproben wurden aus der Datenbank gelöscht.

Bei Mehrfachmessungen an einem Tag für denselben Stoff wurde der höchste Messwert beibehalten (worst case) Betrachtung.

#### Probenart

Eine weitere Metainformation zu den Gütedaten sind Angaben zur Probenart. Hier wird unterschieden in:

- Gesamtprobe,
- gelöster Anteil und
- sedimentierte Probe.

Zur Berechnung der Gewässerfrachten werden nur die Gesamtproben herangezogen. Sind keine Gesamtproben verfügbar, so wird keine Gewässerfracht berechnet.

#### Messwerte und Bestimmungsgrenzen

Die Berechnung von Gewässerfrachten ist immer dann gut möglich, wenn die gemessenen Konzentrationen oberhalb der BG liegen. Werte unterhalb der BG werden mit der halben BG in der Frachtberechnung berücksichtigt. Die Metainformation ob ein Wert oberhalb oder unterhalb der BG ist, musste entsprechend in der Datenbank hinterlegt werden.

## 8.2 Berechnung der Gewässerfrachten

### 8.2.1 Berechnungsansatz für die Gewässerfrachten

Zur Berechnung der beobachteten Gewässerfrachten wurde die BfG-Methode, die im Rahmen des IKSE (Internationale Kommission zum Schutz der Elbe) Sedimentmanagement (BfG 2013b) entwickelt wurde, verwendet. Sie wurde ursprünglich für die prioritären Stoffe erarbeitet und kann für die Probenart „Gesamtprobe“ und für „Einzelprobe“ oder „Mischprobe“ angewandt

werden (s. Gleichung 34). Abweichend von dieser Methode werden im vorliegenden Vorhaben unter Mischproben alle Proben mit unterschiedlichen Intervallen verstanden (BfG-Methode: Standardintervall ist 2 Wochen).

Gleichung 34 wurde dabei so angepasst, dass zwei Korrekturfaktoren berücksichtigt wurden: einerseits für die unterschiedliche Lage von Abflusspegeln und Gütemessstellen und andererseits für den Gebietsauslass der AU (s. Gleichung 35).

#### Gleichung 34

$$F = \frac{MQ_{\text{Jahr}} \sum_{i=1}^n (C_i \cdot Q_i)}{\sum_{i=1}^n (Q_i)} \cdot 0,0864 \cdot 365,25$$

#### Gleichung 35

$$F = \frac{MQ_{\text{Jahr}} \sum_{i=1}^n (C_i \cdot Q_i)}{\sum_{i=1}^n (Q_i)} \cdot 0,0864 \cdot 365,25 \cdot U_{f \text{ C/Q}} \cdot U_{f \text{ AU-Auslass/C}}$$

|                              |   |
|------------------------------|---|
| F:                           | Jahresfracht [t/a] für Nährstoffe und [kg/a] für Schadstoffe  |
| $MQ_{\text{Jahr}}$           | mittlerer Jahresabfluss für das Kalenderjahr [ $m^3/s$ ]  |
| $C_i$                        | Stoffkonzentration (Gesamtgehalte Wasserphase) [mg/L] für Nährstoffe und [ $\mu\text{g/L}$ ] für die Schadstoffe              |
| $Q_i$                        | Abfluss (mittlerer Tagesabfluss am Tag der Probenahme oder Mittelwert für die der Probenahme entsprechenden Zeit) [ $m^3/s$ ] |
| n                            | Anzahl der Messungen im Kalenderjahr  |
| $U_{f \text{ C/Q}}$          | Korrekturfaktor für Lage der Gütemessstelle zur Lage des/der Abflusspegel(s) [-]  |
| $U_{f \text{ AU-Auslass/C}}$ | Korrekturfaktor für die Lage des Gebietsauslasses zur Lage der Gütemessstelle [-]   |

### 8.2.2 Kriterien zur Auswahl der Gütemessstellen für die Validierung

Auf Grund von stoffspezifisch fehlenden oder nicht ausreichend verfügbaren Gütemessungen oder dem Fehlen zugehöriger Abflussdaten, können nicht alle vorliegenden Gütemessstellen bei der Validierung berücksichtigt werden. Im Rahmen des Vorhabens wurde anhand von Auswahlkriterien stoffspezifisch eine Liste der Gütemessstellen aufbereitet, die für die Validierung in den entsprechenden Bilanzzeiträumen 2006-2008 und 2009-2011 herangezogen werden können (s. Anhang 10.4).

Die Gütemessstellen müssen u.a. die folgenden Qualitätskriterien erfüllen:

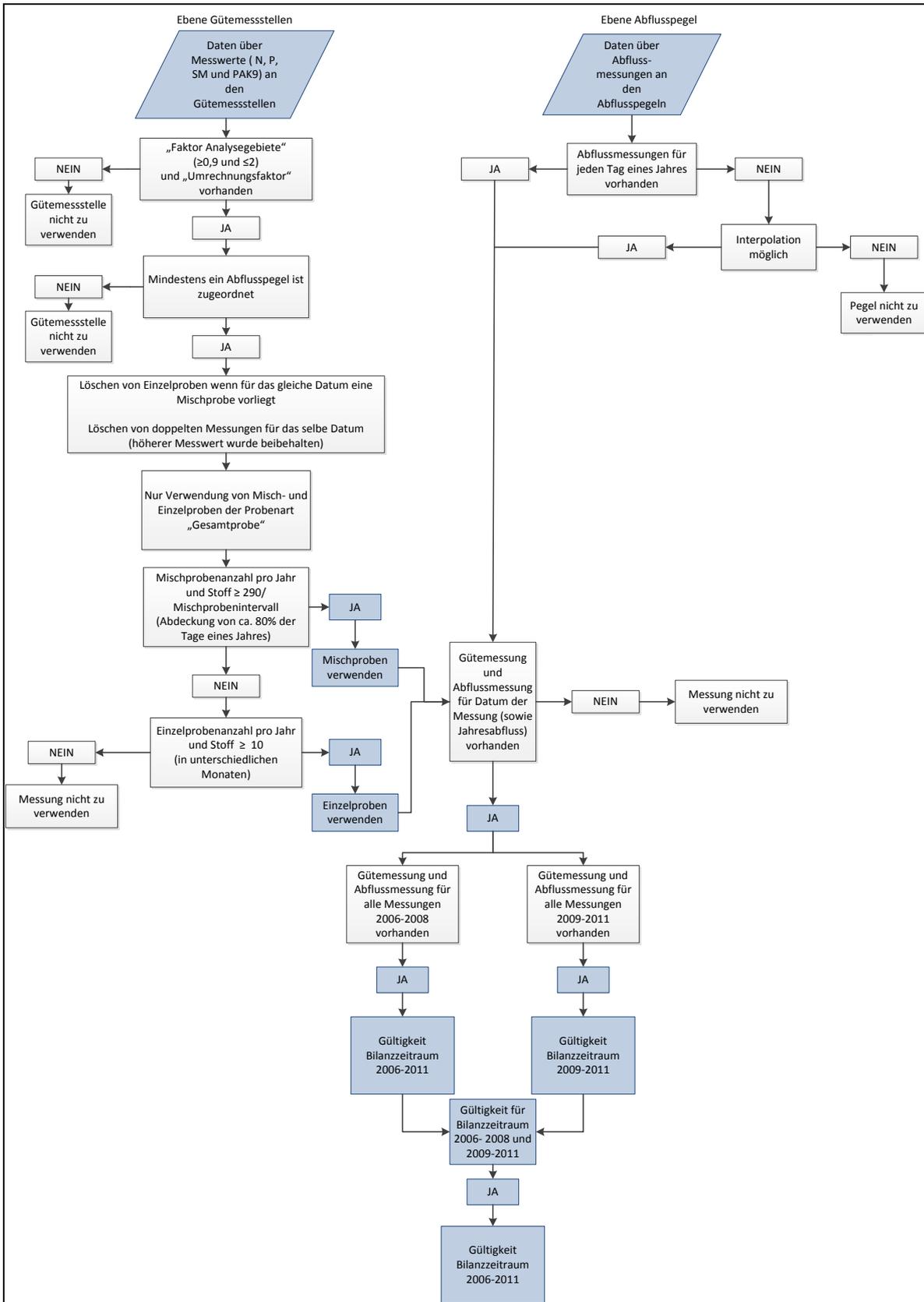
- Die Gütemessstelle ist in den Bilanzzeiträumen 2006-2008 und 2009-2011 gültig, d.h. alle notwendigen Güte- und Abflussdaten sind verfügbar
- Der Abfluss-Korrekturfaktor für die Gütemessstelle ist vorhanden.
- Der Korrekturfaktor für die Lage des Gebietsauslasses zur Lage der Gütemessstation liegt im Bereich  $\geq 0,9$  und  $\leq 2$ .

- Das Einzugsgebiet der Gütemessstelle liegt vollständig in Deutschland.

Der Grund dafür, nur Messstellen zu nutzen, deren Einzugsgebiet vollständig in Deutschland liegt, ist der z. T. gravierende Unterschied der Datenqualität und der räumlichen Auflösung der verwendeten Eingangsdaten für Deutschland und das Ausland. Für das Ausland werden überwiegend zeitlich und räumlich gröber aufgelöste Eingangsdaten verwendet als für Deutschland (s. dazu auch die Ausführungen in Abschnitt 10.7). Grund ist die schlechtere Verfügbarkeit frei zugänglicher Daten.

In der Abbildung 99 ist das gesamte Auswahlverfahren zur Ableitung der Eignung der Gütemessstellen zur Validierung in Form eines Flowchart dargestellt.

Abbildung 99: Ableitung der Gültigkeit bzw. Eignung der Gütemessstellen zur Validierung der Gewässerfrachten



## 9 Literaturverzeichnis

- Anon. (2014): Umsetzungspotential der Entsiegelung, basierend auf den Erfahrungen aus Emscher 15/15, Juni 2014. persönliche Mitteilung.
- Assmann, A.; Bauer, C.; Ernstberger, H.; Johann, G.; Merta, M.; Rieger, W. et al. (2013): DWA-Regelwerk. Merkblatt DWA-M 550. Dezentrale Maßnahmen zur Hochwasserminderung. Entwurf. Frist zur Stellungnahme: 15. Januar 2014. Hennef, 2013. Online verfügbar unter [http://www.dwa.de/dwa/shop/produkte.nsf/69EAA93894DA05CEC1257BF2001B1E82/\\$file/vorschau\\_dwa\\_m\\_550gd.pdf](http://www.dwa.de/dwa/shop/produkte.nsf/69EAA93894DA05CEC1257BF2001B1E82/$file/vorschau_dwa_m_550gd.pdf).
- Bach, M.; Hillebrecht, B.; Hunsager, E.; Stein, M. (2014): Berechnung von Stickstoff-Flächenbilanzen für die Landwirtschaft in Deutschland mit Regionalgliederung Kreise und kreisfreie Städte. Jahre 2003 bis 2011. Abschlussbericht. Wettenberg, 2014.
- Bachor, A.; Schumann, A.; Röpke, A.; Scharf, E.-M.; Dethloff, M.; Nakari, T. et al. (2011): COHIBA WP3, National Report. German Results. Güstrow, 2011. Online verfügbar unter <http://www.cohiba-project.net/publications>, zuletzt geprüft am 30.07.2014.
- Bahr, C.; Günther, T.; Perner, J.; Pohl, A.; Schneider, P.; Müller, V. et al. (2007): Bewertung der (organischen) Schadstoffbelastung kommunaler Klärschlämme in Schleswig-Holstein hinsichtlich der zukünftigen landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung. Kiel, 2007. Online verfügbar unter [http://www.schleswig-holstein.de/UmweltLandwirtschaft/DE/Abfall/05\\_Siedlungsabfaelle/005\\_VerwertungDuenger\\_Klaerschlamme/005\\_Schadstoffbelastung\\_Klaerschlaemme/PDF/Bericht\\_Bewertung\\_Schadstoffbelastung\\_\\_blob=publicationFile.pdf](http://www.schleswig-holstein.de/UmweltLandwirtschaft/DE/Abfall/05_Siedlungsabfaelle/005_VerwertungDuenger_Klaerschlamme/005_Schadstoffbelastung_Klaerschlaemme/PDF/Bericht_Bewertung_Schadstoffbelastung__blob=publicationFile.pdf), zuletzt geprüft am 09.08.2012.
- Bäumer, K. A. (1998): Mehrkosten in der Abwasserentsorgung aufgrund von Forderungen zur weitergehenden Abwasserreinigung für kommunale Kläranlagen, 1998.
- Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (2013): 7538-UG. Richtlinien für Zuwendungen zu wasserwirtschaftlichen Vorhaben. RZWas 2013, vom 04.06.2013. Fundstelle: Allgemeines Ministerialblatt 26 (8), S. 278–308. Online verfügbar unter <http://www.stmuv.bayern.de/umwelt/wasserwirtschaft/foerderung/doc/rzwastxt.pdf>.
- Behrendt, H.; Huber, P.; Kornmilch, M.; Opitz, D.; Schmoll, O.; Scholz, G.; Uebe, R. (1999): Nährstoffbilanzierung der Flußgebiete Deutschlands. Unter Mitarbeit von W. Pagenkopf, Martin Bach und Ulrike Schweikart. Berlin, 1999 (75/99).
- BMWi - Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2013): Entwicklung von Energiepreisen und Preisindizes zu nominalen Preisen in Deutschland. Energiedaten, Tabelle 26, 13.08.2013. Online verfügbar unter <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/Binaer/Energiedaten/energiepreise-und-energiekosten1-entwicklung-energiepreise-preisindizes,property=blob,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.xls>.
- Böhm, E.; Hillenbrand, T.; Liebert, J.; Schleich, J.; Walz, R. (April / 2002): Kosten-Wirksamkeitsanalyse von nachhaltigen Maßnahmen im Gewässerschutz. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Forschungsbericht 299 21 289. Texte 12/02. ISSN 0722-186X. Unter Mitarbeit von Bernd Mehlhorn (Red.). Berlin, April / 2002 (UBA-FB 000221). Online verfügbar unter <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/2101.pdf>.

- Brombach, H.; Michelbach, S. (1998): Abschätzung des einwohnerbezogenen Nährstoffaustrags aus Regenentlastungen im Einzugsgebiet des Bodensees. (Studie). 1. Aufl. 1 Band (IGKB-Berichte, 49).
- Brombach, H.; Fuchs, S. (2003): Datenpool gemessener Verschmutzungskonzentrationen in Misch- und Trennkanalisationen. In: *KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall* 50 (4), S. 441–450.
- Builtjes, P.; Hendriks, E.; Koenen, M.; Schaap, M.; Benzhaf, S.; Kerschbaumer, A. et al. (2011): Erfassung, Prognose und Bewertung von Stoffeinträgen und ihren Wirkungen in Deutschland. Zusammenfassender Abschlussbericht. MAPESI-Projekt. Dessau-Roßlau, 2011 (38-44/2011). Online verfügbar unter <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4137.pdf>, zuletzt geprüft am 08.10.2013.
- Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) (2007): Digitales Geländemodell für Deutschland im 25-m-Raster. Frankfurt am Main.
- Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) (2007): Vektordaten der Verwaltungsgrenzen 1:250 000 der Bundesrepublik Deutschland (VG250) für das Jahr 2007.
- Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) (2010a): Digitales Basis-Landschaftsmodell 2008 (AAA-Modellierung). Bundesrepublik Deutschland. UTM-Abbildung in der Zone 32.
- Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) (2010b): Vektordaten der Verwaltungsgrenzen 1:250 000 der Bundesrepublik Deutschland (VG250) für das Jahr 2010.
- Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) (2014): Digitales Basis-Landschaftsmodell 2011 (AAA-Modellierung). Bundesrepublik Deutschland. UTM-Abbildung in der Zone 32.
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (1998): Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:1.000.000 (BÜK1000). Online verfügbar unter [http://www.bgr.bund.de/cln\\_011/nn\\_325378/DE/Themen/Boden/Produkte/Karten/BUEK\\_\\_1000.html](http://www.bgr.bund.de/cln_011/nn_325378/DE/Themen/Boden/Produkte/Karten/BUEK__1000.html).
- Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) (2013a): Die Messwerte für die Abflusspegel für den Zeitraum 2006-2011, 2013.
- Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) (2013b): Frachtberechnungsmodul Prioritäre Stoffe. Unter Mitarbeit von Holger Haase. Koblenz, 2013, zuletzt geprüft am 18.11.2013.
- Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) (2013c): WasserBLICK: Bund-Länder-Informations- und Kommunikationsplattform. BfG-Informationssystem. Unter Mitarbeit von Ralf Buskamp, 22.04.2013.
- Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (BMJV) (2011): Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung), OGewV, vom Bundesministeriums der Justiz in Zusammenarbeit mit der juris GmbH. In: BGBl. I. Online verfügbar unter <http://www.gesetze-im-internet.de/ogewv/index.html>, zuletzt geprüft am 15.08.2014.
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (2007): EG-Öko-Basisverordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates vom 28. Juni 2007 über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91, ABl. Nr. L 189 vom 20.07.2007, S. EG-Öko-Basisverordnung (EG) Nr. 834/2007.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (2002): Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische

Anleitung zur Reinhaltung der Luft). TA Luft, vom 24.07.2002. In: *Gemeinsames Ministerialblatt* (25-29), S. 511–605. Online verfügbar unter <http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/taluft.pdf>, zuletzt geprüft am 15.10.2012.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (2012): Entsorgung und Verwertung von Klärschlamm in der Landwirtschaft. Online verfügbar unter <http://www.bmu.de/detailansicht/artikel/klaerschlamm-statistik/>, zuletzt geprüft am 03.09.2014.

destatis (2010): Öffentliche Wasserversorgung und öffentliche Abwasserentsorgung. Öffentliche Abwasserbehandlung und -entsorgung, 2010 (Reihe 2.1.2), zuletzt geprüft am 13.07.2014.

destatis (2014): Flächennutzung, 2014. Online verfügbar unter [https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/Umwelt/UmweltoekonomieGesamtrechnungen/\\_Doorpage/Flaechennutzung\\_ol.html](https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/Umwelt/UmweltoekonomieGesamtrechnungen/_Doorpage/Flaechennutzung_ol.html), zuletzt geprüft am 15.12.2014.

Deutscher Wetterdienst (DWD) (2013): Ausgabe der Niederschlagshöhe für die einzelnen Bundesländer und Deutschland (gesamt). Klimadaten des DWD für Deutschland - Gebiete - Zeitreihen von Gebietsmitteln. Excel-Datei. Offenbach a. M., 2013. Online verfügbar unter [http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?\\_nfpb=true&\\_pageLabel=\\_dwdwww\\_klima\\_umwelt\\_klimadaten\\_deutschland&T82002gsbDocumentPath=Navigation%2FOeffentlichkeit%2FKlima\\_\\_Umwelt%2FKlimadaten%2Fkldaten\\_\\_kostenfrei%2Fdaten\\_\\_gebietsmittel\\_\\_node.html%3F\\_\\_nnn%3Dtrue](http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&_pageLabel=_dwdwww_klima_umwelt_klimadaten_deutschland&T82002gsbDocumentPath=Navigation%2FOeffentlichkeit%2FKlima__Umwelt%2FKlimadaten%2Fkldaten__kostenfrei%2Fdaten__gebietsmittel__node.html%3F__nnn%3Dtrue).

Dimitrova, S. (2011): Einträge prioritärer Stoffe aus Kläranlagen in die Gewässer. Diplomarbeit im Fach Geoökologie. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe. Institut für Wasser und Gewässerentwicklung - Bereich Siedlungswasserwirtschaft und Wassergütewirtschaft.

DWA (2011): Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen 2011. Stromverbrauch: 4.300 Kläranlagen unter der Lupe. Hennef, 2011. Online verfügbar unter [http://de.dwa.de/tl\\_files/\\_media/content/PDFs/Abteilung\\_WAW/mj/Leistungsvergleich\\_2012\\_LOW.pdf](http://de.dwa.de/tl_files/_media/content/PDFs/Abteilung_WAW/mj/Leistungsvergleich_2012_LOW.pdf).

DWA (2012): 25. Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen. Reinigungsverfahren auf dem Prüfstand. Hennef, 2012. Online verfügbar unter [http://de.dwa.de/tl\\_files/\\_media/content/PDFs/Abteilung\\_WAW/mj/Leistungsvergleich\\_25.pdf](http://de.dwa.de/tl_files/_media/content/PDFs/Abteilung_WAW/mj/Leistungsvergleich_25.pdf).

EMEP/Norwegian Institute for Air Research (EMEP/NILU) (2012): Concentrations of heavy metals and persistent organic pollutants in air and precipitation. Measurement data online. Kjeller. Online verfügbar unter <http://www.nilu.no/projects/ccc/emepdata.html>, zuletzt geprüft am 30.07.2014.

EMEP-Meteorological Synthesizing Centre - East (EMEP/MSCEast) (2013): Modellergebnisse zur atmosphärischen Deposition von Cd, Hg und Pb. für den Zeitraum 2010-2011. Daten-Download, 13.11.2013. Online verfügbar unter [http://www.msceast.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=162&Itemid=29](http://www.msceast.org/index.php?option=com_content&view=article&id=162&Itemid=29), zuletzt geprüft am 30.07.2014.

EMEP-Meteorological Synthesizing Centre - West (EMEP/MSCEWest) (2013): Datensatz: Nasse und trockene atmosphärische Deposition von oxidiertem und reduziertem Stickstoff für das Jahr 2011. Online verfügbar unter [http://webdab.emep.int/Unified\\_Model\\_Results/](http://webdab.emep.int/Unified_Model_Results/), zuletzt geprüft am 30.07.2014.

- Erftverband (2011): Jahresbericht 2010. Wasserwirtschaft für unsere Region. Unter Mitarbeit von W. Lindner und L. Bollig, 1. Aufl. 1 Band. Meckenheim: Warlich Druck Meckenheim GmbH.
- Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union (2000): Richtlinie 2000/60/EG des europäischen Parlaments und des Rates. Vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik.
- Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union (2008a): Richtlinie 2008/105/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über Umweltqualitätsnormen im Bereich der Wasserpolitik und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien des Rates 82/176/EWG, 83/513/EWG, 84/156/EWG, 84/491/EWG und 86/280/EWG sowie zur Änderung der Richtlinie 2000/60/EG. Umweltqualitätsnormenrichtlinie.
- Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union (2008b): Richtlinie 2008/56/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Juni 2008 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Meeresumwelt (Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie). In: *Amtsblatt der Europäischen Union* L164 (51), S. 19–40.
- European Commission (2012): Technical guidance on the preparation of an inventory of emissions, discharges and losses of priority and priority hazardous substances. Brussels: European Commission (Common implementation strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC)). Online verfügbar unter <http://www.emissieregistratie.nl/ERPUBLIEK/documenten/Water/WFD%20guidance%20on%20emission%20inventories.pdf>.
- European Environment Agency (EEA) (2012): Implementation and achievements of CLC2006. Revised final draft. Unter Mitarbeit von G. Büttner, B. Kosztra, G. Maucha, R. Pataki und Markus Erhard, 2012. Online verfügbar unter <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2006-raster-2>.
- European Environment Agency (EEA) (2013a): Corine Land Cover 2006 raster data. Raster data on land cover for the CLC2006 inventory. Online verfügbar unter <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2006-raster-3>.
- European Environment Agency (EEA) (2013b): EU-DEM 2000. Online verfügbar unter <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eu-dem>, zuletzt geprüft am 19.12.2014.
- European Environment Agency (EEA) (2014): Versiegelungsgrade in der Auflösung 100 m x 100 m und 20 m x 20 m für die Jahre 2006 und 2009, 2014.
- Flick, K.-H.; Gaugele, W.; Geliert, M. J.; Maus, H.; Pflügner, W.; Reinhardt, M. et al. (2012): Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien). 8 überarbeitete. Hennef: Eigenverlag.
- Forschungsdatenzentrum der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (FDZ) (2012): Statistik der öffentlichen Abwasserbehandlung. Merkmalsträger „Abwasserbehandlungsanlage“. Bezugsjahr 2007. Online verfügbar unter [http://dok.fdz-metadaten.de/3/32/322/322130/erheb/200700/Merkmale\\_Abwasserbehandlungsanlage\\_2007.pdf](http://dok.fdz-metadaten.de/3/32/322/322130/erheb/200700/Merkmale_Abwasserbehandlungsanlage_2007.pdf), zuletzt geprüft am 03.09.2014.
- Forschungsdatenzentrum der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (FDZ) (2013a): Statistik der öffentlichen Abwasserbehandlung. Merkmalsträger „Abwasserbehandlungsanlage“. Bezugsjahr 2010. Online verfügbar unter <http://dok.fdz->

metadaten.de/3/32/322/322130/erheb/200700/Merkmale\_Abwasserbehandlungsanlage\_2007.pdf, zuletzt geprüft am 03.09.2014.

Forschungsdatenzentrum der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (FDZ) (2013b): Statistik der öffentlichen Abwasserbeseitigung. Merkmalsträger „entsorgte Gemeinde“. Bezugsjahr 2010. Online verfügbar unter [http://dok.fdz-metadaten.de/3/32/322/322120/erheb/200700/Merkmale\\_entsorgte\\_Gemeinde\\_2007.pdf](http://dok.fdz-metadaten.de/3/32/322/322120/erheb/200700/Merkmale_entsorgte_Gemeinde_2007.pdf), zuletzt geprüft am 03.09.2014.

Forschungsdatenzentrum der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (FDZ) (2013c): Statistik der öffentlichen Abwasserbeseitigung. Merkmal „Kanalnetzbetreiber“. Bezugsjahr 2010. Online verfügbar unter [http://dok.fdz-metadaten.de/3/32/322/322120/erheb/200700/Merkmale\\_Kanalnetzbetreiber\\_2007.pdf](http://dok.fdz-metadaten.de/3/32/322/322120/erheb/200700/Merkmale_Kanalnetzbetreiber_2007.pdf), zuletzt geprüft am 03.09.2014.

Forschungsdatenzentrum der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (FDZ) (2013d): Statistik der öffentlichen Abwasserbeseitigung. Merkmal „Gemeinden mit Anschluss an eine industrielle bzw. ausländische Abwasserbehandlungsanlage“. Bezugsjahr 2010. Online verfügbar unter [http://dok.fdz-metadaten.de/3/32/322/322120/erheb/200700/Merkmale\\_angeschlossene\\_Gemeinde\\_2001\\_2004\\_2007.pdf](http://dok.fdz-metadaten.de/3/32/322/322120/erheb/200700/Merkmale_angeschlossene_Gemeinde_2001_2004_2007.pdf), zuletzt geprüft am 03.09.2014.

Forschungsdatenzentrum der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (FDZ) (2013e): Statistik über die Wassereigenversorgung und -entsorgung privater Haushalte. Bezugsjahr 2010. Online verfügbar unter [http://dok.fdz-metadaten.de/3/32/322/322510/stat/Metadaten\\_private\\_Wasserversorgung.pdf](http://dok.fdz-metadaten.de/3/32/322/322510/stat/Metadaten_private_Wasserversorgung.pdf), zuletzt geprüft am 03.09.2014.

Frie, B.; Hensel, R. (2007): Schätzverfahren zur Bodenversiegelung: UGRdL-Ansatz. In: Landesamt für Datenverarbeitung und Statistik Nordrhein-Westfalen (Hg.): Statistische Analysen und Studien. Düsseldorf (44), S. 19–32. Online verfügbar unter [http://www.it.nrw.de/statistik/analysen/stat\\_studien/2007/band\\_44/Frie\\_Hensel\\_44.pdf](http://www.it.nrw.de/statistik/analysen/stat_studien/2007/band_44/Frie_Hensel_44.pdf).

Fuchs, S.; Scherer, U.; Wander, R.; Behrendt, H.; Venohr, M.; Opitz, D. et al. (2010a): Berechnung von Stoffeinträgen in die Fließgewässer Deutschlands mit dem Modell MONERIS. Nährstoffe, Schwermetalle und Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe. 1. Aufl. 1 Band. Dessau-Roßlau (UBA-Texte, 45/10). Online verfügbar unter <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4017.pdf>.

Fuchs, S.; Lambert, B.; Grotehusmann, D. (2010b): Neue Aspekte in der Behandlung von Siedlungsabflüssen. 1. Aufl. Online veröffentlicht: Springer-Verlag.

Fuchs, S.; Wander, R.; Rogozina, T.; Hilgert, S.; Scherer, U. (2012): Methodische Optimierung von Modellansätzen zur Schadstoffbilanzierung in Flussgebietseinheiten zur Förderung der Umsetzungsstrategie zur Wasserrahmenrichtlinie. Endbericht für das Vorhaben FZK: 370 822 202/01. nicht veröffentlicht, 2012.

Fuchs, S.; Mayer, I.; Haller, B.; Roth, H. (2013a): Lamella settlers for storm water treatment - performance and design recommendations. In: *Water Science & Technology* In press.

Fuchs, S.; Dimitrova, S.; Kittlaus, S.; Wander, R. (2013b): Modellierung der direkten Emissionen in das Kompartiment Wasser. In: Datenvalidierung/Methodenentwicklung zur verbesserten Erfassung und Darstellung der Emissionssituation im PRTR. Forschungsvorhaben des Umweltbundesamt. Förderkennzeichen: FKZ 37 10 91 244. Karlsruher Institut für

Technologie (KIT), Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS), Karlsruhe.

- Fuchs, S.; Eyckmanns-Wolters, R.; Uhl, M.; Mohn, R.; Maus, C.; Sommer, M. et al. (2013c): Reduktion des Feststoffeintrages durch Niederschlagswassereinleitungen, 2013. Online verfügbar unter [http://isww.iwg.kit.edu/medien/Abschlussbericht\\_ReduktionFeststoffeintragPhase1.pdf](http://isww.iwg.kit.edu/medien/Abschlussbericht_ReduktionFeststoffeintragPhase1.pdf).
- Fuchs, S.; Dimitrova, S.; Kittlaus, S.; Tettenborn, F.; Hillenbrand, T. (2013d): Regionalisierte Pfadanalyse mit dem Modellinstrument MoRE. Bestandsaufnahme der Emissionen, Einleitungen und Verluste nach Art. 5 der RL 2008/105/EG bzw. § 4 Abs. 2 OGeV in Deutschland. Methodenpapier, 2013.
- Fuchs, S.; Dimitrova, S.; Kittlaus, S.; Wander, R.; Reid, L.; Tettenborn, F. (2014a): Aktualisierung der Stoffeintragsmodellierung (Regionalisierte Pfadanalyse) für die Jahre 2009 bis 2011. unveröffentlicht. Karlsruhe, 2014.
- Fuchs, S.; Dimitrova, S.; Wander, R.; Weber, T.; Kittlaus, S.; Kiemle, L. (2014b): Schadstoffe in Flusssystemen – Modellgestützte Bilanzierung. In: Schadstoffe in Bundeswasserstraßen – Nutzergerechte Verfügbarkeit von Informationen. 22. Chemisches Kolloquium. am 3./4. Juni 2014 in Koblenz. Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG). Koblenz, S. 12–14.
- Fuchs, S.; Wander, R.; Rogozina, T.; Hilgert, S.; Dimitrova, S.; Kittlaus, S. (2015): Modeling of Regionalized Emissions (MoRE). Handbuch für die Benutzeroberflächen MoRE Developer and MoRE Visualizer. Karlsruhe. Online verfügbar unter <http://isww.iwg.kit.edu/MoRE.php>.
- Gangknofer, U.; Weichselbaum, J.; Kuntz, S.; Brodksy, L.; Larsson, K.; Pasquale, V. d. (2010): Update of the European High-resolution Layer of Built-up Areas and Soil Sealing 2006 with Image2009 Data. In: Rainer Reuter (Hg.): Remote sensing for science, education, and natural and cultural heritage. Oldenburg: EARSeL, S. 185–192.
- Gebel, M.; Halbfaß, S.; Bürger, S.; Uhlig, M. (2012): Stoffbilanz. Modellerläuterung, 2012. Online verfügbar unter <http://galf-dresden.de/galf/wp-content/uploads/2013/06/Modellerlaeuterung.pdf>, zuletzt geprüft am 09.12.2013.
- Gertner, G.; Wang, G.; Fang, S.; Anderson, A. B. (2002): Effect and uncertainty of digital elevation model spatial resolutions on predicting the topographical factor for soil loss estimation. In: *Journal of Soil and Water Conservation* 57 (3), S. 164–174.
- Giese, P. (2013): Untersuchungen zur Kosteneffizienz von Maßnahmen der Regenwasserbehandlung, 2013.
- Global Precipitation Climatology Centre (GPCC) (2011): GPCC Full Data Reanalysis Version 6.0 (at 0.5°, 1.0°, 2.5°): Monthly Land-Surface Precipitation from Rain-Gauges built on GTS-based and Historic Data. Globally Gridded Monthly Totals. Version 6. Unter Mitarbeit von Udo Schneider, Andreas Becker, Peter Finger, Anja Meyer-Christoffer, Bruno Rudolf und Markus Ziese. Online verfügbar unter [ftp://ftp.dwd.de/pub/data/gpcc/html/fulldata\\_v6\\_doi\\_download.html](ftp://ftp.dwd.de/pub/data/gpcc/html/fulldata_v6_doi_download.html), zuletzt geprüft am 03.09.2014.
- Grossmann, M.; Behrendt, H.; Venohr, M. (2011): Analyse der Kosten- und Kostenwirksamkeit von Maßnahmen zur Reduktion der Nährstoffeinträge und -frachten in Flussgebieten mit dem MONERIS Model. Dokumentation des MONERIS CEA - Moduls. Unter Mitarbeit von Bundesministerium für Bildung und Forschung und GLOWA. Berlin, 2011. Online verfügbar unter [http://www.pik-potsdam.de/glowa/pdf/Schlussbericht\\_Glowa-Elbe\\_III/Kapitel\\_5/Anlage\\_7\\_MONERIS-CEA.pdf](http://www.pik-potsdam.de/glowa/pdf/Schlussbericht_Glowa-Elbe_III/Kapitel_5/Anlage_7_MONERIS-CEA.pdf).

- Grüning, H.; Rönz, N.; Schlag, O. (2010a): Gegenüberstellung der Möglichkeiten zentraler und dezentraler Regenwasserbehandlungsmaßnahmen für zwei Gewässereinzugsgebiete. Abschlussbericht im Auftrag der Stadt Wuppertal und der Remscheider Entsorgungsbetriebe. Unter Mitarbeit von Bernhard Amold, Udo Laschet und Uwe Teiche. Wuppertal, 2010. Online verfügbar unter <http://www.lanuv.nrw.de/wasser/abwasser/forschung/pdf/Abschlussbericht%20aus%204Teilberichten.pdf>.
- Grüning, H.; Rönz, N.; Schlag, O. (2010b): Gegenüberstellung der Möglichkeiten zentraler und dezentraler Regenwasserbehandlungsmaßnahmen für zwei Gewässereinzugsgebiete. Abschlussbericht im Auftrag der Stadt Wuppertal und der Remscheider Entsorgungsbetriebe. Unter Mitarbeit von Bernhard Amold, Udo Laschet und Uwe Teiche. Wuppertal, 2010. Online verfügbar unter <http://www.lanuv.nrw.de/wasser/abwasser/forschung/pdf/Abschlussbericht%20aus%204Teilberichten.pdf>.
- Günthert, F. W.; Reicherter, E. (2001): Investitionskosten der Abwasserentsorgung. mit 31 Tabellen. Unter Mitarbeit von dem Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft. München: Oldenbourg-Industrieverl GmbH.
- Halbach, U. (2003a/2010): Kommunale Abwasserbeseitigung. Normative Kosten und Risikoabbau. Handbuch des Institutes für Wasserwirtschaft Halbach. 4 unveränderte. Halbach: Eigenverlag.
- Halbach, U. (2003b/2010): Kommunale Abwasserbeseitigung. Normative Kosten und Risikoabbau. Handbuch des Institutes für Wasserwirtschaft Halbach. 4 unveränderte. Halbach: Eigenverlag.
- Hartwig, P.; Gerdes, D.; Schrewe, N. (2010): Energieautarker Kläranlagenbetrieb. 14. Erfahrungsaustausch der Obleute norddeutscher Kläranlagennachbarschaften, Lüneburg, 2010. Online verfügbar unter [http://www.pdfar.org/doc\\_831205.php](http://www.pdfar.org/doc_831205.php).
- Heaney, J. P.; Huber, W. C.; Nix, S. J. (1976): Storm Water Management Model: Level I - Preliminary Screening Procedures. Unter Mitarbeit von Richard Field. Cincinnati, Ohio, USA, 1976 (EPA 600/2-76-275).
- Heidecke, C.; Hirt, U.; Kreins, P.; Kuhr, P.; Kunkel, R.; Schott, M. et al. (2014): Entwicklung eines Instrumentes für ein flussgebietsweites Nährstoffmanagement in der Flussgebietseinheit Weser. AGRUM+-Weser, 2014.
- Hein, A.; Léval, P.; Wencki, K. (2015): Multikriterielle Bewertungsverfahren: Kurzbeschreibung und Defizitanalyse (Teil 2). In: *gwf-Wasser / Abwasser*, S. 202–212.
- Hennings, V. (2000): Methodendokumentation Bodenkunde – Auswertemethoden zur Beurteilung der Empfindlichkeit und Belastbarkeit von Böden. 2. Aufl. Hannover (Geologisches Jahrbuch, Sonderhefte, Reihe G, SG 1).
- Hillenbrand, T.; Tettenborn, F.; Menger-Krug, E.; Marscheider-Weidemann, F.; Fuchs, S.; Toshovski, S. et al. (2014): Maßnahmen zur Verminderung des Eintrages von Mikroschadstoffen in die Gewässer. 85/2014. Dessau-Roßlau, 2014. Online verfügbar unter <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/massnahmen-zur-verminderung-des-eintrages-von>.
- Hirt, U.; Wetzig, A.; Amatya, D. M.; Matranga, M. (2011): Impact of Seasonality on Artificial Drainage Discharge under Temperate Climate Conditions. In: *International Review of Hydrobiology* 96 (5), S. 561–577, zuletzt geprüft am 27.08.2012.

- Hutter, U. (2009): Metallbestimmung im gereinigten Kläranlagenabwasser. St. Gallen, 2009.
- Interwies, E.; Kraemer, A. R.; Kranz Nicole; Görlach, B.; Dworak, T.; Borchardt, D. et al. (2004): Grundlagen für die Auswahl der kosteneffizientesten Maßnahmenkombinationen zur Aufnahme in das Maßnahmenprogramm nach Artikel 11 der Wasserrahmenrichtlinie. Handbuch. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Forschungsbericht 202 21 210. Texte 02/04. ISSN 0722-186X. Unter Mitarbeit von Jörg Rechenberg (Red.) und Simone Richter (Red.). Berlin, 2004 (UBA-FB Nr 000563/kurz). Online verfügbar unter [http://www.wrrl-info.de/docs/UBA%20Texte%2002\\_04.pdf](http://www.wrrl-info.de/docs/UBA%20Texte%2002_04.pdf).
- Ivašević, P. V. (2006): Elimination organischer Spurenstoffe aus kommunalem Abwasser. Dissertation. RWTH, Aachen. Fakultät für Bauingenieurwesen. Online verfügbar unter [http://darwin.bth.rwth-aachen.de/opus3/volltexte/2006/1726/pdf/Ivashechkin\\_Pavel.pdf](http://darwin.bth.rwth-aachen.de/opus3/volltexte/2006/1726/pdf/Ivashechkin_Pavel.pdf), zuletzt geprüft am 13.08.2012.
- Kördel, W.; Herrchen, M.; Müller, J.; Kratz, S.; Fleckenstein, J.; Schnug, E. et al. (2007): Begrenzung von Schadstoffeinträgen bei Bewirtschaftungsmaßnahmen in der Landwirtschaft bei Düngung und Abfallverwertung. Dessau, 2007 (30/07).
- Kreins, P.; Behrendt, H.; Gömann, H.; Heidecke, C.; Hirt, U.; Kunkel, R. et al. (2010): Analyse von Agrar- und Umweltmaßnahmen im Bereich des landwirtschaftlichen Gewässerschutzes vor dem Hintergrund der EG-Wasserrahmenrichtlinie in der Flussgebietseinheit Weser. AGRUM-Weser. 1. Aufl. 1 Band. Braunschweig (Sonderheft, 336).
- Kretschmar, R. (1977): Stofftransport in ländlichen Entwässerungsgräben und Vorflutern. In: *Landwirtschaftliche Forschung* (30).
- Kubiniok, J.; Barth, B.; Neumann, B. (2005): Bilanzierung der Nährstoffeinträge in Gewässer in landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebieten des Saarlandes auf Basis vorhandener Datengrundlagen. Modellierung der diffusen und punktuellen Stoffeinträge und Szenarien für die Untersuchungsgebiete Leuk, Blies und Theel-III. Abschlussbericht 2005. Online verfügbar unter [http://www.saarland.de/dokumente/thema\\_wasser/Abschlussbericht\\_kubiniok\\_2005.pdf](http://www.saarland.de/dokumente/thema_wasser/Abschlussbericht_kubiniok_2005.pdf).
- Lambert, B.; Fuchs, S.; Toshovski, S.; Sacher, F.; Thoma, A. (2014): Entwicklung eines Bilanzierungsinstruments für den Eintrag von Schadstoffen aus kommunalen Kläranlagen in Gewässer. Forschungsvorhaben gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt und die Länder, 2014. Online verfügbar unter <http://bibliothek.dbu.de/libero/WebOpac.cls?VERSION=2&ACTION=DISPLAY&RSN=400017900&DATA=DBU&TOKEN=cC4FMxnML39246&Z=1&SET=1>.
- Länder (2013): Die Messwerte für die Abflusspegel für den Zeitraum 2006-2011, 2013.
- Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) (2014): Auszug aus der WIBAS-Datenbank zu den Regenüberlaufbecken. Datenlieferung durch Referat 41, Stand 15.08.2014, 15.08.2014.
- Langanke, T. (2013): GIO land Imperviousness HRL: definitions and product specifications, Lots 1-5, 2013.
- LANUV (2014): Auszug aus der REBEKA-Datenbank. Fachbereich 53: Hochwasserschutz, Stadtentwässerung, Klima u. Wasserwirtschaft. Datenlieferung per E-Mail durch Birgit Wienert, 11.09.2014.

- Loos, S.; Middelkoop, H.; Perk, M. van der; van Beek, R. (2009): Large scale nutrient modelling using globally available datasets: A test for the Rhine basin. In: *Transfer of pollutants in soils, sediments and water systems: From small to large scale (AquaTerra)* 369 (3–4), S. 403–415. Online verfügbar unter <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169409000961>.
- LUGV (2011): Optimierungspotentialen an Kommunalen Kläranlagen in Brandenburg. Studie im Auftrag des LGUV vom Büro Born-Ermel + Büro PWU Magdeburg, 2011.
- Marscheider-Weidemann, F.; Tettenborn, F.; Hillenbrand, T. (2013): Daten zu Schwermetallemissionen aus Altbergbaustandorten. 2006-2011. Karlsruhe.
- Mohaupt, V.; Sieber, U.; Roovaart, J. van den; Verstappen, C. G.; Langenfeld, F.; Braun, M. (2001): Diffuse sources of heavy metals in the Rhine basin. In: *Water Science & Technology* 44 (7), S. 41–49.
- Mutz, D.; Matzinger, A.; Remy Christian (2013): NITROLIMIT Stickstofflimitation in Binnengewässern. Ist Stickstoffreduktion ökologisch sinnvoll und wirtschaftlich vertretbar? Diskussionspapier. Maßnahmen zur Reduktion der Nährstoffeinträge urbaner Bereiche. Unter Mitarbeit von Mathias Uldack, Pascale Rouault, Erika Pawlowsky-Reusing, Regina Gnirß, Katrin Lemm, Agnes Kummelt et al. Bad Saarow, 2013. Online verfügbar unter [http://www.fona.de/mediathek/pdf/130924\\_NITROLIMIT\\_Diskussionspapier2.pdf](http://www.fona.de/mediathek/pdf/130924_NITROLIMIT_Diskussionspapier2.pdf).
- Nash, J. E.; Sutcliffe, J. V. (1970): River flow forecasting through conceptual models part I – A discussion of principles. In: *Journal of Hydrology* 10 (3), S. 282–290.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA) (2005): Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Digital Elevation Model. Online verfügbar unter <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/index.html>, zuletzt geprüft am 30.07.2014.
- Nunes Correia, F.; Kraemer, R. A. (1997): Institutionen der Wasserwirtschaft in Europa. Mit 148 Tabellen. Berlin, Heidelberg, New York, Barcelona, Budapest, Hong Kong, London, Milan, Paris, Santa Clara, Singapore, Tokyo: Springer (Eurowater, Bd. 1 : Länderberichte).
- Olson, K. T. (2013): The Effect of Spatial Resolution on Erosion Patterns in Southeast Minnesota.
- Rapp-Fiegle, S.; Horstmeyer, N.; Helmreich, B.; Drewes, J. E. (2014): Kosten der Abwasserbehandlung. Finanzierung, Kostenstrukturen und Kostenkenndaten der Bereiche Kanal, Sonderbauwerke und Kläranlagen Buch print + MediaCenter eBook. 1. Aufl. München: Deutscher Industrieverlag.
- Regierungspräsidium Arnsberg (RP Arnsberg) (2011): Hg-Konzentration in Kläranlagenabläufen, NW. Per Email an Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Wasser und Gewässerentwicklung, Bereich Siedlungswasserwirtschaft und Wassergütewirtschaft, z.Hd. Stephan Fuchs am 12.08.2011.
- Schwentner, G. (2013): 40. Leistungsvergleich der kommunalen Kläranlagen in Baden-Württemberg, 2013, zuletzt geprüft am 13.07.2014.
- Schwertmann, U.; Vogl, W.; Kainz, M. (1990): Bodenerosion durch Wasser. Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. 2. Aufl. Stuttgart: Ulmer.
- Sieker, H. (2000): Bewertung von Maßnahmen zur Regenwasserbewirtschaftung im Hinblick auf Kosten und Wirkung, 2000.
- Siewert, S. (2010): Die Ermittlung kosteneffektiver Maßnahmen zur Reduktion von Nährstoffemissionen aus Kläranlagen im Einzugsgebiet der Oder. Berlin, 2010 (197/10). Online verfügbar unter

[http://www.ioew.de/uploads/tx\\_ukioewdb/IOEW\\_SR\\_197\\_\\_N%C3%A4hrstoffemissionen\\_Oder.pdf](http://www.ioew.de/uploads/tx_ukioewdb/IOEW_SR_197__N%C3%A4hrstoffemissionen_Oder.pdf).

- Statistisches Amt der Europäischen Union (EUROSTAT) (2014a): Absolute und relative Bevölkerungsveränderung auf Ebene der NUTS-3 Regionen. Online verfügbar unter [http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=demo\\_r\\_gind3&lang=de](http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=demo_r_gind3&lang=de), zuletzt aktualisiert am 26.06.2013, zuletzt geprüft am 06.02.2014.
- Statistisches Amt der Europäischen Union (EUROSTAT) (2014b): GEOSTAT-Bevölkerungsraster nach Zensus 2011. Online verfügbar unter [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/gisco\\_Geographical\\_information\\_maps/popups/references/population\\_distribution\\_demography](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/gisco_Geographical_information_maps/popups/references/population_distribution_demography), zuletzt geprüft am 21.10.2014.
- Statistisches Bundesamt (StaBu) (2009): Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung 2007. Fachserie 19, Reihe 2.1, 2009. Online verfügbar unter [https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UmweltstatistischeErhebungen/Wasserwirtschaft/WasserAbwasserOeffentlich2190210079004.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UmweltstatistischeErhebungen/Wasserwirtschaft/WasserAbwasserOeffentlich2190210079004.pdf?__blob=publicationFile), zuletzt geprüft am 26.08.2013.
- Statistisches Bundesamt (StaBu) (2011a): Bodennutzung der Betriebe (Landwirtschaftlich genutzte Flächen) (Fachserie 3 Reihe 3.1.2). Online verfügbar unter [https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/LandForstwirtschaft/Bodennutzung/LandwirtschaftlicheNutzflaeche2030312107004.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/LandForstwirtschaft/Bodennutzung/LandwirtschaftlicheNutzflaeche2030312107004.pdf?__blob=publicationFile).
- Statistisches Bundesamt (StaBu) (2011b): Viehhaltung der Betriebe Landwirtschaftszählung / Agrarstrukturerhebung. Fachserie 3, Reihe 2.1.3. Wiesbaden, 2011.
- Statistisches Bundesamt (StaBu) (2013a): Öffentliche Abwasserentsorgung - Klärschlamm. Klärschlammverwertung aus der biologischen Abwasserbehandlung nach Bundesländern. Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/Umwelt/UmweltstatistischeErhebungen/Wasserwirtschaft/Wasserwirtschaft.html>, zuletzt geprüft am 30.07.2014.
- Statistisches Bundesamt (StaBu) (2013b): Öffentliche Wasserversorgung und öffentliche Abwasserentsorgung. Öffentliche Wasserversorgung - 2010. Fachserie 19 Reihe 2.1.1. Wiesbaden, 2013, zuletzt geprüft am 11.06.2014.
- Statistisches Bundesamt (StaBu) (2013c): Umwelt. Öffentliche Wasserversorgung und öffentliche Abwasserentsorgung - Öffentliche Abwasserbehandlung und -entsorgung -. 2010. Wiesbaden, 05.08.2013.
- Tausch, C. (2012): Klärschlamm. Entsorgungssituation. Augsburg. Online verfügbar unter <http://www.lfu.bayern.de/abfall/abfallgruppen/index.htm>, zuletzt aktualisiert am Sept. 2012, zuletzt geprüft am 01.10.2012.
- Tetzlaff, B. (2006): Die Phosphatbelastung großer Flusseinzugsgebiete aus diffusen und punktuellen Quellen, 2006 (65).
- UBA (2012): Deutsches Schadstofffreisetzungs- und -verbringungsregister (PRTR), 24.07.2012. Per E-Mail an Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Wasser und Gewässerentwicklung, Bereich Siedlungswasserwirtschaft und Wassergütewirtschaft, z.Hd. Snezhina Dimitrova.
- Umweltbundesamt (UBA) (2011): Datensätze der Bundesländer zu Konzentrationen von Kläranlagenzu- und abläufen sowie Schlammgehalte von prioritären Stoffen aus der amtlichen Überwachung sowie aus Sondermessprogrammen. Ad hoc B/L-Arbeitsgruppe

"Bestandsaufnahme der Emissionen, Einleitungen und Verluste zur Richtlinie 2008/105/EG (Prioritäre Stoffe)". Unter Mitarbeit von Antje Ullrich. Dessau.

Umweltbundesamt (UBA) (2013a): Deutsches Schadstofffreisetzungs- und -verbringungsregister (PRTR). Online verfügbar unter <http://www.thru.de/thrude/downloads/>, zuletzt geprüft am 30.07.2014.

Umweltbundesamt (UBA) (2013b): Die Messwerte für die Gütemessstellen für den Zeitraum 2006 – 2011, 2013.

Umweltbundesamt (UBA) (2013c): e-Kommunalabwasser. Datenbank zur Berichterstattung zur Kommunalabwasserrichtlinie. Auszug erhalten am 12.2013. Online verfügbar unter [http://wiki.enda.eu/e\\_kommu/index.php/Hauptseite](http://wiki.enda.eu/e_kommu/index.php/Hauptseite), zuletzt geprüft am 30.07.2014.

Umweltbundesamt (UBA) (2015): Bestandsaufnahme der Emissionen, Einleitungen und Verluste nach Art. 5 der RL 2008/105/EG bzw. § 4 Abs. 2 OGeWV in Deutschland. Abschlussbericht. Unter Mitarbeit von Bund/Länder Ad-hoc Arbeitsgruppe „Koordinierung der Bestandsaufnahme der Emissionen, Einleitungen und Verluste nach Art. 5 der RL 2008/105/EG (prioritäre Stoffe), 2015.

Venohr, M.; Behrendt, H.; Fuchs, S.; Hirt, U.; Hofmann, J.; Opitz, D. et al. (2008): Entwicklung, Dokumentation und Anwendung eines szenariofähigen Managementtools zur Beschreibung der Einträge, Retention und Frachten in Flusssystemen. Endbericht zum F+E-Projekt FKZ 205 24 204 Entwicklung eines szenariofähigen Managementtools für die Stoffeinträge in Oberflächengewässer im Rahmen der internationalen Berichtspflichten, 2008.

WATECO (2003): Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC) - Guidance Document No 1 Framework Directive. Economics and the Environment - The Implementation Challenge of the Water. Unter Mitarbeit von Produced by Working Group 2.6 - WATECO. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, zuletzt geprüft am 19.05.2014.

Wursthorn, S.; Poganietz, W.-R.; Bodle, R.; Homann, G.; Heidmann, F.; Thom, A. et al. (2013): Datenvalidierung/Methodenentwicklung zur verbesserten Erfassung und Darstellung der Emissionssituation im PRTR. Forschungsvorhaben des Umweltbundesamt. Förderkennzeichen: FKZ 37 10 91 244. Karlsruhe, 2013.

## 10 Anhang

### 10.1 Ableitung der zeitlichen Gültigkeit kommunaler Kläranlagen

Bei dem Abgleich vorhandenen Daten für die Kläranlagen mit den Daten der Kommunalabwasserrahmenrichtlinie für die Jahre 2008 und 2010 (Stand Dez. 2013) wurden Abweichungen bezüglich der Angaben zur Fertigstellung und Schließung der Anlagen festgestellt.

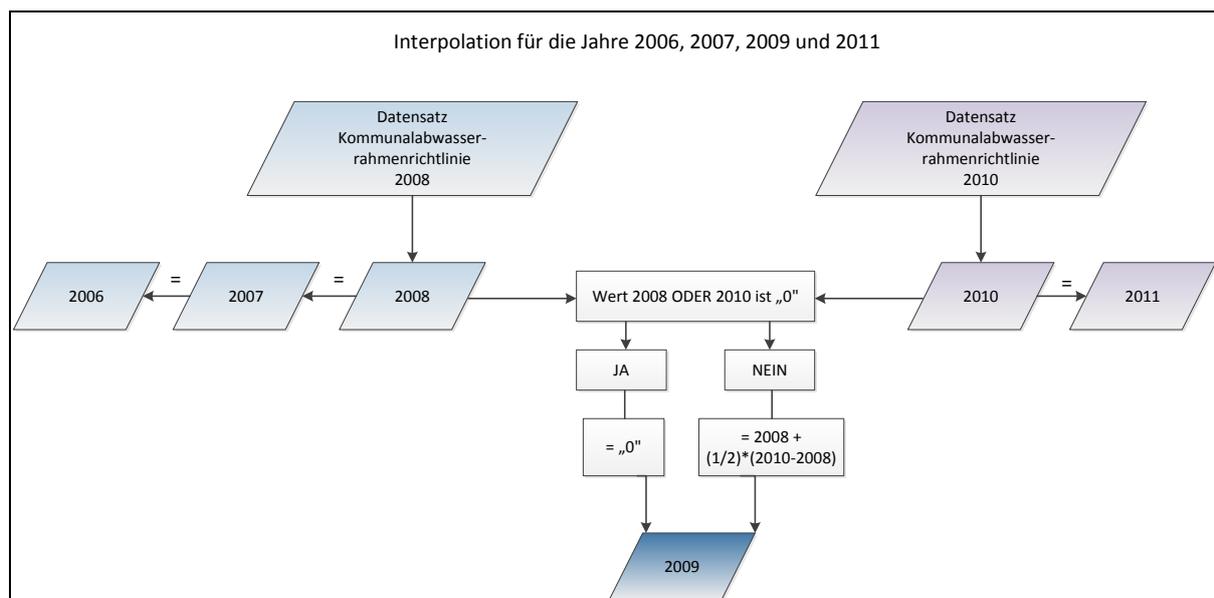
Aufgrund dieser Abweichungen wurde die Gültigkeit der Anlagen allein auf Grundlage der Daten aus der Kommunalabwasserrahmenrichtlinie abgeleitet und die Angaben zur Fertigstellung und Schließung nicht miteinbezogen.

#### Extra- bzw. Interpolation für die Jahre 2006, 2007, 2009 und 2011

Für 2009 wurde dann nicht interpoliert, wenn entweder für das Jahr 2008 oder 2010 keine Daten im Datensatz Kommunalabwasserrahmenrichtlinie vorlagen. Dieses Vorgehen wurde gewählt, da hier nicht eindeutig geklärt werden konnte, ob diese Anlagen bereits vor 2010 (wenn nur Daten für 2010 vorliegen) bzw. nach 2008 (wenn nur Daten für 2008 vorliegen) in Betrieb waren. Als Gültigkeit für die einzelnen Anlagen werden deshalb nur die Zeiträume 2006-2011 (Daten für 2008 und 2010), 2006-2008 (nur Daten für 2008) und 2010-2011 (nur Daten für 2010) angegeben.

Für die Jahre 2006 und 2007 wurden immer die Daten von 2008 übernommen, wenn eine Anlage im Datensatz Kommunalabwasserrahmenrichtlinie vorlag. Es wurde somit die Annahme getroffen, dass diese Anlage auch in diesen Jahren aktiv war, auch wenn dies nicht eindeutig geklärt werden konnte. Für das Jahr 2011 wurden immer die Daten von 2010 übernommen wenn eine Anlage im Datensatz Kommunalabwasserrahmenrichtlinie vorlagen auch wenn nicht eindeutig geklärt werden konnte ob diese Anlage im Jahren 2011 tatsächlich in Betrieb war.

Abbildung 100: Vorgehensweise bei der Interpolation für die Jahre 2006, 2007, 2009 und 2011



## 10.2 Maßnahmensteckbriefe

### 10.2.1 Maßnahmen im urbanen Bereich

#### 10.2.1.1 Steckbrief der Maßnahme „Erhöhung des Anschlussgrades der Bevölkerung an die bestehenden kommunalen Kläranlagen“

| Attribut                           | Beschreibung   |
|------------------------------------|--|
| Maßnahmenbezeichnung (Kurzname)    | Anschlussgrad Kläranlagen  |
| Maßnahmenbezeichnung               | Erhöhung des Anschlussgrades der Bevölkerung an die bestehenden kommunalen Kläranlagen   |
| Pfadbezug                          | Kanalisationssysteme, kommunale Kläranlagen  |
| Stoffe                             | Stickstoff, Phosphor <sup>10</sup>   |
| Zeitliche Gültigkeit der Maßnahme  | 2006-2011  |
| Bezugsvariable für Maßnahme        | US_nss_SC_toconwwtp_small; US_nss_SC_toconwwtp_large;  |
| Inhaltliche Beschreibung           | <p>Der Anschlussgrad der Bevölkerung beschreibt den prozentualen Anteil der Bevölkerung, der an die öffentliche Kanalisation und kommunale Kläranlagen angeschlossen ist. Handlungsmöglichkeiten zur Erhöhung des Anschlussgrades bestehen im Wesentlichen dort, wo die Bevölkerung zwar an die Kanalisation, aber nicht an kommunale Abwasserbehandlungsanlagen angeschlossen ist.</p> <p>An Kleinkläranlagen angeschlossene Einwohner ohne Anschluss an die öffentliche Kanalisation bleiben in diesem Zusammenhang unberücksichtigt.</p>  |
| Räumliche Umsetzung                | auf Ebene der Analysegebiete   |
| Beschreibung der Umsetzung in MoRE | <p>Die Maßnahme ist auf Analysegebietsebene umgesetzt. Prinzipiell liegen zwar für alle Kläranlagen <math>\geq 2.000</math> EW Punktinformationen (z.B. Ablaufkonzentrationen) vor. Da jedoch nicht bekannt ist, an welche Kläranlage die Einwohner angeschlossen werden können, wird zur Ermittlung der zusätzlichen Einträge neben der zusätzlichen Abwassermenge die abflussgewichtete mittlere Ablaufkonzentration der Kläranlagen <math>\geq 2.000</math> EW im jeweiligen Analysegebiet herangezogen.</p> <p>Um die Auswirkung des erhöhten Anschlussgrades an die Kläranlagen zu modellieren, werden folgende Arbeitsschritte durchgeführt:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Anlegen neuer raum- und zeitbezogener Variablen: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Anzahl der Einwohner, die insgesamt an eine bestehende kommunale Kläranlage angeschlossen werden können US_nss_INH_toconwwtp [E]</li> <li>– Anzahl der Einwohner im Analysegebiet, die an bestehende kommunale Kläranlagen <math>&lt; 2.000</math> EW angeschlossen werden können US_nss_INH_toconwwtp_small [E]</li> <li>– Anzahl der Einwohner, die an eine bestehende kommunale Kläranlage <math>\geq 2.000</math> EW angeschlossen werden können US_nss_INH_toconwwtp_large [E]</li> <li>– Anteil der Einwohner, die potenziell angeschlossen werden können US_oss_SHR_inh_toconwwtp_oss [%]</li> </ul> </li> </ol> |

<sup>10</sup> Diese Maßnahme ist prinzipiell bei allen Stoffen umsetzbar. Aufgrund der vergleichsweise hohen Relevanz des Eintragungspfad, wurde sie jedoch nur bei den aufgeführten Stoffen umgesetzt.

| Attribut |                             | Beschreibung   |
|----------|-----------------------------|--|
|          |                             | <p>2. Prüfung, ob eine Kläranlage innerhalb eines Analysegebietes vorhanden ist. Wenn nicht, wird mit der Basisvariante ohne Maßnahme gerechnet. Vorrangig erfolgt der Anschluss an kommunale Kläranlagen <math>\geq 2.000</math> EW, sofern mindestens eine davon im Analysegebiet vorhanden ist. Die dadurch entstehende zusätzliche Kläranlagenablauffracht wird dabei über den zusätzlichen Abfluss zur Kläranlage und die mittlere abflussgewichtete Konzentration der Kläranlagen <math>\geq 2.000</math> EW ermittelt. Sonst erfolgt der Anschluss an kommunale Kläranlagen <math>&lt; 2.000</math> EW. Die Vorgehensweise zur Ermittlung der zusätzlichen Ablauffracht ist analog zu den Kläranlagen <math>\geq 2.000</math> EW.</p> <p>3. Die nur an Kanalisation angeschlossene Bevölkerung (Variable IM_INH_oss) in Relation zum Zielwert US_oss_SHR_inh_toconwwtp_oss (Anteil der Einwohner, die potenziell angeschlossen werden können) setzen.</p> <p>4. Berechnung der mittleren abflussgewichteten Ablaufkonzentrationen im Analysegebiet: Eintrag geteilt durch Abwassermenge differenziert für KA <math>\geq 2.000</math> EW und <math>&lt; 2.000</math> EW.</p> <p>5. Zur Ableitung der zusätzlichen Einträge in Gewässer über den Eintragspfad „Kläranlagen“ wird zunächst die zusätzliche Abwassermenge, die der Kläranlage zugeführt wird, berechnet (Anzahl anzuschließende Einwohner multipliziert mit mittlerem Wasserverbrauch im Bundesland). Dann wird die zusätzliche Abwassermenge mit der abflussgewichteten mittleren Ablaufkonzentration im Analysegebiet multipliziert, um die zusätzlichen Einträge über Kläranlagen zu erhalten.</p> <p>Bei der Eintragsmodellierung wird grundsätzlich angenommen, dass der partikuläre Teil der Einwohnerfrachten (Schlämme) in die kommunalen Kläranlagen transportiert und dort mitbehandelt wird (d.h. schon in den Ablauffrachten der Kläranlagen enthalten ist). Bei Umsetzung der Maßnahme zur Erhöhung des Anschlussgrades der Bevölkerung wird nun zusätzlich die flüssige Phase und die darin gelösten Stoffmengen in die Kläranlage transportiert und behandelt.</p> <p>Zur Bilanzierung der Einträge aus Kläranlagen wird davon ausgegangen, dass unter stabilen Bedingungen in den Kläranlagen die Reduzierungsleistung und damit die Ablaufkonzentration konstant ist und von den zusätzlichen Abwassermengen nicht beeinflusst wird. Somit wird lediglich die Ablaufmenge der Kläranlagen proportional zur der gestiegenen Anzahl der in einem Analysegebiet angeschlossenen Einwohner erhöht.</p> |
|          | Zielgröße                   | <p>maximal zu erreichender Anschlussgrad pro Analysegebiet</p> <p>In den Analysegebieten, in denen der Zielwert nicht erreicht ist, werden die entsprechenden Einwohner (die nur an die Kanalisation angeschlossenen Einwohner) zu 100 % an die kommunalen Kläranlagen angeschlossen.</p>  |
|          | Zielwert                    | Anschlussgrad der Bevölkerung im Analysegebiet: 100 %. Dieser Prozentsatz kann je nach Gebietscharakteristik angepasst werden.   |
|          | Umsetzungsgrad der Maßnahme | Anteil der Einwohner, die nur an die Kanalisation angeschlossen sind: 100 %  |

| Attribut |  | Beschreibung   |
|----------|--|--|
|          | Ableitung neuer Eingangsdaten für die Modellierung | keine  |
|          | Rückkopplung zu den anderen Eintragspfaden in MoRE | <p><u>Kanalisationssysteme:</u><br/>Durch die Erhöhung des Anschlussgrades an kommunale Kläranlagen ist eine Verringerung der Einträge über Kanalisationssysteme zu erwarten.</p> <p><u>Kläranlage:</u><br/>Durch die Erhöhung des Anschlussgrades an kommunale Kläranlagen ist eine Erhöhung dieser Einträge zu erwarten.</p> <p>Um zu beurteilen, ob die Umsetzung der Maßnahme in der Gesamtbetrachtung eintragsmindernd wirkt, ist die Summe der urbanen Eintragspfade (Kanalisationssysteme und Kläranlagen) vor und nach Umsetzung der Maßnahme zu vergleichen.</p> <p><u>Wasserbilanz:</u><br/>Da die Wasserbilanz für den Oberflächenabfluss unversiegelter Flächen derzeit noch an den Oberflächenabfluss unversiegelter Flächen (Abfluss über Kanalisationssysteme) gekoppelt ist, ergibt sich durch eine Verminderung des Abflusses in die Kanalisation eine Erhöhung des Abflusses über Oberflächenabfluss unversiegelter Flächen.</p> |
|          | Bezugsvariable für die Maßnahme                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>– WWTP_large_E_N: Stickstoff-Eintrag über kommunale Kläranlagen <math>\geq 2.000</math> EW</li> <li>– WWTP_small_E_N: Stickstoff-Eintrag über kommunale Kläranlagen <math>&lt; 2.000</math> EW</li> <li>– WWTP_E_N: Stickstoff-Eintrag über kommunale Kläranlagen</li> <li>– WWTP_large_E_P: Phosphor-Eintrag über kommunale Kläranlagen <math>\geq 2.000</math> EW</li> <li>– WWTP_small_E_P: Phosphor-Eintrag über kommunale Kläranlagen <math>&lt; 2.000</math> EW</li> <li>– WWTP_E_P: Phosphor-Eintrag über kommunale Kläranlagen</li> <li>– US_nss_INH_toconwwtp_small: Anzahl der Einwohner, die an eine bestehende kommunale Kläranlage <math>&lt; 2.000</math> EW angeschlossen werden können</li> <li>– US_nss_INH_toconwwtp_large: Anzahl der Einwohner, die an eine bestehende kommunale Kläranlage <math>\geq 2.000</math> EW angeschlossen werden können</li> </ul>                           |
|          | Bezugsvariable für Kosten                          | Anteil der Einwohner, die bislang an die Kanalisation angeschlossen waren und über die Maßnahme an die kommunale Kläranlage angeschlossen werden sollen: US_nss_INH_toconwwtp bzw. US_nss_INH_toconwwtp_small und US_nss_INH_toconwwtp_large   |
|          | Varianten für die Eingangsdaten                    | Neben den Schaltervariablen wurden keine Varianten für die Eingangsdaten, sondern neue Variablen angelegt.   |
|          | Neue Modellvariablen zur Maßnahmenabbildung        | <p>US_nss_INH_toconwwtp_small: Anzahl der Einwohner, die an eine bestehende kommunale Kläranlage <math>&lt; 2.000</math> EW angeschlossen werden können</p> <p>US_nss_INH_toconwwtp_large: Anzahl der Einwohner, die an eine bestehende kommunale Kläranlage <math>\geq 2.000</math> EW angeschlossen werden können</p> <p>US_nss_INH_toconwwtp: Anzahl der Einwohner, die an eine bestehende kommunale Kläranlage angeschlossen werden können</p> <p>US_INHC_H2O: einwohnerspezifischer Wasserverbrauch <math>[l/(E*d)]</math></p>  |

| Attribut |                     | Beschreibung   |
|----------|---------------------|--|
|          |                     | US_oss_SHR_inh_toconwwtp_oss: Anteil der Einwohner, die potenziell angeschlossen werden können, [%]  |
|          | Kosten der Maßnahme | <p>Die Gesamtkosten der Umsetzung der Maßnahme sind abhängig von:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– dem Umsetzungsgrad (Anzahl der anzuschließenden Einwohner) und</li> <li>– den vorhandenen Kläranlagenkapazitäten.</li> </ul> <p>Da nicht sicher gesagt werden kann, an welchen Kläranlagen der Anschlussgrad erhöht werden kann, wird ein Mittelwert über die abflussgewichtete mittlere Ablaufkonzentration und die in einem Analysegebiet enthaltenen Kläranlagen gebildet.</p> <p>Kostendaten wurden von Halbach (2003/2010) und BSUG (2013) abgeleitet. Unter der Annahme, dass für die anzuschließenden Einwohner neue Kapazitäten auf der Kläranlage geschaffen werden müssen, ergeben sich in Abhängigkeit von der mittleren Ausbaugröße der Kläranlagen eines Analysegebietes:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. bei Kläranlagen &lt; 2000 EW: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Investitionskosten zwischen 610 - 1.320 €/ (neu angeschlossenem Einwohner) und</li> <li>– Jährliche Betriebskosten zwischen 50 und 78 €/ (neu angeschlossenem Einwohner),</li> </ul> </li> <li>2. bei Anlagen ≥ 2000 EW: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Investitionskosten von 265 - 610 €/ (neu angeschlossenem Einwohner) und</li> <li>– Jährliche Betriebskosten zwischen 20 und 50 €/ (neu angeschlossenem Einwohner).</li> </ul> </li> </ol> <p>Die ermittelten Jahreskosten werden entsprechend Flick et al. (2012)<sup>11</sup> als Summe der jährlichen Kapitalkosten (Investitionskosten multipliziert mit einem Annuitätsfaktor) und der jährlichen Betriebskosten errechnet.</p> |

#### 10.2.1.2 Steckbrief der Maßnahme „Optimierung der Betriebsweise der kommunalen Kläranlagen“

| Attribut                          | Beschreibung   |
|-----------------------------------|--|
| Maßnahmenbezeichnung (Kurzname)   | Optimierung Kläranlagen  |
| Maßnahmenbezeichnung              | Optimierung der Betriebsweise der kommunalen Kläranlagen   |
| Pfadbezug                         | kommunale Kläranlagen  |
| Stoffe                            | Stickstoff, Phosphor <sup>12</sup>   |
| Zeitliche Gültigkeit der Maßnahme | 2009-2011  |
| Bezugsvariable für Maßnahme       | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Stickstoff-Eintrag über kommunale Kläranlagen &gt; 50 EW (WWTP_E_N)</li> <li>– Phosphor-Eintrag über kommunale Kläranlagen &gt; 50 EW (WWTP_E_P)</li> </ul> |
| Ziel                              | Reduzierung der Stickstoff- und Phosphor-Einträge über kommunale Kläranlagen > 50 EW   |

<sup>11</sup> KVR-Leitlinien 2012: Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen, 8. überarbeitete Auflage - (Juli 2012). DWA

<sup>12</sup> Diese Maßnahme ist prinzipiell bei allen Stoffen umsetzbar. Zusatzeffekte sind für die restlichen Stoffe zu erwarten. Diese sind jedoch aufgrund fehlender Daten derzeit nicht quantifizierbar.

| Attribut                           | Beschreibung   |
|------------------------------------|--|
| Inhaltliche Beschreibung           | <p>Im Rahmen dieser Maßnahme werden, ausgehend vom Ist-Zustand, neue Mindestanforderungen an die Ablaufkonzentrationen der kommunalen Kläranlagen formuliert. Grundlage zur Ableitung der Mindestanforderungen ist eine statistische Auswertung eines deutschlandweiten Datensatzes zu kommunalen Einleitern &gt; 50 EW. Die neuen Mindestanforderungen wurden größenklassenspezifischen auf Basis der Verteilung der Ablaufkonzentrationen abgeleitet. Es wurden Benchmark definiert: alle Kläranlagen einer Größenklasse sollten als Zielwert im Jahresmittel mindestens die Ablaufkonzentration der besten 25 %, 50 % und 75 % (1. Quantil, Median, 3.Quantil) der Anlagen erreichen.</p>   |
| Beschreibung der Umsetzung in MoRE | <p>Zur Maßnahmenumsetzung in MoRE wurden folgende Arbeitsschritte durchgeführt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Anlegen neuer Variablen für jede Größenklasse der kommunalen Kläranlagen <ul style="list-style-type: none"> <li>– die Abwasservolumina anlagenscharf als punkt- und zeitbezogene Variable WWTP_ps_Q</li> <li>– die Ablaufkonzentrationen im Ist-Zustand ermittelt und als punkt- und zeitbezogene Variablen WWTP_ps_CONC_N bzw. WWTP_ps_CONC_P angelegt,</li> <li>– die Variablen für Zielwertkonzentrationen als Modellkonstanten angelegt und Varianten von den entsprechenden Zielwertkonzentrationen je Kläranlagengrößenklasse WWTP_large_CONC_tgt_cls_X_N bzw. WWTP_large_CONC_tgt_cls_X_P (X steht für die Kläranlagengrößenklasse 2 bis 4) integriert. Dabei steht Variante 1 für 1.Quartil, Variante 2 für Median und Variante 3 für 3.Quartil.</li> </ul> </li> <li>für die kommunalen Kläranlagen &lt; 2.000 EW wurden <ul style="list-style-type: none"> <li>– die Abwasservolumina von der Gemeinde-Ebene (höchste räumliche Auflösung, keine anlagenscharfen Informationen vorhanden) auf die Analysegebiete siedlungsflächengewichtet übertragen und als raum- und zeitbezogenen Variablen WWTP_small_Q angelegt,</li> <li>– die Ablaufkonzentrationen im Ist-Zustand der Anlagen aus den Nährstofffrachten rückgerechnet und als raum- und zeitbezogene Variable WWTP_small_CONC_N bzw. WWTP_small_CONC_P angelegt.</li> <li>– Die Variablen für Zielwertkonzentrationen als Modellkonstanten WWTP_small_CONC_tgt_cls_1_N bzw. WWTP_small_CONC_tgt_cls_1_P mit Varianten angelegt. Dabei steht Variante 1 für 1.Quartil, Variante 2 für Median und Variante 3 für 3.Quartil.</li> </ul> </li> <li>• Prüfung der Ist-Konzentration gegen die Zielwertkonzentration: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Ist die Ist-Konzentration &gt; der Zielwertkonzentration, so ist die Betriebsweise zu optimieren und die Berechnung der Einträge über kommunale Kläranlagen erfolgt anhand der Zielwertkonzentration.</li> <li>– Ist die Ist-Konzentration &lt; der Zielwertkonzentration, so wird mit der Ist-Konzentration modelliert.</li> </ul> </li> </ul> |

| Attribut   |   | Beschreibung  |            |             |  |
|--|---|---------------|------------|-------------|--|
| Zielgröße  | Die zu erreichenden Zielwertkonzentrationen im Ablauf der kommunalen Kläranlagen je nach Kläranlagengrößenklasse, die durch Nominalbelastung bestimmt wird.   |               |            |             |  |
| Zielwerte  | Statistische Merkmale je Kläranlagengrößenklasse, die auf einer Auswertung der Ablaufkonzentrationen aller kommunalen Kläranlagen in Deutschland im 2010 beruht: 1.Quartil, Median und 3.Quartil.   |               |            |             |  |
| Umsetzungsgrad der Maßnahme                        | Alle kommunalen Kläranlagen > 50 EW, die die Zielwertkonzentrationen bisher nicht erreicht haben.   |               |            |             |  |
| Ableitung neuer Eingangsdaten für die Modellierung | Die vorliegenden Daten des FDZ (2013a) (kommunale Abwasserbehandlungsanlagen < 2.000 EW) und UBA (2013c) (kommunale Kläranlagen ≥ 2.000 EW) zu Ablaufkonzentrationen wurden größenklassenspezifisch statistisch ausgewertet (dabei wurden die „Ausreißer“-Werte ausgeschlossen). Für jede Größenklasse wurden Zielwerte für Ablaufkonzentrationen als 1. Quartil, Median und 3. Quartil abgeleitet. |               |            |             |  |
| Varianten  |   |               |            |             |  |
|  | Namen:  | Werte in mg/L | Varianten: | Quelle      |  |
|  | WWTP_small_CONC_tgt_cls_1_N   | 8             | Variante 1 | FDZ (2013a) |  |
|  | WWTP_small_CONC_tgt_cls_2_N   | 4,19          | Variante 1 | UBA (2013c) |  |
|  | WWTP_small_CONC_tgt_cls_3_N   | 3,6           | Variante 1 | UBA (2013c) |  |
|  | WWTP_small_CONC_tgt_cls_4_N   | 4,4           | Variante 1 | UBA (2013c) |  |
|  | WWTP_small_CONC_tgt_cls_5_N   | 5,88          | Variante 1 | UBA (2013c) |  |
|  | WWTP_small_CONC_tgt_cls_1_N   | 13            | Variante 2 | FDZ (2013a) |  |
|  | WWTP_small_CONC_tgt_cls_2_N   | 7             | Variante 2 | UBA (2013c) |  |
|  | WWTP_small_CONC_tgt_cls_3_N   | 5,5           | Variante 2 | UBA (2013c) |  |
|  | WWTP_small_CONC_tgt_cls_4_N   | 7             | Variante 2 | UBA (2013c) |  |
|  | WWTP_small_CONC_tgt_cls_5_N   | 8,46          | Variante 2 | UBA (2013c) |  |
|  | WWTP_small_CONC_tgt_cls_1_N   | 20,9          | Variante 3 | FDZ (2013a) |  |
|  | WWTP_small_CONC_tgt_cls_2_N   | 12,33         | Variante 3 | UBA (2013c) |  |
|  | WWTP_small_CONC_tgt_cls_3_N   | 8,7           | Variante 3 | UBA (2013c) |  |
|  | WWTP_small_CONC_tgt_cls_4_N   | 9,75          | Variante 3 | UBA (2013c) |  |
|  | WWTP_small_CONC_tgt_cls_5_N   | 10,92         | Variante 3 | UBA (2013c) |  |
|  | WWTP_small_CONC_tgt_cls_1_P   | 1,7           | Variante 1 | FDZ (2013a) |  |
|  | WWTP_small_CONC_tgt_cls_2_P   | 1             | Variante 1 | UBA (2013c) |  |
|  | WWTP_small_CONC_tgt_cls_3_P   | 0,58          | Variante 1 | UBA (2013c) |  |
|  | WWTP_small_CONC_tgt_cls_4_P   | 0,42          | Variante 1 | UBA (2013c) |  |
|  | WWTP_small_CONC_tgt_cls_5_P   | 0,3           | Variante 1 | UBA (2013c) |  |
|  | WWTP_small_CONC_tgt_cls_1_P   | 2,9           | Variante 2 | FDZ (2013a) |  |
|  | WWTP_small_CONC_tgt_cls_2_P   | 1,71          | Variante 2 | UBA (2013c) |  |
|  | WWTP_small_CONC_tgt_cls_3_P   | 0,9           | Variante 2 | UBA (2013c) |  |
|  | WWTP_small_CONC_tgt_cls_4_P   | 0,66          | Variante 2 | UBA (2013c) |  |
|  | WWTP_small_CONC_tgt_cls_5_P   | 0,4           | Variante 2 | UBA (2013c) |  |

| Attribut                                    |   | Beschreibung                |      |            |             |
|---|---|-----------------------------|------|------------|-------------|
|   |   | WWTP_small_CONC_tgt_cls_1_P | 5    | Variante 3 | FDZ (2013a) |
|   |   | WWTP_small_CONC_tgt_cls_2_P | 2,73 | Variante 3 | UBA (2013c) |
|   |   | WWTP_small_CONC_tgt_cls_3_P | 1,3  | Variante 3 | UBA (2013c) |
|   |   | WWTP_small_CONC_tgt_cls_4_P | 0,9  | Variante 3 | UBA (2013c) |
|   |   | WWTP_small_CONC_tgt_cls_5_P | 0,56 | Variante 3 | UBA (2013c) |
| Neue Modellvariablen zur Maßnahmenabbildung | <ul style="list-style-type: none"> <li>– WWTP_small_CONC_tgt_cls_1_N bzw. _P</li> <li>– WWTP_large_CONC_tgt_cls_2_N bzw. _P</li> <li>– WWTP_large_CONC_tgt_cls_3_N bzw. _P</li> <li>– WWTP_large_CONC_tgt_cls_4_N bzw. _P</li> <li>– WWTP_large_CONC_tgt_cls_5_N bzw. _P</li> </ul> <p>Zu jeder der Variablen werden drei Varianten anlegt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– 1. Quartil</li> <li>– 2. Quartil</li> <li>– 3. Quartil</li> </ul>  |                             |      |            |             |
| Rückkoppelung zu den anderen Eintragspfaden | keine   |                             |      |            |             |
| Bezugsvariable für Kosten                   | der potentiell zu eliminierende Nährstoffeintrag bezogen auf die abgeleiteten Zielwerte.  |                             |      |            |             |
| Räumliche Umsetzung                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>– deutschlandweit anlagenspezifisch für alle kommunalen Kläranlagen <math>\geq 2.000</math> EW</li> <li>– deutschlandweit auf Ebene der Analysegebiete für die kommunalen Kläranlagen <math>&lt; 2.000</math> EW</li> </ul>  |                             |      |            |             |
| Kosten der Maßnahme                         | <p>Die Gesamtkosten der Maßnahme sind abhängig von:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– der jeweils eingesetzten Technologie,</li> <li>– vom Ausbaugrad der betroffenen Kläranlagen und</li> <li>– dem notwendigen Umfang der Umsetzung (Aufwand zur Zielwerterreichung).</li> </ul> <p>Die Gesamtkosten werden als Jahreskosten entsprechend KVR-Leitlinie<sup>13</sup> über die Summe der jährlichen Kapitalkosten (Investitionskosten multipliziert mit einem Annuitätsfaktor) und der jährlichen Betriebskosten errechnet.</p> <p>Die Investitionskosten für die verschiedenen Verfahren zur P-Elimination für Anlagen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– kleiner 100.000 EW bewegen sich zwischen 50 und 90 €/kg eliminierte Phosphor-Fracht).</li> <li>– größer 100.000 EW bewegen sich zwischen 60 und 200 €/kg des eliminiertes Phosphor-Eintrages) (Böhm et al. 2002; Grossmann et al. 2011; Mutz et al. 2013).</li> </ul> <p>Die Kosten für die verschiedenen Verfahren zur N-Elimination bewegen sich nach Grossmann et al. (2011) und Mutz et al. (2013) zwischen 8 und 16 €/kg eliminierte Stickstoff-Fracht).</p> <p>Die zusätzlichen jährlichen Betriebskosten für die P-Elimination für Anlagen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– kleiner 100.000 EW liegen zwischen 25 und 65 €/kg des eliminiertes Phosphor-Eintrages).</li> </ul> |                             |      |            |             |

<sup>13</sup> KVR-Leitlinien 2012: Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen, 8. überarbeitete Auflage - (Juli 2012). DWA

| Attribut | Beschreibung  |
|----------|---|
|          | <p>– größer 100.000 EW liegen zwischen 65 und 200 €/kg des eliminiertes Phosphor-Eintrages) (Böhm et al. 2002; Grossmann et al. 2011; Mutz et al. 2013).</p> <p>Die Betriebskosten für die weitergehende Stickstoffentfernung liegen in Anlehnung an Grossmann et al. (2011) und Mutz et al. (2013) zwischen 0,5 und 3,5 €/kg eliminierte Stickstoff-Fracht).</p> |

### 10.2.1.3 Steckbrief der Maßnahme „Erhöhung der klärtechnischen Wirksamkeit im Mischsystem“

| Attribut                        | Beschreibung   |
|---------------------------------|--|
| Maßnahmenbezeichnung (Kurzname) | Erhöhung klärtechnische Wirksamkeit MS   |
| Maßnahmenbezeichnung            | Erhöhung der klärtechnischen Wirksamkeit von Regenbecken im Mischsystem  |
| Pfadbezug                       | Kanalisationssysteme   |
| Stoffe                          | Schwermetalle, PAK <sup>14</sup>   |
| Bezugsvariable für Maßnahme     | Schwermetall- bzw. PAK-Einträge über Mischwasserüberläufe (US_cso_E_HM_XX <sup>15</sup> , US_cso_E_PAH)  |
| Inhaltliche Beschreibung        | <p>In Regenbecken im Misch- und Trennsystem findet über Sedimentation ein stofflicher Rückhalt statt. Folgende Maßnahmen wurden in MoRE unterschieden:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>I. Nachrüstung von RÜB/RKB durch Einbau von bspw. Schrägklärern:<br/>Durch den Einbau von Schrägklärern wird die Absetzfläche und somit die Sedimentationsleistung der Becken erhöht. Diese Optimierung ist sinnvoll in Durchlaufbecken.</li> <li>II. Nachschaltung von Retentionsbodenfiltern (RBF):<br/>RBF dienen als weitergehende Behandlung der Entlastungsabflüsse aus dem Misch- und Trennsystem der.</li> </ol> <p>Die Maßnahmen wurden in MoRE exemplarisch für das Mischsystem umgesetzt.</p> |

<sup>14</sup> Die genannten Stoffe wurden ausgewählt aufgrund ihrer Eigenschaft, überwiegend partikulär gebunden vorzuliegen. In dem vorliegenden Vorhaben wurde die Maßnahme aufgrund der hohen Relevanz für die Stoffgruppen Schwermetalle und PAK umgesetzt und die Auswirkung dieser Maßnahme beispielhaft für die Schwermetalleinträge modelliert. Derzeit sind die Formeln in MoRE für die Modellierung von Phosphor-Einträgen für diese Maßnahme noch nicht angepasst.

<sup>15</sup> Anstelle von XX muss das jeweilige Schwermetall eingetragen werden.

| Attribut                           |  | Beschreibung  |          |                  |
|------------------------------------|--|---|----------|------------------|
| Maßnahmenwirkung                   |  | <p>Die Wirkung einer Erhöhung der klärtechnischen Wirksamkeit wird oft nur als Wirkung auf Feststoffe angegeben. Manchmal finden sich auch Angaben zur Wirksamkeit auf die feine Feststofffraktion (&lt;63µm), die bekanntermaßen besonders hoch mit Schadstoffen belastet ist. Sehr selten werden die Wirkungen auf einzelne Stoffe untersucht. Da letztere eher die Ausnahme ist, muss für den Stoffrückhalt auf die Wirksamkeit der feinen Feststoffe zurückgegriffen und diese den vorwiegend partikulär gebundenen Stoffen unterstellt werden.</p> <p>Folgende Wirkungen wurden angenommen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– zu I): Der mittlere Wirkungsgrad von Schrägklärern in Bezug auf feine Feststoffe beträgt nach Fuchs et al. (2013a) etwa 60 %.</li> <li>– zu II): Der Feststoffrückhalt beträgt nach Fuchs et al. (2010b) 95 %.</li> </ul> |          |                  |
| Beschreibung der Umsetzung in MoRE |  | <p>Um die Auswirkung der Erhöhung der klärtechnischen Wirksamkeit von Regenbecken im Mischsystem auf die Einträge über Mischwasserüberläufe zu modellieren, wurden folgende Arbeitsschritte durchgeführt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– zu I): Variable angelegt, die die Sedimentationswirkung der installierten Schrägklärer in RÜB (Durchlaufbecken) abbildet (US_cso_EFF_SOT_lam_FS)</li> <li>– zu II): <ul style="list-style-type: none"> <li>– Variable angelegt, die den Anteil des Mischwasserüberlaufvolumens darstellt, der in einem Analysegebiet einem RBF zugeführt wird (US_cso_SHR_vol_rsf_cso)</li> <li>– Variable angelegt, die die Filtrationswirkung der RBF abbildet (US_EFF_RSF_FS).</li> </ul> </li> </ul>   |          |                  |
|                                    | Umsetzungsgrad der Maßnahme            | gültig für Mischwasserüberläufe, die nach Durchlaufbecken in RBF geleitet werden: Annahme, dass der Volumenanteil 50 % beträgt.   |          |                  |
|                                    | Varianten für die Eingangsdaten        | Zusätzlich zu den in Abschnitt 3.5.2 dargestellten Varianten von Eingangsdaten folgende Variablen in Variante 2:  |          |                  |
|                                    |  | Namen   | Variante | Werte            |
|                                    |  | US_cso_EFF_SOT_lam_FS,<br>US_cso_SHR_vol_rsf_cso<br>US_EFF_RSF_FS   | 1        | 0                |
|                                    |  | US_cso_EFF_SOT_lam_FS   | 2        | 50 <sup>16</sup> |
|                                    |  | US_cso_SHR_vol_rsf_cso  | 2        | 50               |
|                                    |  | US_EFF_RSF_FS   | 2        | 95               |
|                                    | Rückkopplung zu anderen Eintragspfaden | keine   |          |                  |
|                                    | Räumliche Umsetzung                    | Die Maßnahme kann auf Ebene der Analysegebiete deutschlandweit umgesetzt werden.  |          |                  |

<sup>16</sup> Ergibt in Kombination mit 20% Rückhalt durch Durchlaufbecken einen Gesamt-Wirkungsgrad von 60%.

| Attribut |                     | Beschreibung  |
|----------|---------------------|---|
|          | Kosten der Maßnahme | <p>Zu I): Aufgrund nicht vorhandener Daten zu den operablen Größen in MoRE konnte für die Maßnahme „Nachrüstung von RÜB/RKB durch Einbau von bspw. Schrägklärern“ keine Kostenschätzung vorgenommen werden.</p> <p>Zu II): Nachschaltung von RBF<br/>Die spezifischen Kosten sind im Wesentlichen vom Nutzvolumen abhängig und bewegen sich zwischen 100 €/m<sup>3</sup> und 400 €/m<sup>3</sup> Nutzvolumen (Horstmeyer et al. 2014). Diese Werte werden in MoRE für günstige bzw. ungünstige Bedingungen angenommen.<br/>Zusätzlich werden in Anlehnung an Giese (2013) Betriebskosten mit einem Mittelwert von 5,5 €/m<sup>3</sup> berücksichtigt.</p> |

#### 10.2.1.4 Steckbrief der Maßnahme „Neubau von Speichervolumen im Mischsystem“

| Attribut |                                    | Beschreibung  |          |       |
|----------|------------------------------------|---|----------|-------|
|          | Maßnahmenbezeichnung (Kurzname)    | Neubau RÜB  |          |       |
|          | Maßnahmenbezeichnung               | Neubau von Regenüberlaufbecken (Mischsystem)  |          |       |
|          | Pfadbezug                          | Kanalisationssysteme  |          |       |
|          | Stoffe                             | Stickstoff, Phosphor, Schwermetalle, PAK <sup>17</sup>  |          |       |
|          | Bezugsvariable für Maßnahme        | Entlastungsrate (US_cso_SHR_q_cso_css_IMP)  |          |       |
|          | Inhaltliche Beschreibung           | Regenbecken im Mischsystem (Regenüberlaufbecken) speichern einen Teil des Mischwasserabflusses (Speicherwirkung), sodass dieser nach einem Niederschlagsereignis einer Kläranlage zugeführt werden kann. Dadurch wird die Einleitung des Mischwasserabflusses aus dem Entwässerungssystem in das Gewässer verzögert und verringert. Durch Erhöhung des Volumens von Regenüberlaufbecken wird der in Regenüberlaufbecken gespeicherte Abfluss erhöht und dadurch weniger Mischwasserabfluss und die damit verbundenen Stoffflüsse in die Gewässer eingetragen. |          |       |
|          | Maßnahmenwirkung                   | Die Maßnahmenwirkung ist abhängig von den Gegebenheiten in einem Analysegebiet und als Ergebnis der Eintragsmodellierung zu sehen.  |          |       |
|          | Beschreibung der Umsetzung in MoRE | 100 % Ausbaugrad der Mischwasserbehandlung entspricht 23,3 m <sup>3</sup> /ha. Es wird geprüft, ob der vollständige Ausbaugrad (23,3 m <sup>3</sup> /ha) in einem AU erreicht ist. Ist dies der Fall, erfolgt keine Maßnahme. Liegt das spezifische Speichervolumen unter diesem Wert, so wird angenommen, dass die Maßnahme soweit umgesetzt wird, bis 23,3 m <sup>3</sup> /ha erreicht sind.  |          |       |
|          | Umsetzungsgrad der Maßnahme        | In allen Analysegebieten, wo ein 100 %-iger Ausbaugrad der Mischwasserbehandlung nicht erreicht ist   |          |       |
|          | Varianten für die Eingangsdaten    | Zusätzlich zu den in Abschnitt 3.5.2 dargestellten Varianten von Eingangsdaten folgende Variablen in Variante 2.  |          |       |
|          |                                    | Namen   | Variante | Werte |
|          |                                    | US_cso_SC_V_STO_tobuild   | 1        | 0     |
|          |                                    | US_cso_SC_V_STO_tobuild   | 2        | 1     |

<sup>17</sup>Prinzipiell hat diese Maßnahme Auswirkungen auf die Einträge aller Stoffe. In dem vorliegenden Vorhaben wurde die Auswirkung dieser Maßnahme beispielhaft für die Schwermetalleinträge umgesetzt.

| Attribut |  | Beschreibung   |
|----------|--|--|
|          | Rückkopplung zu anderen Eintragspfaden | Die Maßnahme wirkt sich über die Wasserbilanz auf den Eintragspfad Oberflächenabfluss aus, sodass dadurch ein erhöhter Oberflächenabfluss und somit höhere Einträge über den Eintragspfad Oberflächenabfluss zu erwarten sind. Zudem gibt es in der Realität eine Rückwirkung auf Einträge über Kläranlagen, da durch die Maßnahme mehr Mischwasser zu kommunalen Kläranlagen transportiert wird, so dass die Wassermenge und somit die Einträge über kommunale Kläranlagen erhöht werden. Diese Erhöhung wurde im Rahmen des Vorhabens nicht quantifiziert. |
|          | Räumliche Umsetzung                    | Die Maßnahme kann auf Ebene der Analysegebiete deutschlandweit umgesetzt werden (keine weitere räumliche Verteilung möglich).  |
|          | Kosten der Maßnahme                    | Die spezifischen Kosten von Regenüberlaufbecken sind im Wesentlichen vom Nutzvolumen und lokalen Randbedingungen abhängig.<br>Bei mittleren Bodenverhältnissen werden bei Halbach (2003a/2010) für Regenüberlaufbecken mit einem Nutzvolumen von 300 m <sup>3</sup> volumenbezogene Investitionskosten 1.750 €/Grüning et al. (2010a)m <sup>3</sup> angegeben.<br>Die Betriebskosten für Regenüberlaufbecken mit einem Nutzvolumen von 300 m <sup>3</sup> liegen in Anlehnung an Grüning et al. (2010) bei 4.330 €/a.  |

#### 10.2.1.5 Steckbrief der Maßnahme „Reduzierung der versiegelten Flächen“

| Attribut                        | Beschreibung  |
|---------------------------------|---|
| Maßnahmenbezeichnung (Kurzname) | Entsiegelung Mischsystem / Entsiegelung Trennsystem   |
| Maßnahmenbezeichnung            | Reduzierung der versiegelten Flächen mit Anschluss an Misch- und Trennsystem  |
| Pfadbezug                       | Kanalisationssysteme  |
| Stoffe                          | Stickstoff, Phosphor, Schwermetalle, PAK <sup>18</sup>  |
| Bezugsvariable für Maßnahme     | Fläche innerörtlicher versiegelter Flächen innerhalb von Agglomerationsräumen (städtische Gebiete) und außerhalb von Agglomerationsräumen (ländliche Gebiete), die <ul style="list-style-type: none"> <li>– an das Trennsystem angeschlossen sind (US_ss_A_IMP_aggl und US_ss_A_IMP_noaggl)</li> <li>– an das Mischsystem angeschlossen sind (US_cso_A_IMP_aggl und US_cso_A_IMP_noaggl)</li> <li>– nur an die Kanalisation angeschlossen sind (US_oss_A_IMP_noaggl)</li> <li>– nicht an die Kanalisation angeschlossen sind (US_nss_A_IMP_noaggl)</li> </ul> |
| Inhaltliche Beschreibung        | Unter Entsiegelung versteht man die Verringerung der innerörtlichen Versiegelung (und somit der abflusswirksamen Fläche) durch <ul style="list-style-type: none"> <li>– Abriss der vorhandenen Versiegelung und Umwandlung bspw. in vegetationsbedeckte Flächen,</li> <li>– Änderung des Belags der versiegelten Fläche unter Nutzung von bspw. Rasenpflastersteinen.</li> </ul> Die Maßnahme wird dort durchgeführt, wo versiegelte Flächen über Kanalisationssysteme (Misch-/Trennsystem) entwässert werden.  |

<sup>18</sup> Prinzipiell hat diese Maßnahme Auswirkungen auf die Einträge aller Stoffe. In dem vorliegenden Vorhaben wurde die Auswirkung dieser Maßnahme beispielhaft für die Schwermetalleinträge umgesetzt.

| Attribut                           |  | Beschreibung  |          |       |
|------------------------------------|--|---|----------|-------|
| Maßnahmenwirkung                   |  | Für diese Maßnahme wird die Abkopplung von 10 % der versiegelten Flächen außerhalb und von 5 % der versiegelten Flächen innerhalb der Agglomerationen als sinnvoll eingestuft.<br>Die tatsächliche Reduktion ist abhängig von den Gegebenheiten in dem Analysegebiet (Verteilung von versiegelten Flächen außerhalb und innerhalb von Agglomerationsräumen, Verteilung Misch-/Trennsystem usw) und somit als Ergebnis der Eintragsmodellierung zu sehen.    |          |       |
| Beschreibung der Umsetzung in MoRE |  | Um die Auswirkung der reduzierten Flächen auf die Einträge über Kanalisationssysteme zu modellieren, wurden folgende Arbeitsschritte durchgeführt:<br>– Variablen angelegt, die den prozentualen Anteil der versiegelten Flächen darstellen, die abgekoppelt werden<br>(US_ss_SHR_a_uncpl_imp_AGGL, US_ss_SHR_a_uncpl_imp_NOAGGL, US_cso_SHR_a_uncpl_imp_AGGL, US_cso_SHR_a_uncpl_imp_NOAGGL, US_oss_SHR_a_uncpl_imp_NOAGGL, US_nss_SHR_a_uncpl_imp_NOAGGL) |          |       |
|                                    | Umsetzungsgrad der Maßnahme            | In allen Analysegebieten, die versiegelte Flächen außerhalb und/oder innerhalb von Agglomerationen aufweisen  |          |       |
|                                    | Varianten für die Eingangsdaten        | Zusätzlich zu den in Abschnitt 3.5.2 dargestellten Varianten von Eingangsdaten folgende Variablen in Variante 2.  |          |       |
|                                    |  | Variablenname   | Variante | Werte |
|                                    |  | US_ss_SHR_a_uncpl_imp_AGGL,<br>US_ss_SHR_a_uncpl_imp_NOAGGL,<br>US_cso_SHR_a_uncpl_imp_AGGL,<br>US_cso_SHR_a_uncpl_imp_NOAGGL,<br>US_oss_SHR_a_uncpl_imp_NOAGGL,<br>US_nss_SHR_a_uncpl_imp_NOAGGL   | 1        | 0%    |
|                                    |  | US_ss_SHR_a_uncpl_imp_NOAGGL,<br>US_cso_SHR_a_uncpl_imp_NOAGGL,<br>US_oss_SHR_a_uncpl_imp_NOAGGL,<br>US_nss_SHR_a_uncpl_imp_NOAGGL  | 2        | 10%   |
|                                    |  | US_ss_SHR_a_uncpl_imp_AGGL,<br>US_cso_SHR_a_uncpl_imp_AGGL  | 2        | 5%    |
|                                    | Rückkopplung zu anderen Eintragspfaden | Die Umsetzung dieser Maßnahmen in MoRE hat Auswirkung auf die Eintragspfade:<br>– „Grundwasser“ und<br>– „Oberflächenabfluss“.<br>Die Änderung der versiegelten Fläche verursacht eine Änderung der Abflusskomponenten. Es ist eine Erhöhung der Einträge über Grundwasser und den Oberflächenabfluss zu erwarten.  |          |       |
|                                    | Räumliche Umsetzung                    | Die Maßnahme kann auf Ebene der Analysegebiete deutschlandweit umgesetzt werden.  |          |       |

| Attribut |                     | Beschreibung  |
|----------|---------------------|---|
|          | Kosten der Maßnahme | <p>Kosten von Entsiegelungsmaßnahmen können erheblich schwanken. Die Kostenspannen wird bei Assmann et al. (2013) mit 10 bis 100 €/m<sup>2</sup> angegeben.</p> <p>Unter der Annahme, dass eine Umsetzung und die Anforderungen an die Nachnutzung im ländlichen Bereich kostengünstiger zu realisieren sind, werden für die ökonomische Bewertung der Maßnahme in dem Modellsystem MoRE für zu entsiegelnde Flächen im ländlichen Bereich 25 €/m<sup>2</sup> für günstige Randbedingungen und 40 €/m<sup>2</sup> für ungünstige Randbedingungen veranschlagt. Für den urbanen Bereich ist davon auszugehen, dass eine Umsetzung und die Anforderungen an die Nachnutzung kostenintensiver zu realisieren sind. Entsprechend werden für den urbanen Bereich 65 €/m<sup>2</sup> für günstige Randbedingungen und 80 €/m<sup>2</sup> für ungünstige Randbedingungen veranschlagt.</p> <p>Als Betriebskosten werden in Anlehnung an (Böhm et al. 2002) 0,1 €/m<sup>2</sup> veranschlagt.</p> |

## 10.2.2 Maßnahmen im landwirtschaftlichen Bereich

### 10.2.2.1 Steckbrief der Maßnahme „Erhöhung des Anteils Ökolandbau auf 10 bzw. 20 % der Landwirtschaftsflächen“

| Attribut                        | Beschreibung  |
|---------------------------------|---|
| Maßnahmenbezeichnung (Kurzname) | 10 % bzw. 20 % Ökologischer Landbau   |
| Maßnahmenbezeichnung            | Umsetzung von Ökolandbau auf 10 % (20 %) der Landwirtschaftsfläche  |
| Allgemeine Beschreibung         | Der Anteil landwirtschaftlich genutzter Flächen, die ökologisch bewirtschaftet werden (nach EG-Verordnung 834/2007, (BMEL 2007)), erhöht sich auf 10 % (weiteres Szenario: 20 %), im Bundesgebiet insgesamt |
| Pfadbezug                       | Dränagen, Grundwasser   |
| Stoffe                          | Stickstoff (Nitrat) <sup>19</sup>   |

<sup>19</sup> Diese Maßnahme ist prinzipiell bei allen Stoffen umsetzbar. Zusatzeffekte sind für Phosphor und für Pflanzenschutzmittel zu erwarten. Diese sind jedoch derzeit nicht quantifizierbar.

| Attribut                           |  | Beschreibung  |            |                           |
|------------------------------------|--|---|------------|---------------------------|
| Beschreibung der Umsetzung in MoRE |  | <p>Änderung der Werte der Variablen TD_SURP_refyr_N, i.e. Überschuss N-Flächenbilanz der Landwirtschaftsflächen (kg N/ha LF), im Mittel eines Kreises/kreisfr. Stadt</p> <p>Der Unterschied des N-Überschusses zwischen konventionellen und ökologisch wirtschaftenden Betrieben hängt stark von der Betriebsform (Marktfrucht, Milchvieh, Veredelung, Gemischtbetrieb) ab. Für die Maßnahmen wird zunächst die Verminderung des einzelbetrieblichen N-Überschuss bei Umstellung auf Öko-Landbau ermittelt, differenziert nach Betriebsform (Produktionsrichtung) und aktuellem Niveau des N-Überschusses. Aufbauend auf diesen Auswertungen wird das Minderungspotenzial der Maßnahme für die Landwirtschaft für die regionalen Einheiten Kreise/kreisfr. Städte beschrieben. Einzelheiten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Methodik zur Berechnung des N-Flächenbilanzüberschusses: s. Bach et al. (2014).</li> <li>– Abschätzung der Wirkung (einzelbetrieblich) der Maßnahme und Umsetzung für Regionalgliederung Kreise/kreisfr. Städte (s. Anhang 10.7)</li> </ul> |            |                           |
|                                    | Zielgröße                                  | Anteil der ökologisch bewirtschafteten LF an der gesamten LF (Mittel Bundesländer bzw. DE gesamt)   |            |                           |
|                                    | Zielwert                                   | 10 % (weiteres Szenario: 20 %) ökologisch bewirtschaftete LF  |            |                           |
|                                    | Umsetzungsgrad                             | Deutschland gesamt  |            |                           |
|                                    | Ableitung neuer Eingangsdaten              | Berechnung des Flächenbilanzüberschusses der Kreise/kreisfr. Städte, getrennt für (a) konventionell und (b) ökologisch bewirtschaftete LF; Mittelung des N-Überschusses für die Kreise/kreisfr. Städte gewichtet mit LF n. (a) und (b), mit Annahme Anteil (b) = 10 % bzw. 20 %; Prüfung und ggf. Selektion von Ausreißern.   |            |                           |
|                                    | Rückkopplung zu den anderen Eintragspfaden | keine   |            |                           |
|                                    | Bezugsvariable                             | TD_SURP_refyr_N   |            |                           |
|                                    | Varianten für die Eingangsdaten            |   |            |                           |
|                                    |  | Namen   | Variante   | Beschreibung              |
|                                    |  | TD_SURP_refyr_N   | Variante 3 | 10 % Ökologischer Landbau |
|                                    |  | TD_SURP_refyr_N   | Variante 4 | 20 % Ökologischer Landbau |
|                                    | Potential für die räumliche Umsetzung      | Maßnahme kann nur für Regionalgliederung Kreise/kreisfr. Städte umgesetzt werden, für den Bezugsraum Deutschland gesamt   |            |                           |
|                                    | Neue Variablen zur Maßnahmenabbildung      | keine   |            |                           |

| Attribut |                           | Beschreibung  |
|----------|---------------------------|---|
|          | Kosten der Maßnahme       | <p>Kosten für öffentliche Haushalte: Unterschied zw. Agrarförderprämien für Öko-Betriebe und konventionelle Betriebe (nur überschlägige Schätzung möglich; im Detail sehr aufwändige Ermittlung, da zahlreiche Förderprogramme existieren und zusätzlich in den 16 Bundesländern nicht einheitlich gestaltet sind).</p> <p>Kosten für die ökologischen Landwirtschaftsbetriebe: können nicht generell beziffert werden; Angaben zur Einkommenssituation u.a. im (jährlichen) Agrarbericht der Bundesregierung (BMEL)</p> <p>Die Kosten dieser Maßnahme werden nicht berechnet werden können wegen des großen Aufwands und der zeitlichen Begrenzung. Hier wird nur der generelle Ansatz zur Ermittlung dieser Größe aufgezeigt.</p> |
|          | Bezugsvariable für Kosten | keine   |

### 10.2.2.2 Steckbrief der Maßnahme „Optimierung des betrieblichen N-Düngungsmanagements“

| Attribut |                                    | Beschreibung  |
|----------|------------------------------------|---|
|          | Maßnahmenbezeichnung (Kurzname)    | Optimierung N-Management  |
|          | Maßnahmenbezeichnung               | Optimierung des betrieblichen N-Düngungsmanagements   |
|          | Allgemeine Beschreibung            | <p>Maßnahme: Alle Landwirtschaftsbetriebe im Bundesgebiet wirtschaften hinsichtlich ihres Düngungsmanagements nach „best practice“, d.h. sie reduzieren ihren N-Überschuss auf denjenigen Wert, der vom oberen Viertel (den besten 25 %) der Betriebe der gleichen Betriebsform (Marktfrucht, Milchvieh, Schweinemast, Geflügelmast, Gemischt) erreicht wird (i.e. Referenzwert für „best practice“). Durch welche Managementmaßnahmen im Einzelnen (u.a. Reduzierung N-Mineraldüngung, Zwischenfruchtanbau, bessere N-Bedarfsplanung, Precision Farming, Einsatz Nitrifikationshemmer usw.) ein Betrieb diese Reduzierung erreicht, hängt von seinen individuellen Rahmenbedingungen ab und wird im Rahmen der N-Bilanzierung nicht weiter spezifiziert.</p> |
|          | Pfadbezug                          | Dränagen, Grundwasser   |
|          | Stoffe                             | Stickstoff (Nitrat)   |
|          | Beschreibung der Umsetzung in MoRE | Änderung der Werte der Variablen TD_SURP_refyr_N, i.e. Überschuss N-Flächenbilanz der Landwirtschaftsflächen (kg N/ha LF), im Mittel eines Kreises/kreisfr. Stadt   |
|          | Zielgröße                          | Verminderung der N-Zufuhr mit Wirtschafts- und Mineraldüngung zur LF durch verbessertes N-Düngungsmanagement; dadurch induzierte Veränderung des Überschusses der N-Flächenbilanz (Mittel 2009-2011)  |
|          | Umsetzungsgrad                     | Deutschland gesamt  |
|          | Ableitung neuer Eingangsdaten      | <p>Berechnung des Flächenbilanzüberschusses der Kreise/kreisfr. Städte mit Annahmen zur Verminderung der N-Zufuhr mit Wirtschafts- und Mineraldünger zur LF gemäß Szenario „optimiertes N-Management“</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Methodik zur Berechnung des N-Flächenbilanzüberschuss: s. Bach et al. (2014)</li> <li>– Abschätzung der Wirkung (einzelbetrieblich) der Maßnahme und Umsetzung für Regionalgliederung Kreise/kreisfr. Städte (s. Anhang 10.7)</li> </ul>   |

| Attribut |  | Beschreibung  |            |                          |
|----------|--|---|------------|--------------------------|
|          | Rückkopplung zu den anderen Eintragspfaden | keine   |            |                          |
|          | Bezugsvariable                             | TD_SURP_refyr_N   |            |                          |
|          | Varianten für die Eingangsdaten            |   |            |                          |
|          |  | Namen   | Variante   | Beschreibung             |
|          |  | TD_SURP_refyr_N   | Variante 5 | Optimierung N-Management |
|          | Potential für die räumliche Umsetzung      | Maßnahme kann nur für Regionalgliederung Kreise/kreisfr. Städte umgesetzt werden  |            |                          |
|          | Neue Variablen zur Maßnahmenabbildung      | keine   |            |                          |
|          | Kosten der Maßnahme                        | <p>Kosten für öffentliche Haushalte: keine</p> <p>Kosten für Landwirtschaftsbetriebe: in den meisten Fällen ist von einer Verminderung der Kosten, d.h. Verbesserung des Betriebseinkommens auszugehen</p> <p>Die Kosten dieser Maßnahme werden nicht berechnet werden können wegen des großen Aufwands und der zeitlichen Begrenzung. Hier wird nur der generelle Ansatz zur Ermittlung dieser Größe aufgezeigt.</p> |            |                          |
|          | Bezugsvariable für Kosten                  | keine   |            |                          |

### 10.3 Übersicht der Gütemessstellen

Aufgelistet sind die LAWA-Messstellen nach Verwaltungsvereinbarung zwischen den Bundesländern und UBA zur Validierung der modellierten Stofffrachten.

| LAWA-Nummer | Landes-Nummer | Gewässername  | Messstellenname           | Fläche Einzugsgebiet [km <sup>2</sup> ] | Land    |
|-------------|---------------|---------------|---------------------------|---|---------|
| BB01        | 506280163     | Neiße         | Ratzdorf                  | 4397,300                                | Polen   |
| BB04        | 631000001     | Spree         | Cottbus                   | 2334,300                                | BB      |
| BB05        | 507310045     | Spree         | Neuzittau                 | 6418,400                                | BB      |
| BB06        | 414160041     | Havel         | Hennigsdorf               | 3192,700                                | BB      |
| BB07        | 432000033     | Havel         | Potsdam                   | 13662,300                               | BB      |
| BB08        | 531000012     | Oder          | Frankfurt                 | 53511,400                               | BB      |
| BB09        | 505220011     | Oder          | Hohenwutzen               | 109990,900                              | BB      |
| BB10        | NE_0040       | Neiße         | Guben                     | 3161,600                                | BB      |
| BB11        | RH_0130       | Rhin          | Kietz                     | 1684,100                                | BB      |
| BE01        | 160           | Spree         | Spandau                   | 10104,000                               | BE      |
| BE02        | 345           | Havel         | Krughorn                  | 14555,000                               | BE      |
| BE03        | 430           | Teltowkanal   | Kohlhasenbrück            | 145,000                                 | BE      |
| BW01        | CXX023        | Rhein         | Öhningen                  | 11470,000                               | Schweiz |
| BW02        | CXX113        | Rhein         | Dogern                    | 33987,000                               | BW      |
| BW05        | CXX426        | Rhein         | Mannheim/Rhein            | 54029,000                               | BW      |
| BW06        | CYY003        | Neckar        | Mannheim/Neckar           | 13957,000                               | BW      |
| BW07        | CYY104        | Neckar        | Kochendorf/Neckar         | 8510,000                                | BW      |
| BW08        | CYY165        | Neckar        | Poppenweiler              | 4982,000                                | BW      |
| BW09        | CYY200        | Neckar        | Deizisau                  | 3995,000                                | BW      |
| BW11        | CYZ501        | Neckar        | Starzach-Börstingen       | 1512,000                                | BW      |
| BW15        | CSN021        | Schussen      | Meckenbeuren-Gerbertshaus | 790,000                                 | BW      |
| BW16        | CAR028        | Argen         | Tettngang-Gießen          | 625,000                                 | BW      |
| BW17        | CCC010        | Rotach        | Friedrichshafen           | 397,000                                 | BW      |
| BW20        | CQQ803        | Donau         | Ulm-Wiblingen/Donau       | 5384,000                                | BW      |
| BW21        | CAZ008        | Radolfz.-Aach | Rielasingen               | 263,000                                 | BW      |
| BW22        | CXX091        | Rhein         | Reckingen                 | 14718,000                               | BW      |
| BW23        | CXX172        | Rhein         | Weil                      | 36441,000                               | BW      |
| BW24        | CKI901        | Kinzig        | Kehl                      | 1430,000                                | BW      |
| BW25        | CYY137        | Neckar        | Besigheim/Neckar          | 5590,000                                | BW      |
| BW26        | CEN901        | Enz           | Besigheim/Enz             | 2220,000                                | BW      |
| BW27        | CK0905        | Kocher        | Kochendorf/Kocher         | 1960,000                                | BW      |
| BW28        | Ctrue903      | truegst       | truegstfeld               | 1830,000                                | BW      |
| BW30        | CTA913        | Tauber        | Wertheim                  | 1806,000                                | BW      |
| BW041       | CXX359        | Rhein         | Karlsruhe                 | 50196,000                               | BW      |
| BW101       | CYY247        | Neckar        | Kirchentellinsfurt        | 2321,000                                | BW      |
| BW131       | CQQ501        | Donau         | Hundersingen              | 2629,000                                | BW      |
| BY01        | F613          | Main          | Kahl a. Main              | 23152,000                               | BY      |

| LAWA-Nummer | Landes-Nummer | Gewässername     | Messstellenname  | Fläche Einzugsgebiet [km <sup>2</sup> ] | Land |
|-------------|---------------|------------------|------------------|---|------|
| BY02        | F604          | Main             | Erlabrunn        | 14244,000                               | BY   |
| BY03        | F415          | Main             | Viereth          | 11956,000                               | BY   |
| BY04        | F409          | Main             | Hallstadt        | 4399,000                                | BY   |
| BY06        | F607          | Fränkische Saale | Gemünden         | 2141,000                                | BY   |
| BY07        | F410          | Regnitz          | Hausen           | 4472,000                                | BY   |
| BY08        | F418          | Sächsische Saale | Joditz           | 644,000                                 | BY   |
| BY09        | F707          | Donau            | Dillingen        | 11315,000                               | BY   |
| BY11        | F219          | Donau            | Jochenstein      | 77086,000                               | BY   |
| BY12        | F702          | Iller            | Wiblingen        | 2115,000                                | BY   |
| BY13        | F717          | Lech             | Feldheim         | 3926,000                                | BY   |
| BY14        | F713          | Lech             | Füssen           | 1417,000                                | BY   |
| BY16        | F311          | Naab             | Heitzenhofen     | 5426,000                                | BY   |
| BY17        | F209          | Isar             | Plattling        | 8839,000                                | BY   |
| BY18        | F110          | Amper            | Moosburg/Amper   | 3088,000                                | BY   |
| BY19        | F104          | Loisach          | Schlehdorf       | 640,000                                 | BY   |
| BY20        | F218          | Inn              | Passau-Ingling   | 26049,000                               | BY   |
| BY21        | F111          | Inn              | Kirchdorf        | 9905,000                                | BY   |
| BY22        | F116          | Salzach          | Laufen           | 6113,000                                | BY   |
| BY23        | F213          | Große Ohe        | Taferlruck       | 19,000                                  | BY   |
| BY24        | F202          | Donau            | Kelheim          | 22950,000                               | BY   |
| BY25        | F703          | Illerkanal       | Ludwigsfeld      | 50,000                                  | BY   |
| BY26        | F313          | Regen            | Marienthal       | 2590,000                                | BY   |
| BY27        | F215          | Inn              | Simbach          | 22841,000                               | BY   |
| BY28        | F203          | Donau            | Bad Abbach       | 26446,000                               | BY   |
| BY29        | F113          | Inn              | Eschelbach       | 13354,000                               | BY   |
| BY30        | F715          | Wertach          | Ettringen        | 681,000                                 | BY   |
| BY31        | F714          | Lech             | Augsburg         | 2350,000                                | BY   |
| BY33        | F101          | Donau            | Bittenbrunn      | 19898,000                               | BY   |
| BY34        | F206          | Donau            | Deggendorf       | 38125,000                               | BY   |
| BY35        | F220          | Donau            | Niederaltaich    | 47600,000                               | BY   |
| BY36        | F109          | Ammer            | Fischen          | 709,000                                 | BY   |
| BY37        | F214          | Ilz              | Kalteneck        | 762,000                                 | BY   |
| BY38        | F103          | Isar             | Mittenwald       | 286,000                                 | BY   |
| BY39        | F108          | Isar             | Moosburg/Isar    | 4148,000                                | BY   |
| BY40        | F706          | Mindel           | Offingen         | 952,000                                 | BY   |
| BY41        | F126          | Paar             | Großmehring      | 860,000                                 | BY   |
| BY42        | F114          | Tiroler Achen    | Staudach         | 944,000                                 | BY   |
| BY43        | F211          | Vils             | Grafenmühle      | 1436,000                                | BY   |
| BY44        | F709          | Wörnitz          | Ronheim          | 1566,000                                | BY   |
| BY45        | F712          | Donau            | Schäfstall Pegel | 15150,000                               | BY   |
| BY151       | F301          | Altmühl          | Dietfurt         | 2504,000                                | BY   |
| HB01        | DE_HB_12046   | Weser            | HB               | 38415,000                               | HB   |

| LAWA-Nummer | Landes-Nummer | Gewässername | Messstellenname              | Fläche Einzugsgebiet [km <sup>2</sup> ] | Land |
|-------------|---------------|--------------|------------------------------|---|------|
| HE02        | HE02          | Fulda        | Wahnhausen                   | 6866,000                                | HE   |
| HE03        | HE03          | Werra        | Witzenhausen-Blickershausen  | 5431,000                                | HE   |
| HE04        | HE04          | Schwarzbach  | Trebur-Astheim               | 446,000                                 | HE   |
| HE05        | HE05          | Nidda        | Frankfurt-Nied               | 1942,000                                | HE   |
| HE06        | HE06          | Lahn         | Limburg-Staffel              | 4882,000                                | RP   |
| HE07        | HE07          | Kinzig       | Hanau                        | 925,000                                 | HE   |
| HE08        | HE08          | Weschnitz    | Biblis-Wattenheim            | 436,000                                 | HE   |
| HE09        | HE09          | Lahn         | Solms-Oberbiel               | 3407,000                                | HE   |
| HE10        | HE10          | Fulda        | Rotenburg                    | 2523,000                                | HE   |
| HE11        | HE11          | Schwalm      | Felsberg-Altenburg           | 1299,000                                | HE   |
| HE011       | HE011         | Main         | Bischofsheim                 | 27188,000                               | HE   |
| HE12        | HE12          | Eder         | Edersee                      | 1452,000                                | HE   |
| HE13        | HE13          | Diemel       | Bad Karlshafen-Helmarshausen | 1760,000                                | HE   |
| HH02        | Ae4/Ae3       | Alster       | Haselknick                   | 306,500                                 | HH   |
| HH03        | Oezs          | Elbe         | Zollenspieker                | 139000,000                              | HH   |
| HH011       | Uesh          | Elbe         | Seemannshöft                 | 139900,000                              | HH   |
| MV01        | 205130022     | Elde         | Dömitz                       | 2626,000                                | MV   |
| MV02        | 204880024     | Sude         | Bandekow                     | 2133,000                                | MV   |
| MV03        | 108170014     | Warnow       | Kessin                       | 2982,000                                | MV   |
| MV04        | 303070035     | Tollense     | Demmin                       | 1829,000                                | MV   |
| MV05        | 302020087     | Peene        | Anklam                       | 5030,000                                | MV   |
| MV06        | 313240018     | Uecker       | Ueckermünde                  | 2410,000                                | MV   |
| MV07        | 103430016     | Recknitz     | Ribnitz-Damgarten            | 669,000                                 | MV   |
| MV08        | 203210010     | Nebel        | Ahrenshagen                  | 293,000                                 | MV   |
| MV09        | 201070034     | Nebel        | Wolken                       | 992,000                                 | MV   |
| MV10        | 303490013     | Trebel       | Wotenick                     | 957,000                                 | MV   |
| MV11        | 207180015     | Elde         | Parchim                      | 1748,000                                | MV   |
| MV12        | 59152010      | Stepenitz    | Rodenberg                    | 486,000                                 | MV   |
| NI01        | 59152010      | Elbe         | Schnackenburg                | 125482,000                              | ST   |
| NI03        | 59752051      | Elbe         | Grauerort                    | 141327,000                              | NI   |
| NI04        | 43352010      | Weser        | Hemeln                       | 12550,000                               | NI   |
| NI07        | 48132055      | Aller        | Grafhorst                    | 520,000                                 | NI   |
| NI08        | 48332010      | Aller        | Langlingen                   | 3288,000                                | NI   |
| NI09        | 48992097      | Aller        | Verden                       | 15220,000                               | NI   |
| NI10        | 48812210      | Leine        | Reckershausen                | 321,000                                 | NI   |
| NI11        | 48852542      | Leine        | Poppenburg                   | 3463,000                                | NI   |
| NI12        | 48892026      | Leine        | Neustadt                     | 6043,000                                | NI   |
| NI13        | 48292018      | Oker         | Groß Schwülper               | 1734,000                                | NI   |
| NI14        | 49692157      | Hunte        | Reithörne                    | 2344,000                                | NI   |
| NI15        | 37712010      | Ems          | Herbrum                      | 9207,000                                | NI   |
| NI16        | 92862534      | Vechte       | Laar                         | 1762,000                                | NI   |

| LAWA-Nummer | Landes-Nummer | Gewässername    | Messstellenname      | Fläche Einzugsgebiet [km <sup>2</sup> ] | Land |
|-------------|---------------|-----------------|----------------------|---|------|
| NI17        | 36912024      | Hase            | Bokeloh              | 2968,000                                | NI   |
| NI18        | 59452251      | Ilmenau         | Bienenbüttel         | 1545,000                                | NI   |
| NI19        | 49572011      | Weser           | Farge                | 41730,000                               | HB   |
| NI20        | 47692123      | Große Aue       | Steyerberg           | 1446,000                                | NI   |
| NI21        | 59292010      | Jeetzel         | Seerau               | 1877,000                                | NI   |
| NI22        | 59872220      | Oste            | Oberndorf            | 1487,000                                | NI   |
| NI23        | 59652013      | Lühe-Aue        | Daudieck             | 153,000                                 | NI   |
| NI24        | 59942126      | Medem           | Otterndorf           | 199,000                                 | NI   |
| NI25        | 38832017      | Barsseleer Tief | Detern-Scharrel      | 794,000                                 | NI   |
| NI26        | 39892014      | Knockster Tief  | Buntelsweg           | 414,000                                 | NI   |
| NI27        | 93912880      | Harle           | Nenndorf             | 131,000                                 | NI   |
| NI28        | 45752064      | Weser           | Hessisch Oldendorf   | 17170,000                               | NI   |
| NI29        | 47912026      | Weser           | Drakenburg           | 21978,000                               | NI   |
| NI30        | 48162282      | Ise             | Gifhorn              | 424,000                                 | NI   |
| NI31        | 48492040      | Fuhse           | Wathlingen           | 869,000                                 | NI   |
| NI32        | 48542230      | Neue Aue        | Ehlershausen         | 26,000                                  | NI   |
| NI33        | 48822869      | Rhume           | Northeim             | 1187,000                                | NI   |
| NI34        | 48862863      | Innerste        | Sarstedt             | 1268,000                                | NI   |
| NI35        | 49282075      | Delme           | Holzcamp             | 122,000                                 | NI   |
| NI36        | 49452244      | Wümme-Nordarm   | Ottersberg           | 103,000                                 | NI   |
| NI37        | 49652163      | Hunte           | Colnrade             | 1349,000                                | NI   |
| NI38        | 49482303      | Hamme           | Tietjens Hütte       | 465,000                                 | NI   |
| NI39        | 49872057      | Lune            | Stotel               | 311,000                                 | NI   |
| NI40        | 39512011      | Ems             | Gandersum            | 12288,000                               | NI   |
| NI41        | 49752022      | Weser           | Brake                | 44483,000                               | NI   |
| NW01        | 000103        | Rhein           | Bad Honnef           | 141081,300                              | NW   |
| NW02        | 000504        | Rhein           | Kleve-Bimmen         | 159680,000                              | NW   |
| NW03        | 001004        | Sieg            | Bergheim             | 2831,900                                | NW   |
| NW06        | 002008        | Wupper          | Leverkusen-Rheindorf | 609,600                                 | NW   |
| NW07        | 003001        | Erft            | Eppinghoven          | 1615,500                                | NW   |
| NW08        | 265901        | Swist           | Weilerswist          | 286,300                                 | NW   |
| NW10        | 402801        | Ruhr            | Villigst             | 2034,000                                | NW   |
| NW11        | 422800        | Lenne           | Hohenlimburg         | 1323,600                                | NW   |
| NW12        | 628700        | Möhne           | Völlinghausen        | 299,000                                 | NW   |
| NW13        | 006002        | Lippe           | Wesel                | 4885,900                                | NW   |
| NW14        | 515103        | Lippe           | Lünen                | 2834,000                                | NW   |
| NW15        | 801562        | Steuer          | Olfen                | 534,900                                 | NW   |
| NW17        | 731808        | Werre           | Rehme                | 1485,300                                | NW   |
| NW20        | 318103        | Schwalm         | Neumühle             | 83,000                                  | NW   |
| NW22        | 101904        | Rur             | Einruhr              | 197,600                                 | NW   |
| NW041       | 212350        | Sieg            | Au                   | 1263,500                                | NW   |
| NW091       | 022810        | Ruhr            | Mülheim              | 4427,500                                | NW   |

| LAWA-Nummer | Landes-Nummer | Gewässername       | Messstellenname           | Fläche Einzugsgebiet [km <sup>2</sup> ] | Land        |
|-------------|---------------|--------------------|---------------------------|---|-------------|
| NW162       | 702705        | Weser              | Porta Westfalica          | 19164,700                               | NW          |
| NW181       | 805180        | Ems                | Rheine                    | 3755,000                                | NW          |
| NW211       | 107657        | Rur                | Vlodrop                   | 2261,300                                | Niederlande |
| NW300       | 000309        | Rhein              | Düsseldorf                | 146187,000                              | NW          |
| NW301       | 005009        | Emscher            | Dinslaken                 | 775,500                                 | NW          |
| NW314       | 206106        | Agger              | Troisdorf                 | 813,600                                 | NW          |
| NW338       | 441200        | Volme              | Hagen                     | 425,200                                 | NW          |
| NW340       | 451400        | Sieg               | Siegen                    | 429,900                                 | NW          |
| NW341       | 463309        | Eder               | Bad Berleburg             | 359,700                                 | NW          |
| NW342       | 501580        | Steuer             | Haltern                   | 924,100                                 | NW          |
| NW352       | 517800        | Ahse               | Hamm                      | 440,700                                 | NW          |
| NW367       | 723502        | Lutter             | Harsewinkel               | 136,500                                 | NW          |
| NW374       | 800703        | Berkel             | Vreden                    | 380,100                                 | NW          |
| NW381       | 803510        | Werse              | Münster                   | 753,000                                 | NW          |
| NW388       | 004108        | Ruhr               | Fröndenberg               | 1900,100                                | NW          |
| NW389       | 030650        | Dortmund-Ems-Kanal | Datteln                   |   | NW          |
| NW390       | 031318        | Mittellandkanal    | Minden                    |   | NW          |
| NW391       | 273600        | Dhünn              | Leverkusen                | 192,700                                 | NW          |
| NW392       | 315321        | Niers              | Goch                      | 1275,800                                | NW          |
| NW393       | 318644        | Schwalm            | Brüggen                   | 252,900                                 | Niederlande |
| NW394       | 416204        | Möhne              | Arnsberg                  | 468,600                                 | NW          |
| NW395       | 602700        | Alme               | Paderborn                 | 762,500                                 | NW          |
| NW396       | 614208        | Lippe              | Lippetal                  | 2094,000                                | NW          |
| NW397       | 735012        | Bega               | Bad Salzuflen             | 320,900                                 | NW          |
| NW398       | 740706        | Johannisbach       | Herford                   | 255,000                                 | NW          |
| NW399       | 741917        | Else               | Kirchlengern              | 414,500                                 | NW          |
| NW400       | 745900        | Diemel             | Warburg                   | 1079,300                                | NW          |
| NW401       | 749618        | Nethe              | Beverungen                | 445,000                                 | NW          |
| NW402       | 752824        | Emmer              | Lügde                     | 371,900                                 | NW          |
| NW403       | 755813        | Große Aue          | Rahden                    | 415,000                                 | NW          |
| NW404       | 800016        | Vechte             | Wettringen/Vechte         | 183,300                                 | NW          |
| NW405       | 800132        | Steinfurter Aa     | Wettringen/Steinfurter Aa | 204,500                                 | NW          |
| NW406       | 803157        | Ems                | Warendorf                 | 1480,000                                | NW          |
| RP01R       | 2599511100    | Rhein              | Koblenz/Rhein             | 110131,000                              | RP          |
| RP02        | 2511510500    | Rhein              | Mainz                     | 98206,000                               | HE          |
| RP03R       | 2699511700    | Mosel              | Koblenz/Mosel             | 28100,000                               | RP          |
| RP04        | 2619521200    | Mosel              | Palzem                    | 11623,000                               | RP          |
| RP05        | 2649525000    | Saar               | Kanzem                    | 7389,000                                | RP          |
| RP06        | 2549523200    | Nahe               | Grolsheim                 | 4013,000                                | RP          |
| RP07        | 2629532500    | Sauer              | Sauer, Mündung            | 4276,000                                | RP          |
| RP08        | 2691510700    | Mosel              | Fankel                    | 27072,000                               | RP          |
| RP09        | 2589535400    | Lahn               | Lahnstein                 | 5924,000                                | RP          |

| LAWA-Nummer | Landes-Nummer | Gewässername    | Messstellenname      | Fläche Einzugsgebiet [km <sup>2</sup> ] | Land  |
|-------------|---------------|-----------------|----------------------|---|-------|
| RP10        | 2391566500    | Rhein           | Worms                | 68303,000                               | HE    |
| SH01        | 120003        | Bille           | Reinbek              | 335,000                                 | SH    |
| SH02        | 120015        | Stör            | Willenscharen        | 476,000                                 | SH    |
| SH03        | 123016        | Treene          | Friedrichstadt       | 797,000                                 | SH    |
| SH04        | 123030        | Bongsiel. Kanal | Schlüttsiel          | 723,000                                 | SH    |
| SH05        | 126029        | Schwentine      | Kiel                 | 714,000                                 | SH    |
| SH07        | 120002        | Bille           | SNwaldau             | 219,000                                 | SH    |
| SH08        | 120019        | Stör            | Heiligenstedten      | 1403,000                                | SH    |
| SH09        | 120098        | Osterau         | Baß                  | 113,000                                 | SH    |
| SH10        | 123009        | Eider           | Nordfeld             | 905,000                                 | SH    |
| SH11        | 126015        | Füsinger Au     | Füsing               | 242,000                                 | SH    |
| SH12        | 126053        | Schwartau       | Schwartau            | 209,000                                 | SH    |
| SH13        | 126134        | Kremper Au      | Löhrsdorfer Holz     | 4,100                                   | SH    |
| SH14        | 126200        | Trave           | Bad Segeberg         | 158,000                                 | SH    |
| SH15        | 126201        | Kossau          | Scholenfurt          | 89,000                                  | SH    |
| SH16        | 126202        | Lachsau         | Glinde               | 9,500                                   | SH    |
| SH17        | 120207        | Elbe            | Brunsbüttel          | 146000,000                              | SH    |
| SH18        | 123075        | Eider           | Tönning              | 2044,000                                | SH    |
| SH061       | 126194        | Trave           | Lübeck-Moisling      | 878,000                                 | SH    |
| SL01        | 1561          | Saar            | Saarbrücken Güdingen | 3818,000                                | SL    |
| SL02        | 1620          | Saar            | Fremersdorf          | 6983,000                                | SL    |
| SL03        | 100           | Prims           | Nonnweiler           | 18,500                                  | RP    |
| SL04        | 101           | Altbach         | Nonnweiler           | 16,200                                  | RP    |
| SL05        | 189           | Nied            | Niedaltdorf          | 1337,000                                | SL    |
| SL06        | 31            | Blies           | Reinheim             | 1798,000                                | SL    |
| SN01        | 14003000      | Lausitzer Neiße | Görlitz              | 1621,000                                | SN    |
| SN02        | 14034200      | Schwarze Elster | Senftenberger See    | 1066,000                                | BB    |
| SN03        | 14047130      | Große Röder     | Gröditz              | 803,000                                 | BB    |
| SN04        | 14044630      | Elbe            | Schmilka             | 51391,000                               | SN    |
| SN06        | 14030521      | Freib. Mulde    | ErlIn                | 2983,000                                | SN    |
| SN07        | 14030520      | Zwickauer Mulde | Sermuth              | 2361,000                                | SN    |
| SN08        | 14023050      | Vereinig. Mulde | Bad Düben            | 5995,000                                | SN    |
| SN09        | -             | Weißer Elster   | Bad Elster           | 47,700                                  | SN    |
| SN10        | -             | Lausitzer Neiße | Bad Muskau           | 2558,000                                | Polen |
| SN11        | -             | Elbe            | Zehren               | 54120,000                               | SN    |
| SN051       | -             | Elbe            | Dommitzsch           | 55655,000                               | SN    |
| ST01        | 819380018     | Elbe            | Wittenberg           | 61879,000                               | ST    |
| ST02        | 732040010     | Elbe            | Magdeburg            | 94699,000                               | ST    |
| ST03        | 615150018     | Schwarze Elster | Gorsdorf             | 5453,000                                | ST    |
| ST04        | 831000014     | Mulde           | Dessau               | 7399,000                                | ST    |
| ST05        | 811050014     | Saale           | Bad Dürrenberg       | 12076,000                               | ST    |
| ST06        | 832000016     | Saale           | Trotha               | 17979,000                               | ST    |

| LAWA-Nummer | Landes-Nummer | Gewässername  | Messstellenname | Fläche Einzugsgebiet [km <sup>2</sup> ] | Land |
|-------------|---------------|---------------|-----------------|---|------|
| ST07        | 714120017     | Saale         | Groß Rosenberg  | 24079,000                               | ST   |
| ST08        | 810100016     | Unstrut       | Freyburg        | 6327,000                                | ST   |
| ST09        | 832020017     | Weißer Elster | Ammendorf       | 5384,000                                | ST   |
| ST10        | 707020018     | Havel         | Toppel          | 24025,000                               | ST   |
| ST11        | 712780011     | Aland         | Wanzer          | 1824,000                                | ST   |
| ST12        | -             | Bode          | Neugattersleben | 3297,000                                | ST   |
| TH02        | 2371          | Werra         | Gerstungen      | 3039,000                                | TH   |
| TH06        | 2198          | Saale         | Camburg-Stöben  | 3977,000                                | TH   |
| TH07        | 2217          | Weißer Elster | Gera unterhalb  | 2186,000                                | TH   |
| TH09        | 2150          | Unstrut       | Oldisleben      | 4173,900                                | TH   |
| TH10        | 2381          | Werra         | Meiningen       | 1170,000                                | TH   |
| TH11        | 2258          | Saale         | Rudolstadt      | 2679,000                                | TH   |
| TH031       | 2167          | Unstrut       | Wundersleben    | 2494,000                                | TH   |

## 10.4 Gültige Gütemessstellen für die Validierung

### 10.4.1 Messstellen für Stickstoff

| Gütemessstellen Stickstoff (n=119) | Analyse-gebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=74) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=105) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=61) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Zugeordneter Abflusspegel 3 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 3 |
|------------------------------------|-------------------|-------|------------|---|--|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|--|--|--|
| BB01                               | 60293             | PL    |            | JA  | NEIN                                       | NEIN                                | BB_Q_6602800                |                             |                             | 1,001                | 0,9278   |  |  |
| BB04                               | 50534             | DE    | BB         | JA  | JA   | JA                                  | BB_Q_5821000                |                             |                             | 1,001                | 0,9961   |  |  |
| BB05                               | 50570             | DE    | BB         | JA  | JA   | JA                                  | BB_Q_5827000                |                             |                             | 1,390                | 0,9983   |  |  |
| BB06                               | 50631             | DE    | BB         | JA  | JA   | JA                                  | BB_Q_581591                 |                             |                             | 1,051                | 0,9555   |  |  |
| BB08                               | 60302             | DE    | BB         | JA  | NEIN                                       | NEIN                                | BB_Q_603000                 |                             |                             | 0,993                | 0,9753   |  |  |
| BB11                               | 50714             | DE    | BB         | JA  | JA   | JA                                  | BB_Q_5892209                |                             |                             | 1,021                | 0,9979   |  |  |
| BY01                               | 20483             | DE    | BY         | JA  | JA   | JA                                  | BY_Q_24064003               |                             |                             | 1,001                | 1,0600   |  |  |
| BY02                               | 20399             | DE    | BY         | JA  | NEIN                                       | NEIN                                | BY_Q_24300304               |                             |                             | 1,012                | 1,0600   |  |  |
| BY06                               | 20418             | DE    | BY         | JA  | JA   | JA                                  | BY_Q_24409003               |                             |                             | 0,999                | 1,0000   |  |  |
| BY08                               | 50367             | DE    | BY         | JA  | JA   | JA                                  | BY_Q_56001502               |                             |                             | 1,193                | 1,2300   |  |  |
| BY09                               | 10096             | DE    | BY         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | BY_Q_10035801               |                             |                             | 1,007                | 1,0000   |  |  |
| BY11                               | 10400             | DE    | BY         | JA  | JA   | JA                                  | BY_Q_10094006               |                             |                             | 0,997                | 1,0000   |  |  |
| BY151                              | 10175             | DE    | BY         | JA  | NEIN                                       | NEIN                                | BY_Q_13407902               |                             |                             | 1,000                | 1,0500   |  |  |
| BY16                               | 10214             | DE    | BY         | JA  | JA   | JA                                  | BY_Q_14008006               |                             |                             | 1,015                | 1,0000   |  |  |
| BY17                               | 10296             | DE    | BY         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | BY_Q_16008506               |                             |                             | 1,028                | 1,0000   |  |  |
| BY18                               | 10263             | DE    | BY         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | BY_Q_16607001               |                             |                             | 1,041                | 1,0000   |  |  |
| BY21                               | 10325             | DE    | BY         | JA  | JA   | JA                                  | BY_Q_18000403               |                             |                             | 1,010                | 1,0000   |  |  |

| Gütemessstellen Stickstoff (n=119) | Analyse-gebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=74) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=105) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=61) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Zugeordneter Abflusspegel 3 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 3 |
|------------------------------------|-------------------|-------|------------|---|--|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|--|--|--|
| BY24                               | 10164             | DE    | BY         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | BY_Q_10053009               |                             |                             | 1,004                | 1,0000   |  |  |
| BY27                               | 10382             | DE    | BY         | JA  | JA   | JA                                  | BY_Q_18005702               |                             |                             | 0,992                | 1,0000   |  |  |
| BY28                               | 10182             | DE    | BY         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | BY_Q_10056302               |                             |                             | 1,005                | 1,0000   |  |  |
| BY29                               | 10347             | DE    | BY         | JA  | JA   | JA                                  | BY_Q_18005000               |                             |                             | 0,994                | 1,0000   |  |  |
| BY30                               | 10125             | DE    | BY         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | BY_Q_12406008               |                             |                             | 1,044                | 1,0000   |  |  |
| BY34                               | 10245             | DE    | BY         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | BY_Q_10078000               |                             |                             | 1,003                | 1,0000   |  |  |
| BY39                               | 10285             | DE    | BY         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | BY_Q_16006500               |                             |                             | 1,035                | 1,1000   |  |  |
| BY40                               | 10086             | DE    | BY         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | BY_Q_11609000               |                             |                             | 1,002                | 1,0000   |  |  |
| BY41                               | 10155             | DE    | BY         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | BY_Q_13208000               |                             |                             | 1,440                | 1,0000   |  |  |
| BY42                               | 10353             | DE    | BY         | JA  | JA   | JA                                  | BY_Q_18454003               |                             |                             | 0,998                | 1,0000   |  |  |
| BY43                               | 10306             | DE    | BY         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | BY_Q_17207508               |                             |                             | 1,009                | 1,0000   |  |  |
| BY44                               | 10114             | DE    | BY         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | BY_Q_11809009               |                             |                             | 1,078                | 1,0000   |  |  |
| BY45                               | 10119             | DE    | BY         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | BY_Q_10039802               |                             |                             | 1,006                | 1,0000   |  |  |
| HE011                              | 20510             | DE    | HE         | JA  | JA   | JA                                  | BY_Q_24900108               |                             |                             | 1,002                | 1,0000   |  |  |
| HE02                               | 40082             | DE    | HE         | JA  | JA   | JA                                  | NI_Q_42900201               |                             |                             | 0,997                | 1,0000   |  |  |
| HE03                               | 40036             | DE    | HE         | JA  | JA   | JA                                  | NI_Q_41900206               |                             |                             | 0,997                | 1,0000   |  |  |
| HE05                               | 20507             | DE    | HE         | JA  | JA   | JA                                  | HE_Q_24870055               |                             |                             | 1,001                | 1,1500   |  |  |
| HE07                               | 20491             | DE    | HE         | JA  | JA   | JA                                  | HE_Q_24784259               |                             |                             | 1,000                | 1,0000   |  |  |
| HE08                               | 20279             | DE    | HE         | JA  | NEIN                                       | NEIN                                | HE_Q_23942300               |                             |                             | 0,998                | 1,0500   |  |  |
| HE09                               | 20576             | DE    | HE         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | HE_Q_25800200               |                             |                             | 1,006                | 1,0500   |  |  |
| HH03                               | 50845             | DE    | HH         | JA  | JA   | JA                                  | NI_Q_5930010                |                             |                             | 1,230                | 1,0250   |  |  |

| Gütemessstellen Stickstoff (n=119) | Analyse-gebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=74) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=105) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=61) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Zugeordneter Abflusspegel 3 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 3 |
|------------------------------------|-------------------|-------|------------|---|--|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|--|--|--|
| MV02                               | 50830             | DE    | MV         | JA  | JA   | JA                                  | MV_Q_59810                  | MV_Q_598310                 | MV_Q_59848                  | 1,102                | 1,2800   | 1,6900   | 1,1500   |
| MV03                               | 82037             | DE    | MV         | JA  | JA   | JA                                  | MV_Q_44022                  |                             |                             | 1,103                | 1,0000   |  |  |
| MV04                               | 60539             | DE    | MV         | JA  | JA   | JA                                  | MV_Q_48041                  |                             |                             | 1,001                | 1,2900   |  |  |
| MV06                               | 60575             | DE    | MV         | JA  | NEIN                                       | NEIN                                | MV_Q_49010                  |                             |                             | 1,007                | 1,0000   |  |  |
| MV07                               | 82017             | DE    | MV         | JA  | JA   | JA                                  | MV_Q_45061                  |                             |                             | 0,999                | 1,5034   |  |  |
| MV08                               | 82027             | DE    | MV         | JA  | JA   | JA                                  | MV_Q_44400                  |                             |                             | 0,988                | 1,0000   |  |  |
| MV09                               | 82034             | DE    | MV         | JA  | JA   | JA                                  | MV_Q_44290                  |                             |                             | 1,005                | 1,0000   |  |  |
| MV12                               | 82047             | DE    | MV         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | MV_Q_43411                  |                             |                             | 1,020                | 1,1000   |  |  |
| NI07                               | 40231             | DE    | NI         | JA  | NEIN                                       | NEIN                                | NI_Q_4813105                |                             |                             | 1,350                | 1,0000   |  |  |
| NI08                               | 40239             | DE    | NI         | JA  | JA   | JA                                  | NI_Q_4833101                |                             |                             | 1,084                | 1,0000   |  |  |
| NI11                               | 40192             | DE    | NI         | JA  | JA   | JA                                  | NI_Q_4885154                |                             |                             | 1,005                | 1,0000   |  |  |
| NI13                               | 40226             | DE    | NI         | JA  | JA   | JA                                  | NI_Q_4829102                |                             |                             | 1,050                | 1,0000   |  |  |
| NI14                               | 40326             | DE    | NI         | JA  | JA   | JA                                  | NI_Q_4965142                |                             |                             | 1,005                | 1,3680   |  |  |
| NI16                               | 20852             | DE    | NI         | JA  | JA   | JA                                  | NI_Q_9286162                |                             |                             | 1,165                | 1,0100   |  |  |
| NI17                               | 30067             | DE    | NI         | JA  | JA   | JA                                  | NI_Q_3691102                |                             |                             | 1,042                | 1,0000   |  |  |
| NI18                               | 50859             | DE    | NI         | JA  | JA   | JA                                  | NI_Q_5945125                |                             |                             | 1,120                | 1,0000   |  |  |
| NI20                               | 40163             | DE    | NI         | JA  | NEIN                                       | NEIN                                | NI_Q_4769112                |                             |                             | 1,049                | 1,0000   |  |  |
| NI21                               | 50807             | DE    | NI         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | NI_Q_5934140                |                             |                             | 1,022                | 1,4200   |  |  |
| NI34                               | 40201             | DE    | NI         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | NI_Q_4886175                |                             |                             | 0,998                | 1,2600   |  |  |
| NI37                               | 40321             | DE    | NI         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | NI_Q_4965116                |                             |                             | 1,481                | 1,0000   |  |  |
| NI39                               | 40334             | DE    | NI         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | NI_Q_4983103                |                             |                             | 1,207                | 3,0900   |  |  |

| Gütemessstellen Stickstoff (n=119) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=74) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=105) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=61) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Zugeordneter Abflusspegel 3 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 3 |
|------------------------------------|------------------|-------|------------|---|--|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|--|--|--|
| NW01                               | 20711            | DE    | NW         | JA  | JA   | JA                                  | NW_Q_2710080                |                             |                             | 1,000                | 0,9987   |  |  |
| NW03                               | 20735            | DE    | NW         | JA  | JA   | JA                                  | NW_Q_2729100000100          |                             |                             | 1,011                | 0,9976   |  |  |
| NW06                               | 20737            | DE    | NW         | JA  | JA   | JA                                  | NW_Q_2736790000200          |                             |                             | 1,004                | 0,9941   |  |  |
| NW07                               | 20752            | DE    | NW         | JA  | JA   | JA                                  | NW_Q_2747900000200          |                             |                             | 1,063                | 0,9873   |  |  |
| NW091                              | 20783            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | NW_Q_2769510000100          |                             |                             | 1,013                | 0,9301   |  |  |
| NW13                               | 20819            | DE    | NW         | JA  | JA   | JA                                  | NW_Q_2789770000100          |                             |                             | 1,001                | 0,9789   |  |  |
| NW162                              | 40139            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | NW_Q_47100100               |                             |                             | 0,999                | 0,9999   |  |  |
| NW17                               | 40138            | DE    | NW         | JA  | JA   | JA                                  | NW_Q_4670000000100          |                             |                             | 0,999                | 0,8989   |  |  |
| NW211                              | 20880            | DE    | NL         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | NW_Q_2829100000100          |                             |                             | 1,043                | 0,9442   |  |  |
| NW300                              | 20742            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | NW_Q_2750010                |                             |                             | 0,999                | 1,0102   |  |  |
| NW338                              | 20780            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | NW_Q_2768900000100          |                             |                             | 1,009                | 0,9995   |  |  |
| NW367                              | 30006            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | NW_Q_3132900000100          |                             |                             | 1,009                | 0,9716   |  |  |
| NW388                              | 20770            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | NW_Q_2765590000100          |                             |                             | 1,102                | 1,0594   |  |  |
| NW392                              | 20900            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | NW_Q_2869500000200          |                             |                             | 1,070                | 0,9430   |  |  |

| Gütemessstellen Stickstoff (n=119) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=74) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=105) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=61) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Zugeordneter Abflusspegel 3 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 3 |
|------------------------------------|------------------|-------|------------|---|--|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|--|--|--|
| NW395                              | 20795            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | NW_Q_2782900000200          |                             |                             | 0,998                | 0,9954   |  |  |
| NW396                              | 20803            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | NW_Q_2785790000300          |                             |                             | 1,034                | 0,9565   |  |  |
| NW397                              | 40129            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | NW_Q_4627100000200          |                             |                             | 1,175                | 0,9167   |  |  |
| NW399                              | 40137            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | NW_Q_4667100000100          |                             |                             | 1,000                | 0,6875   |  |  |
| NW400                              | 40100            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | HE_Q_44950055               |                             |                             | 1,012                | 1,6280   |  |  |
| NW401                              | 40112            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | NW_Q_4529500000100          |                             |                             | 1,033                | 0,9686   |  |  |
| NW402                              | 40117            | DE    | NW         | NEIN                                      | NEIN                                       | NEIN                                | NW_Q_4569300000100          |                             |                             | 1,175                | 0,9760   |  |  |
| NW403                              | 40156            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | NI_Q_4765103                |                             |                             | 1,003                | 1,4072   |  |  |
| RP01R                              | 20599            | DE    | RP         | JA  | JA   | JA                                  | RP_Q_25700100               |                             |                             | 0,998                | 1,0600   |  |  |
| RP02                               | 20512            | DE    | HE         | JA  | JA   | JA                                  | RP_Q_25100100               | BY_Q_24900108               |                             | 1,004                | 1,0000   | -1,0000  |  |
| RP03R                              | 20694            | DE    | RP         | JA  | JA   | JA                                  | RP_Q_26900400               |                             |                             | 1,004                | 1,0390   |  |  |
| RP05                               | 20669            | DE    | RP         | JA  | JA   | JA                                  | SL_Q_26400550               |                             |                             | 1,009                | 1,0580   |  |  |
| RP06                               | 20541            | DE    | RP         | JA  | JA   | JA                                  | RP_Q_25400804               |                             |                             | 1,014                | 1,0000   |  |  |
| RP07                               | 20621            | DE    | RP         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | RP_Q_26200505               |                             |                             | 1,015                | 1,3300   |  |  |
| RP08                               | 20688            | DE    | RP         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | RP_Q_26900400               |                             |                             | 1,009                | 0,9990   |  |  |
| RP09                               | 20598            | DE    | RP         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | RP_Q_25800600               |                             |                             | 1,002                | 1,1150   |  |  |

| Gütemessstellen Stickstoff (n=119) | Analyse-gebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=74) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=105) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=61) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Zugeordneter Abflusspegel 3 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 3 |
|------------------------------------|-------------------|-------|------------|---|--|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|--|--|--|
| RP10                               | 20274             | DE    | HE         | JA  | JA   | JA                                  | BW_Q_23900200               |                             |                             | 1,008                | 1,0000   |  |  |
| RP11                               | 20638             | DE    | SL         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | SL_Q_1373130                |                             |                             | 1,006                | 1,0000   |  |  |
| RP13                               | 20530             | DE    | RP         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | RP_Q_25460409               |                             |                             | 1,000                | 1,1220   |  |  |
| RP14                               | 20702             | DE    | RP         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | RP_Q_27160406               |                             |                             | 0,994                | 1,1160   |  |  |
| SH09                               | 50917             | DE    | SH         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | SH_Q_114117                 |                             |                             | 1,552                | 0,7000   |  |  |
| SL01                               | 20648             | DE    | SL         | JA  | JA   | JA                                  | SL_Q_264002200              |                             |                             | 1,107                | 0,9600   |  |  |
| SL02                               | 20668             | DE    | SL         | JA  | JA   | JA                                  | SL_Q_26400550               |                             |                             | 1,039                | 1,0000   |  |  |
| SL05                               | 20666             | DE    | SL         | JA  | JA   | JA                                  | SL_Q_1102220                |                             |                             | 1,026                | 1,0000   |  |  |
| SL06                               | 20646             | DE    | SL         | JA  | JA   | JA                                  | SL_Q_1062220                |                             |                             | 1,054                | 1,0000   |  |  |
| SN02                               | 50175             | DE    | BB         | JA  | NEIN                                       | NEIN                                | SN_Q_553020                 |                             |                             | 1,371                | 1,1700   |  |  |
| SN03                               | 50193             | DE    | BB         | JA  | JA   | JA                                  | SN_Q_554560                 |                             |                             | 1,043                | 1,1000   |  |  |
| SN04                               | 50119             | DE    | SN         | JA  | JA   | JA                                  | SN_Q_501010                 |                             |                             | 1,001                | 1,0000   |  |  |
| SN06                               | 50280             | DE    | SN         | JA  | JA   | JA                                  | SN_Q_566100                 |                             |                             | 1,917                | 0,9990   |  |  |
| SN07                               | 50279             | DE    | SN         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | SN_Q_562135                 |                             |                             | 0,997                | 1,0100   |  |  |
| SN08                               | 50284             | DE    | SN         | JA  | JA   | JA                                  | SN_Q_560051                 |                             |                             | 1,042                | 0,9990   |  |  |
| SN10                               | 60241             | PL    |            | JA  | JA   | JA                                  | SN_Q_660192                 |                             |                             | 0,999                | 1,2400   |  |  |
| SN11                               | 50147             | DE    | SN         | JA  | JA   | JA                                  | SN_Q_501060                 |                             |                             | 1,002                | 1,0160   |  |  |
| SN12                               | 50523             | DE    | SN         | JA  | JA   | JA                                  | SN_Q_582060                 |                             |                             | 1,034                | 1,0000   |  |  |
| SN13                               | 50528             | DE    | SN         | JA  | NEIN                                       | NEIN                                | SN_Q_583200                 |                             |                             | 0,998                | 1,0170   |  |  |
| SN14                               | 50261             | DE    | SN         | JA  | JA   | JA                                  | SN_Q_567470                 |                             |                             | 1,001                | 1,0500   |  |  |
| SN17                               | 50275             | DE    | SN         | JA  | JA   | JA                                  | SN_Q_562070                 |                             |                             | 1,081                | 1,0320   |  |  |
| SN18                               | 50265             | DE    | SN         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | SN_Q_564410                 |                             |                             | 1,002                | 1,0000   |  |  |

| Gütemessstellen Stickstoff (n=119) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=74) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=105) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=61) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Zugeordneter Abflusspegel 3 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1                                     | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 3 |
|------------------------------------|------------------|-------|------------|---|--|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|--|--|--|
| SN19                               | 50321            | DE    | SN         | JA  | JA   | JA                                  | SN_Q_577571                 |                             |                             | 1,058                | 1,0000   |  |  |
| ST02                               | 50492            | DE    | ST         | JA  | NEIN                                       | NEIN                                | ST_Q_502070                 |                             |                             | 1,004                | 1,0100   |  |  |
| ST03                               | 50230            | DE    | ST         | JA  | JA   | JA                                  | ST_Q_553060                 |                             |                             | 1,006                | 1,3180   |  |  |
| ST06                               | 50440            | DE    | ST         | JA  | JA   | JA                                  | ST_Q_570810                 |                             |                             | 1,006                | 1,0000   |  |  |
| ST07                               | 50482            | DE    | ST         | JA  | NEIN                                       | NEIN                                | ST_Q_570930                 |                             |                             | 0,986                | 1,0000   |  |  |
| ST08                               | 50430            | DE    | ST         | JA  | NEIN                                       | NEIN                                | ST_Q_573360                 |                             |                             | 1,010                | 1,0185   |  |  |
| ST09                               | 50353            | DE    | ST         | JA  | JA   | JA                                  | ST_Q_576900                 |                             |                             | 0,961                | + 0,09 m <sup>3</sup> /s (MNQ Reide)<br>bzw. + 0,288 m <sup>3</sup> /s (MQ Reide) je nach Bedarf |  |  |
| ST11                               | 50752            | DE    | ST         | NEIN                                      | JA   | NEIN                                | ST_Q_594050                 |                             |                             | 1,044                | 1,0000   |  |  |

## 10.4.2 Messstellen für Phosphor

| Gütemessstellen Phosphor (n=167) | Analyse-gebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=155) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=138) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=126) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Zugeordneter Abflusspegel 3 | Faktor Analyse-gebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 3 |
|----------------------------------|-------------------|-------|------------|--|--|--------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|--|--|--|
| BB01                             | 60293             | PL    |            | JA   | NEIN                                       | NEIN                                 | BB_Q_6602800                |                             |                             | 1,001                 | 0,9278   |  |  |
| BB04                             | 50534             | DE    | BB         | JA   | JA   | JA                                   | BB_Q_5821000                |                             |                             | 1,001                 | 0,9961   |  |  |
| BB05                             | 50570             | DE    | BB         | JA   | JA   | JA                                   | BB_Q_5827000                |                             |                             | 1,390                 | 0,9983   |  |  |
| BB06                             | 50631             | DE    | BB         | JA   | JA   | JA                                   | BB_Q_581591                 |                             |                             | 1,051                 | 0,9555   |  |  |
| BB08                             | 60302             | DE    | BB         | JA   | JA   | JA                                   | BB_Q_603000                 |                             |                             | 0,993                 | 0,9753   |  |  |
| BB11                             | 50714             | DE    | BB         | JA   | JA   | JA                                   | BB_Q_5892209                |                             |                             | 1,021                 | 0,9979   |  |  |
| BB15                             | 50653             | DE    | BB         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                 | BB_Q_5871500                |                             |                             | 0,998                 | 1,0000   |  |  |
| BB16                             | 50666             | DE    | BB         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                 | BB_Q_5873300                |                             |                             | 1,104                 | 0,9900   |  |  |
| BB18                             | 50203             | DE    | BB         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                 | BB_Q_5547100                |                             |                             | 0,996                 | 0,8900   |  |  |
| BB21                             | 60467             | DE    | BB         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                 | BB_Q_6950900                |                             |                             | 1,226                 | 0,9500   |  |  |
| BW01                             | 20044             | CH    |            | JA   | NEIN                                       | NEIN                                 | BW_Q_3329                   |                             |                             | 1,044                 | 1,0300   |  |  |
| BW041                            | 20118             | DE    | BW         | JA   | JA   | JA                                   | BW_Q_23700200               |                             |                             | 0,992                 | 1,0000   |  |  |
| BW05                             | 20167             | DE    | BW         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                 | RP_Q_23700600               |                             |                             | 1,000                 | 1,0300   |  |  |
| BW06                             | 20259             | DE    | BW         | JA   | JA   | JA                                   | BW_Q_23800690               |                             |                             | 0,998                 | 1,0900   |  |  |
| BW07                             | 20222             | DE    | BW         | JA   | JA   | JA                                   | BW_Q_23800500               |                             |                             | 0,997                 | 1,0500   |  |  |
| BW08                             | 20200             | DE    | BW         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                 | BW_Q_427                    |                             |                             | 1,005                 | 1,2400   |  |  |
| BW09                             | 20196             | DE    | BW         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                 | BW_Q_427                    |                             |                             | 0,996                 | 1,0000   |  |  |
| BW101                            | 20182             | DE    | BW         | JA   | JA   | JA                                   | BW_Q_420                    |                             |                             | 0,999                 | 1,0000   |  |  |
| BW11                             | 20176             | DE    | BW         | JA   | JA   | JA                                   | BW_Q_411                    |                             |                             | 1,014                 | 1,2500   |  |  |
| BW131                            | 10013             | DE    | BW         | JA   | JA   | JA                                   | BW_Q_120                    |                             |                             | 1,005                 | 1,0000   |  |  |
| BW15                             | 20023             | DE    | BW         | JA   | JA   | JA                                   | BW_Q_2360                   |                             |                             | 1,031                 | 1,0000   |  |  |

| Gütemessstellen Phosphor (n=167) | Analyse-gebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=155) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=138) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=126) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Zugeordneter Abflusspegel 3 | Faktor Analyse-gebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 3 |
|----------------------------------|-------------------|-------|------------|--|--|--------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|--|--|--|
| BW16                             | 20017             | DE    | BW         | JA   | JA   | JA                                   | BW_Q_2340                   |                             |                             | 1,057                 | 1,0000   |  |  |
| BW20                             | 10037             | DE    | BW         | JA   | JA   | JA                                   | BW_Q_125                    |                             |                             | 1,009                 | 1,3800   |  |  |
| BW21                             | 20036             | DE    | BW         | JA   | JA   | JA                                   | BW_Q_2341                   |                             |                             | 0,979                 | 1,0200   |  |  |
| BW24                             | 20099             | DE    | BW         | JA   | JA   | JA                                   | BW_Q_390                    |                             |                             | 0,985                 | 1,2000   |  |  |
| BW25                             | 20202             | DE    | BW         | JA   | JA   | JA                                   | BW_Q_23800500               |                             |                             | 1,000                 | 0,7400   |  |  |
| BW27                             | 20233             | DE    | BW         | JA   | JA   | JA                                   | BW_Q_3465                   |                             |                             | 1,001                 | 1,0100   |  |  |
| BW28                             | 20243             | DE    | BW         | JA   | JA   | JA                                   | BW_Q_3470                   |                             |                             | 1,002                 | 1,0100   |  |  |
| BW30                             | 20457             | DE    | BW         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                 | BW_Q_44602                  |                             |                             | 1,001                 | 1,1200   |  |  |
| BY01                             | 20483             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                   | BY_Q_24064003               |                             |                             | 1,001                 | 1,0600   |  |  |
| BY02                             | 20399             | DE    | BY         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                 | BY_Q_24300304               |                             |                             | 1,012                 | 1,0600   |  |  |
| BY03                             | 20387             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                   | BY_Q_24300202               |                             |                             | 1,025                 | 1,0000   |  |  |
| BY04                             | 20337             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                   | BY_Q_24010004               |                             |                             | 1,009                 | 1,0400   |  |  |
| BY06                             | 20418             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                   | BY_Q_24409003               |                             |                             | 0,999                 | 1,0000   |  |  |
| BY07                             | 20371             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                   | BY_Q_24201501               |                             |                             | 1,243                 | 1,2000   |  |  |
| BY08                             | 50367             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                   | BY_Q_56001502               |                             |                             | 1,193                 | 1,2300   |  |  |
| BY09                             | 10096             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                   | BY_Q_10035801               |                             |                             | 1,007                 | 1,0000   |  |  |
| BY11                             | 10400             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                   | BY_Q_10094006               |                             |                             | 0,997                 | 1,0000   |  |  |
| BY12                             | 10058             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                   | BY_Q_11405000               |                             |                             | 0,963                 | 1,0000   |  |  |
| BY151                            | 10175             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                   | BY_Q_13407902               |                             |                             | 1,000                 | 1,0500   |  |  |
| BY16                             | 10214             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                   | BY_Q_14008006               |                             |                             | 1,015                 | 1,0000   |  |  |
| BY17                             | 10296             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                   | BY_Q_16008506               |                             |                             | 1,028                 | 1,0000   |  |  |
| BY18                             | 10263             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                   | BY_Q_16607001               |                             |                             | 1,041                 | 1,0000   |  |  |

| Gütemessstellen Phosphor (n=167) | Analyse-gebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=155) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=138) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=126) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Zugeordneter Abflusspegel 3 | Faktor Analyse-gebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 3 |
|----------------------------------|-------------------|-------|------------|--|--|--------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|--|--|--|
| BY19                             | 10267             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                   | BY_Q_16404900               |                             |                             | 1,538                 | 1,0000   |  |  |
| BY20                             | 10385             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                   | BY_Q_18008008               |                             |                             | 0,994                 | 1,0000   |  |  |
| BY21                             | 10325             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                   | BY_Q_18000403               |                             |                             | 1,010                 | 1,0000   |  |  |
| BY24                             | 10164             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                   | BY_Q_10053009               |                             |                             | 1,004                 | 1,0000   |  |  |
| BY27                             | 10382             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                   | BY_Q_18005702               |                             |                             | 0,992                 | 1,0000   |  |  |
| BY28                             | 10182             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                   | BY_Q_10056302               |                             |                             | 1,005                 | 1,0000   |  |  |
| BY29                             | 10347             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                   | BY_Q_18005000               |                             |                             | 0,994                 | 1,0000   |  |  |
| BY30                             | 10125             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                   | BY_Q_12406008               |                             |                             | 1,044                 | 1,0000   |  |  |
| BY33                             | 10146             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                   | BY_Q_10046105               |                             |                             | 1,009                 | 1,0000   |  |  |
| BY34                             | 10245             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                   | BY_Q_10078000               |                             |                             | 1,003                 | 1,0000   |  |  |
| BY36                             | 10249             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                   | BY_Q_16613004               |                             |                             | 1,012                 | 1,1000   |  |  |
| BY37                             | 10395             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                   | BY_Q_17406005               |                             |                             | 1,114                 | 1,0000   |  |  |
| BY38                             | 10270             | DE    | BY         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                 | BY_Q_16000708               |                             |                             | 1,000                 | 0,7500   |  |  |
| BY39                             | 10285             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                   | BY_Q_16006500               |                             |                             | 1,035                 | 1,1000   |  |  |
| BY40                             | 10086             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                   | BY_Q_11609000               |                             |                             | 1,002                 | 1,0000   |  |  |
| BY41                             | 10155             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                   | BY_Q_13208000               |                             |                             | 1,440                 | 1,0000   |  |  |
| BY42                             | 10353             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                   | BY_Q_18454003               |                             |                             | 0,998                 | 1,0000   |  |  |
| BY43                             | 10306             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                   | BY_Q_17207508               |                             |                             | 1,009                 | 1,0000   |  |  |
| BY44                             | 10114             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                   | BY_Q_11809009               |                             |                             | 1,078                 | 1,0000   |  |  |
| BY45                             | 10119             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                   | BY_Q_10039802               |                             |                             | 1,006                 | 1,0000   |  |  |
| BY903                            | 20318             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                   | BY_Q_24143008               |                             |                             | 1,003                 | 1,4000   |  |  |
| BY904                            | 20348             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                   | BY_Q_24211200               |                             |                             | 1,049                 | 1,0000   |  |  |

| Gütemessstellen Phosphor (n=167) | Analyse-gebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=155) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=138) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=126) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Zugeordneter Abflusspegel 3 | Faktor Analyse-gebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 3 |
|----------------------------------|-------------------|-------|------------|--|--|--------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|--|--|--|
| BY905                            | 20355             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                   | BY_Q_24225000               |                             |                             | 1,035                 | 1,0000   |  |  |
| BY906                            | 20377             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                   | BY_Q_24263000               |                             |                             | 1,005                 | 1,0500   |  |  |
| HB01                             | 40276             | DE    | HB         | JA   | JA   | JA                                   | NI_Q_49100101               |                             |                             | 0,999                 | 1,0100   |  |  |
| HH03                             | 50845             | DE    | HH         | JA   | JA   | JA                                   | NI_Q_5930010                |                             |                             | 1,230                 | 1,0250   |  |  |
| MV02                             | 50830             | DE    | MV         | JA   | JA   | JA                                   | MV_Q_59810                  | MV_Q_598310                 | MV_Q_59848                  | 1,102                 | 1,2800   | 1,6900   | 1,1500   |
| MV03                             | 82037             | DE    | MV         | JA   | JA   | JA                                   | MV_Q_44022                  |                             |                             | 1,103                 | 1,0000   |  |  |
| MV04                             | 60539             | DE    | MV         | JA   | JA   | JA                                   | MV_Q_48041                  |                             |                             | 1,001                 | 1,2900   |  |  |
| MV06                             | 60575             | DE    | MV         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                 | MV_Q_49010                  |                             |                             | 1,007                 | 1,0000   |  |  |
| MV07                             | 82017             | DE    | MV         | JA   | JA   | JA                                   | MV_Q_45061                  |                             |                             | 0,999                 | 1,5034   |  |  |
| MV08                             | 82027             | DE    | MV         | JA   | JA   | JA                                   | MV_Q_44400                  |                             |                             | 0,988                 | 1,0000   |  |  |
| MV09                             | 82034             | DE    | MV         | JA   | JA   | JA                                   | MV_Q_44290                  |                             |                             | 1,005                 | 1,0000   |  |  |
| MV12                             | 82047             | DE    | MV         | JA   | JA   | JA                                   | MV_Q_43411                  |                             |                             | 1,020                 | 1,1000   |  |  |
| NI07                             | 40231             | DE    | NI         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                 | NI_Q_4813105                |                             |                             | 1,350                 | 1,0000   |  |  |
| NI08                             | 40239             | DE    | NI         | JA   | JA   | JA                                   | NI_Q_4833101                |                             |                             | 1,084                 | 1,0000   |  |  |
| NI11                             | 40192             | DE    | NI         | JA   | JA   | JA                                   | NI_Q_4885154                |                             |                             | 1,005                 | 1,0000   |  |  |
| NI13                             | 40226             | DE    | NI         | JA   | JA   | JA                                   | NI_Q_4829102                |                             |                             | 1,050                 | 1,0000   |  |  |
| NI14                             | 40326             | DE    | NI         | JA   | JA   | JA                                   | NI_Q_4965142                |                             |                             | 1,005                 | 1,3680   |  |  |
| NI16                             | 20852             | DE    | NI         | JA   | JA   | JA                                   | NI_Q_9286162                |                             |                             | 1,165                 | 1,0100   |  |  |
| NI17                             | 30067             | DE    | NI         | JA   | JA   | JA                                   | NI_Q_3691102                |                             |                             | 1,042                 | 1,0000   |  |  |
| NI18                             | 50859             | DE    | NI         | JA   | JA   | JA                                   | NI_Q_5945125                |                             |                             | 1,120                 | 1,0000   |  |  |
| NI20                             | 40163             | DE    | NI         | JA   | JA   | JA                                   | NI_Q_4769112                |                             |                             | 1,049                 | 1,0000   |  |  |

| Gütemessstellen Phosphor (n=167) | Analyse-gebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=155) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=138) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=126) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Zugeordneter Abflusspegel 3 | Faktor Analyse-gebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 3 |
|----------------------------------|-------------------|-------|------------|--|--|--------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|--|--|--|
| NI21                             | 50807             | DE    | NI         | JA   | JA   | JA                                   | NI_Q_5934140                |                             |                             | 1,022                 | 1,4200   |  |  |
| NI22                             | 50942             | DE    | NI         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                 | NI_Q_5983110                |                             |                             | 1,061                 | 2,4300   |  |  |
| NI29                             | 40167             | DE    | NI         | JA   | JA   | JA                                   | NI_Q_47900107               |                             |                             | 1,008                 | 1,0000   |  |  |
| NI31                             | 40250             | DE    | NI         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                 | NI_Q_4849104                |                             |                             | 1,060                 | 1,0000   |  |  |
| NI33                             | 40183             | DE    | NI         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                 | NI_Q_4882198                |                             |                             | 1,003                 | 1,0000   |  |  |
| NI34                             | 40201             | DE    | NI         | JA   | JA   | JA                                   | NI_Q_4886175                |                             |                             | 0,998                 | 1,2600   |  |  |
| NI37                             | 40321             | DE    | NI         | JA   | JA   | JA                                   | NI_Q_4965116                |                             |                             | 1,481                 | 1,0000   |  |  |
| NI39                             | 40334             | DE    | NI         | JA   | JA   | JA                                   | NI_Q_4983103                |                             |                             | 1,207                 | 3,0900   |  |  |
| NW01                             | 20711             | DE    | NW         | JA   | JA   | JA                                   | NW_Q_2710080                |                             |                             | 1,000                 | 0,9987   |  |  |
| NW03                             | 20735             | DE    | NW         | JA   | JA   | JA                                   | NW_Q_2729100000100          |                             |                             | 1,011                 | 0,9976   |  |  |
| NW06                             | 20737             | DE    | NW         | JA   | JA   | JA                                   | NW_Q_2736790000200          |                             |                             | 1,004                 | 0,9941   |  |  |
| NW07                             | 20752             | DE    | NW         | JA   | JA   | JA                                   | NW_Q_2747900000200          |                             |                             | 1,063                 | 0,9873   |  |  |
| NW091                            | 20783             | DE    | NW         | JA   | JA   | JA                                   | NW_Q_2769510000100          |                             |                             | 1,013                 | 0,9301   |  |  |
| NW13                             | 20819             | DE    | NW         | JA   | JA   | JA                                   | NW_Q_2789770000100          |                             |                             | 1,001                 | 0,9789   |  |  |
| NW162                            | 40139             | DE    | NW         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                 | NW_Q_47100100               |                             |                             | 0,999                 | 0,9999   |  |  |
| NW17                             | 40138             | DE    | NW         | JA   | JA   | JA                                   | NW_Q_4670000000100          |                             |                             | 0,999                 | 0,8989   |  |  |
| NW181                            | 30034             | DE    | NW         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                 | NW_Q_3390020                |                             |                             | 1,011                 | 0,9961   |  |  |

| Gütemessstellen Phosphor (n=167) | Analyse-gebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=155) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=138) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=126) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Zugeordneter Abflusspegel 3 | Faktor Analyse-gebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 3 |
|----------------------------------|-------------------|-------|------------|--|--|--------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|--|--|--|
| NW211                            | 20880             | DE    | NL         | JA   | JA   | JA                                   | NW_Q_2829100000100          |                             |                             | 1,043                 | 0,9442   |  |  |
| NW300                            | 20742             | DE    | NW         | JA   | JA   | JA                                   | NW_Q_2750010                |                             |                             | 0,999                 | 1,0102   |  |  |
| NW338                            | 20780             | DE    | NW         | JA   | JA   | JA                                   | NW_Q_2768900000100          |                             |                             | 1,009                 | 0,9995   |  |  |
| NW340                            | 20714             | DE    | NW         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                 | NW_Q_2721770000200          |                             |                             | 1,123                 | 1,0027   |  |  |
| NW341                            | 40064             | DE    | NW         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                 | NW_Q_4281591000100          |                             |                             | 1,112                 | 0,9896   |  |  |
| NW367                            | 30006             | DE    | NW         | JA   | JA   | JA                                   | NW_Q_3132900000100          |                             |                             | 1,009                 | 0,9716   |  |  |
| NW388                            | 20770             | DE    | NW         | JA   | JA   | JA                                   | NW_Q_2765590000100          |                             |                             | 1,102                 | 1,0594   |  |  |
| NW392                            | 20900             | DE    | NW         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                 | NW_Q_2869500000200          |                             |                             | 1,070                 | 0,9430   |  |  |
| NW395                            | 20795             | DE    | NW         | JA   | JA   | JA                                   | NW_Q_2782900000200          |                             |                             | 0,998                 | 0,9954   |  |  |
| NW396                            | 20803             | DE    | NW         | JA   | JA   | JA                                   | NW_Q_2785790000300          |                             |                             | 1,034                 | 0,9565   |  |  |
| NW397                            | 40129             | DE    | NW         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                 | NW_Q_4627100000200          |                             |                             | 1,175                 | 0,9167   |  |  |
| NW398                            | 40134             | DE    | NW         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                 | NW_Q_4647000000100          |                             |                             | 1,001                 | 0,8117   |  |  |
| NW399                            | 40137             | DE    | NW         | JA   | JA   | JA                                   | NW_Q_4667100000100          |                             |                             | 1,000                 | 0,6875   |  |  |

| Gütemessstellen Phosphor (n=167) | Analyse-gebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=155) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=138) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=126) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Zugeordneter Abflusspegel 3 | Faktor Analyse-gebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 3 |
|----------------------------------|-------------------|-------|------------|--|--|--------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|--|--|--|
| NW400                            | 40100             | DE    | NW         | JA   | JA   | JA                                   | HE_Q_44950055               |                             |                             | 1,012                 | 1,6280   |  |  |
| NW401                            | 40112             | DE    | NW         | JA   | JA   | JA                                   | NW_Q_4529500000100          |                             |                             | 1,033                 | 0,9686   |  |  |
| NW402                            | 40117             | DE    | NW         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                 | NW_Q_4569300000100          |                             |                             | 1,175                 | 0,9760   |  |  |
| NW403                            | 40156             | DE    | NW         | JA   | JA   | JA                                   | NI_Q_4765103                |                             |                             | 1,003                 | 1,4072   |  |  |
| NW404                            | 20838             | DE    | NW         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                 | NW_Q_9286190000100          |                             |                             | 0,984                 | 0,9709   |  |  |
| NW405                            | 20837             | DE    | NW         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                 | NW_Q_9286291000300          |                             |                             | 1,005                 | 0,8557   |  |  |
| NW406                            | 30013             | DE    | NW         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                 | NW_Q_3171000000100          |                             |                             | 1,097                 | 1,0041   |  |  |
| RP01R                            | 20599             | DE    | RP         | JA   | JA   | JA                                   | RP_Q_25700100               |                             |                             | 0,998                 | 1,0600   |  |  |
| RP02                             | 20512             | DE    | HE         | JA   | JA   | JA                                   | RP_Q_25100100               | BY_Q_24900108               |                             | 1,004                 | 1,0000   | -1,0000  |  |
| RP03R                            | 20694             | DE    | RP         | JA   | JA   | JA                                   | RP_Q_26900400               |                             |                             | 1,004                 | 1,0390   |  |  |
| RP05                             | 20669             | DE    | RP         | JA   | JA   | JA                                   | SL_Q_26400550               |                             |                             | 1,009                 | 1,0580   |  |  |
| RP06                             | 20541             | DE    | RP         | JA   | JA   | JA                                   | RP_Q_25400804               |                             |                             | 1,014                 | 1,0000   |  |  |
| RP07                             | 20621             | DE    | RP         | JA   | JA   | JA                                   | RP_Q_26200505               |                             |                             | 1,015                 | 1,3300   |  |  |
| RP08                             | 20688             | DE    | RP         | JA   | JA   | JA                                   | RP_Q_26900400               |                             |                             | 1,009                 | 0,9990   |  |  |
| RP09                             | 20598             | DE    | RP         | JA   | JA   | JA                                   | RP_Q_25800600               |                             |                             | 1,002                 | 1,1150   |  |  |
| RP10                             | 20274             | DE    | HE         | JA   | JA   | JA                                   | BW_Q_23900200               |                             |                             | 1,008                 | 1,0000   |  |  |
| RP11                             | 20638             | DE    | SL         | JA   | JA   | JA                                   | SL_Q_1373130                |                             |                             | 1,006                 | 1,0000   |  |  |

| Gütemessstellen Phosphor (n=167) | Analyse-gebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=155) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=138) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=126) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Zugeordneter Abflusspegel 3 | Faktor Analyse-gebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 3 |
|----------------------------------|-------------------|-------|------------|--|--|--------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|--|--|--|
| RP13                             | 20530             | DE    | RP         | JA   | JA   | JA                                   | RP_Q_25460409               |                             |                             | 1,000                 | 1,1220   |  |  |
| RP14                             | 20702             | DE    | RP         | JA   | JA   | JA                                   | RP_Q_27160406               |                             |                             | 0,994                 | 1,1160   |  |  |
| SH09                             | 50917             | DE    | SH         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                 | SH_Q_114117                 |                             |                             | 1,552                 | 0,7000   |  |  |
| SL01                             | 20648             | DE    | SL         | JA   | JA   | JA                                   | SL_Q_264002200              |                             |                             | 1,107                 | 0,9600   |  |  |
| SL02                             | 20668             | DE    | SL         | JA   | JA   | JA                                   | SL_Q_26400550               |                             |                             | 1,039                 | 1,0000   |  |  |
| SL05                             | 20666             | DE    | SL         | JA   | JA   | JA                                   | SL_Q_1102220                |                             |                             | 1,026                 | 1,0000   |  |  |
| SL06                             | 20646             | DE    | SL         | JA   | JA   | JA                                   | SL_Q_1062220                |                             |                             | 1,054                 | 1,0000   |  |  |
| SN02                             | 50175             | DE    | BB         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                 | SN_Q_553020                 |                             |                             | 1,371                 | 1,1700   |  |  |
| SN03                             | 50193             | DE    | BB         | JA   | JA   | JA                                   | SN_Q_554560                 |                             |                             | 1,043                 | 1,1000   |  |  |
| SN04                             | 50119             | DE    | SN         | JA   | JA   | JA                                   | SN_Q_501010                 |                             |                             | 1,001                 | 1,0000   |  |  |
| SN06                             | 50280             | DE    | SN         | JA   | JA   | JA                                   | SN_Q_566100                 |                             |                             | 1,917                 | 0,9990   |  |  |
| SN07                             | 50279             | DE    | SN         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                 | SN_Q_562135                 |                             |                             | 0,997                 | 1,0100   |  |  |
| SN08                             | 50284             | DE    | SN         | JA   | JA   | JA                                   | SN_Q_560051                 |                             |                             | 1,042                 | 0,9990   |  |  |
| SN10                             | 60241             | PL    |            | JA   | JA   | JA                                   | SN_Q_660192                 |                             |                             | 0,999                 | 1,2400   |  |  |
| SN11                             | 50147             | DE    | SN         | JA   | JA   | JA                                   | SN_Q_501060                 |                             |                             | 1,002                 | 1,0160   |  |  |
| SN12                             | 50523             | DE    | SN         | JA   | JA   | JA                                   | SN_Q_582060                 |                             |                             | 1,034                 | 1,0000   |  |  |
| SN13                             | 50528             | DE    | SN         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                 | SN_Q_583200                 |                             |                             | 0,998                 | 1,0170   |  |  |
| SN14                             | 50261             | DE    | SN         | JA   | JA   | JA                                   | SN_Q_567470                 |                             |                             | 1,001                 | 1,0500   |  |  |
| SN17                             | 50275             | DE    | SN         | JA   | JA   | JA                                   | SN_Q_562070                 |                             |                             | 1,081                 | 1,0320   |  |  |
| SN18                             | 50265             | DE    | SN         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                 | SN_Q_564410                 |                             |                             | 1,002                 | 1,0000   |  |  |
| SN19                             | 50321             | DE    | SN         | JA   | JA   | JA                                   | SN_Q_577571                 |                             |                             | 1,058                 | 1,0000   |  |  |
| ST02                             | 50492             | DE    | ST         | JA   | JA   | JA                                   | ST_Q_502070                 |                             |                             | 1,004                 | 1,0100   |  |  |

| Gütemessstellen Phosphor (n=167) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=155) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=138) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=126) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Zugeordneter Abflusspegel 3 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1                                  | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 3 |
|----------------------------------|------------------|-------|------------|--|--|--------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|---|--|--|
| ST03                             | 50230            | DE    | ST         | JA   | JA   | JA                                   | ST_Q_553060                 |                             |                             | 1,006                | 1,3180  |  |  |
| ST06                             | 50440            | DE    | ST         | JA   | JA   | JA                                   | ST_Q_570810                 |                             |                             | 1,006                | 1,0000  |  |  |
| ST07                             | 50482            | DE    | ST         | JA   | JA   | JA                                   | ST_Q_570930                 |                             |                             | 0,986                | 1,0000  |  |  |
| ST08                             | 50430            | DE    | ST         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                 | ST_Q_573360                 |                             |                             | 1,010                | 1,0185  |  |  |
| ST09                             | 50353            | DE    | ST         | JA   | JA   | JA                                   | ST_Q_576900                 |                             |                             | 0,961                | + 0,09 m <sup>3</sup> /s (MNQ Reide) bzw. + 0,288 m <sup>3</sup> /s (MQ Reide) je nach Bedarf |  |  |
| ST11                             | 50752            | DE    | ST         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                 | ST_Q_594050                 |                             |                             | 1,044                | 1,0000  |  |  |
| TH02                             | 40022            | DE    | TH         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                 | TH_Q_420170                 |                             |                             | 1,063                | 1,0000  |  |  |
| TH06                             | 50387            | DE    | TH         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                 | TH_Q_570330                 |                             |                             | 1,006                | 1,0000  |  |  |
| TH07                             | 50339            | DE    | TH         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                 | TH_Q_576520                 |                             |                             | 1,068                | 1,0000  |  |  |
| TH09                             | 50411            | DE    | TH         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                 | TH_Q_573110                 |                             |                             | 1,062                | 1,0000  |  |  |
| TH10                             | 40010            | DE    | TH         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                 | TH_Q_420020                 |                             |                             | 1,263                | 1,0000  |  |  |
| TH11                             | 50382            | DE    | TH         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                 | TH_Q_570270                 |                             |                             | 1,102                | 1,0000  |  |  |

### 10.4.3 Messstellen für Cadmium

| Gütemessstellen Cadmium (n=116) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=72) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=91) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=48) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 |
|---------------------------------|------------------|-------|------------|---|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|--|--|
| BB01                            | 60293            | PL    |            | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BB_Q_6602800                |                             | 1,001                | 0,9278   |  |
| BB04                            | 50534            | DE    | BB         | JA  | JA  | JA                                  | BB_Q_5821000                |                             | 1,001                | 0,9961   |  |
| BB05                            | 50570            | DE    | BB         | JA  | JA  | JA                                  | BB_Q_5827000                |                             | 1,390                | 0,9983   |  |
| BB06                            | 50631            | DE    | BB         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BB_Q_581591                 |                             | 1,051                | 0,9555   |  |
| BB08                            | 60302            | DE    | BB         | JA  | JA  | JA                                  | BB_Q_603000                 |                             | 0,993                | 0,9753   |  |
| BB11                            | 50714            | DE    | BB         | JA  | JA  | JA                                  | BB_Q_5892209                |                             | 1,021                | 0,9979   |  |
| BB15                            | 50653            | DE    | BB         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BB_Q_5871500                |                             | 0,998                | 1,0000   |  |
| BW01                            | 20044            | CH    |            | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_3329                   |                             | 1,044                | 1,0300   |  |
| BW041                           | 20118            | DE    | BW         | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_23700200               |                             | 0,992                | 1,0000   |  |
| BW05                            | 20167            | DE    | BW         | JA  | JA  | JA                                  | RP_Q_23700600               |                             | 1,000                | 1,0300   |  |
| BW06                            | 20259            | DE    | BW         | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_23800690               |                             | 0,998                | 1,0900   |  |
| BW07                            | 20222            | DE    | BW         | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_23800500               |                             | 0,997                | 1,0500   |  |
| BW08                            | 20200            | DE    | BW         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BW_Q_427                    |                             | 1,005                | 1,2400   |  |
| BW09                            | 20196            | DE    | BW         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BW_Q_427                    |                             | 0,996                | 1,0000   |  |
| BW101                           | 20182            | DE    | BW         | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_420                    |                             | 0,999                | 1,0000   |  |
| BW131                           | 10013            | DE    | BW         | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_120                    |                             | 1,005                | 1,0000   |  |
| BW20                            | 10037            | DE    | BW         | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_125                    |                             | 1,009                | 1,3800   |  |
| BW21                            | 20036            | DE    | BW         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BW_Q_2341                   |                             | 0,979                | 1,0200   |  |
| BW24                            | 20099            | DE    | BW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BW_Q_390                    |                             | 0,985                | 1,2000   |  |
| BW25                            | 20202            | DE    | BW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BW_Q_23800500               |                             | 1,000                | 0,7400   |  |
| BW27                            | 20233            | DE    | BW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BW_Q_3465                   |                             | 1,001                | 1,0100   |  |
| BW28                            | 20243            | DE    | BW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BW_Q_3470                   |                             | 1,002                | 1,0100   |  |

| Gütemessstellen Cadmium (n=116) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=72) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=91) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=48) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 |
|---------------------------------|------------------|-------|------------|---|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|--|--|
| BW30                            | 20457            | DE    | BW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BW_Q_44602                  |                             | 1,001                | 1,1200   |  |
| BY01                            | 20483            | DE    | BY         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BY_Q_24064003               |                             | 1,001                | 1,0600   |  |
| BY02                            | 20399            | DE    | BY         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BY_Q_24300304               |                             | 1,012                | 1,0600   |  |
| BY04                            | 20337            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_24010004               |                             | 1,009                | 1,0400   |  |
| BY07                            | 20371            | DE    | BY         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BY_Q_24201501               |                             | 1,243                | 1,2000   |  |
| BY08                            | 50367            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_56001502               |                             | 1,193                | 1,2300   |  |
| BY09                            | 10096            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_10035801               |                             | 1,007                | 1,0000   |  |
| BY11                            | 10400            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_10094006               |                             | 0,997                | 1,0000   |  |
| BY151                           | 10175            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_13407902               |                             | 1,000                | 1,0500   |  |
| BY16                            | 10214            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_14008006               |                             | 1,015                | 1,0000   |  |
| BY17                            | 10296            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_16008506               |                             | 1,028                | 1,0000   |  |
| BY20                            | 10385            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_18008008               |                             | 0,994                | 1,0000   |  |
| BY21                            | 10325            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_18000403               |                             | 1,010                | 1,0000   |  |
| BY27                            | 10382            | DE    | BY         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BY_Q_18005702               |                             | 0,992                | 1,0000   |  |
| BY40                            | 10086            | DE    | BY         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BY_Q_11609000               |                             | 1,002                | 1,0000   |  |
| BY41                            | 10155            | DE    | BY         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BY_Q_13208000               |                             | 1,440                | 1,0000   |  |
| BY43                            | 10306            | DE    | BY         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BY_Q_17207508               |                             | 1,009                | 1,0000   |  |
| HE011                           | 20510            | DE    | HE         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BY_Q_24900108               |                             | 1,002                | 1,0000   |  |
| HE02                            | 40082            | DE    | HE         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | NI_Q_42900201               |                             | 0,997                | 1,0000   |  |
| HE03                            | 40036            | DE    | HE         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | NI_Q_41900206               |                             | 0,997                | 1,0000   |  |
| HE05                            | 20507            | DE    | HE         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | HE_Q_24870055               |                             | 1,001                | 1,1500   |  |
| HE07                            | 20491            | DE    | HE         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | HE_Q_24784259               |                             | 1,000                | 1,0000   |  |
| HE08                            | 20279            | DE    | HE         | JA  | JA  | JA                                  | HE_Q_23942300               |                             | 0,998                | 1,0500   |  |
| HE10                            | 40054            | DE    | HE         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | HE_Q_42700100               |                             | 1,083                | 1,0000   |  |

| Gütemessstellen Cadmium (n=116) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=72) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=91) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=48) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 |
|---------------------------------|------------------|-------|------------|---|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|--|--|
| HE12                            | 40074            | DE    | HE         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | HE_Q_42800502               |                             | 1,147                | 1,0000   |  |
| HE13                            | 40109            | DE    | HE         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | HE_Q_44950055               |                             | 1,000                | 1,0000   |  |
| HH03                            | 50845            | DE    | HH         | JA  | JA  | JA                                  | NI_Q_5930010                |                             | 1,230                | 1,0250   |  |
| NI07                            | 40231            | DE    | NI         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | NI_Q_4813105                |                             | 1,350                | 1,0000   |  |
| NI08                            | 40239            | DE    | NI         | JA  | JA  | JA                                  | NI_Q_4833101                |                             | 1,084                | 1,0000   |  |
| NI11                            | 40192            | DE    | NI         | JA  | JA  | JA                                  | NI_Q_4885154                |                             | 1,005                | 1,0000   |  |
| NI13                            | 40226            | DE    | NI         | JA  | JA  | JA                                  | NI_Q_4829102                |                             | 1,050                | 1,0000   |  |
| NI14                            | 40326            | DE    | NI         | JA  | JA  | JA                                  | NI_Q_4965142                |                             | 1,005                | 1,3680   |  |
| NI16                            | 20852            | DE    | NI         | JA  | JA  | JA                                  | NI_Q_9286162                |                             | 1,165                | 1,0100   |  |
| NI17                            | 30067            | DE    | NI         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | NI_Q_3691102                |                             | 1,042                | 1,0000   |  |
| NI18                            | 50859            | DE    | NI         | JA  | JA  | JA                                  | NI_Q_5945125                |                             | 1,120                | 1,0000   |  |
| NI37                            | 40321            | DE    | NI         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NI_Q_4965116                |                             | 1,481                | 1,0000   |  |
| NW01                            | 20711            | DE    | NW         | JA  | JA  | JA                                  | NW_Q_2710080                |                             | 1,000                | 0,9987   |  |
| NW03                            | 20735            | DE    | NW         | JA  | JA  | JA                                  | NW_Q_272910000100           |                             | 1,011                | 0,9976   |  |
| NW041                           | 20725            | DE    | NW         | NEIN                                      | NEIN                                      | NEIN                                | NW_Q_2725910000100          |                             | 1,217                | 1,1619   |  |
| NW06                            | 20737            | DE    | NW         | JA  | JA  | JA                                  | NW_Q_2736790000200          |                             | 1,004                | 0,9941   |  |
| NW07                            | 20752            | DE    | NW         | JA  | JA  | JA                                  | NW_Q_2747900000200          |                             | 1,063                | 0,9873   |  |
| NW091                           | 20783            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_2769510000100          |                             | 1,013                | 0,9301   |  |
| NW13                            | 20819            | DE    | NW         | JA  | JA  | JA                                  | NW_Q_2789770000100          |                             | 1,001                | 0,9789   |  |

| Gütemessstellen Cadmium (n=116) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=72) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=91) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=48) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 |
|---------------------------------|------------------|-------|------------|---|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|--|--|
| NW162                           | 40139            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_47100100               |                             | 0,999                | 0,9999   |  |
| NW17                            | 40138            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_467000000100           |                             | 0,999                | 0,8989   |  |
| NW181                           | 30034            | DE    | NW         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | NW_Q_3390020                |                             | 1,011                | 0,9961   |  |
| NW211                           | 20880            | DE    | NL         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_2829100000100          |                             | 1,043                | 0,9442   |  |
| NW300                           | 20742            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_2750010                |                             | 0,999                | 1,0102   |  |
| NW338                           | 20780            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_2768900000100          |                             | 1,009                | 0,9995   |  |
| NW388                           | 20770            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_2765590000100          |                             | 1,102                | 1,0594   |  |
| NW392                           | 20900            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_2869500000200          |                             | 1,070                | 0,9430   |  |
| NW395                           | 20795            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_2782900000200          |                             | 0,998                | 0,9954   |  |
| NW397                           | 40129            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_4627100000200          |                             | 1,175                | 0,9167   |  |
| NW399                           | 40137            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_4667100000100          |                             | 1,000                | 0,6875   |  |
| NW400                           | 40100            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | HE_Q_44950055               |                             | 1,012                | 1,6280   |  |
| NW401                           | 40112            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_4529500000100          |                             | 1,033                | 0,9686   |  |
| NW403                           | 40156            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NI_Q_4765103                |                             | 1,003                | 1,4072   |  |
| RP01R                           | 20599            | DE    | RP         | JA  | JA  | JA                                  | RP_Q_25700100               |                             | 0,998                | 1,0600   |  |
| RP02                            | 20512            | DE    | HE         | JA  | JA  | JA                                  | RP_Q_25100100               | BY_Q_24900108               | 1,004                | 1,0000   | -1,0000  |
| RP03R                           | 20694            | DE    | RP         | JA  | JA  | JA                                  | RP_Q_26900400               |                             | 1,004                | 1,0390   |  |

| Gütemessstellen Cadmium (n=116) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=72) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=91) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=48) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 |
|---------------------------------|------------------|-------|------------|---|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|--|--|
| RP05                            | 20669            | DE    | RP         | JA  | JA  | JA                                  | SL_Q_26400550               |                             | 1,009                | 1,0580   |  |
| RP06                            | 20541            | DE    | RP         | JA  | JA  | JA                                  | RP_Q_25400804               |                             | 1,014                | 1,0000   |  |
| RP07                            | 20621            | DE    | RP         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | RP_Q_26200505               |                             | 1,015                | 1,3300   |  |
| RP08                            | 20688            | DE    | RP         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | RP_Q_26900400               |                             | 1,009                | 0,9990   |  |
| RP09                            | 20598            | DE    | RP         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | RP_Q_25800600               |                             | 1,002                | 1,1150   |  |
| RP13                            | 20530            | DE    | RP         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | RP_Q_25460409               |                             | 1,000                | 1,1220   |  |
| RP14                            | 20702            | DE    | RP         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | RP_Q_27160406               |                             | 0,994                | 1,1160   |  |
| SL01                            | 20648            | DE    | SL         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | SL_Q_264002200              |                             | 1,107                | 0,9600   |  |
| SL02                            | 20668            | DE    | SL         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | SL_Q_26400550               |                             | 1,039                | 1,0000   |  |
| SL05                            | 20666            | DE    | SL         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | SL_Q_1102220                |                             | 1,026                | 1,0000   |  |
| SL06                            | 20646            | DE    | SL         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | SL_Q_1062220                |                             | 1,054                | 1,0000   |  |
| SN02                            | 50175            | DE    | BB         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | SN_Q_553020                 |                             | 1,371                | 1,1700   |  |
| SN03                            | 50193            | DE    | BB         | JA  | JA  | JA                                  | SN_Q_554560                 |                             | 1,043                | 1,1000   |  |
| SN04                            | 50119            | DE    | SN         | JA  | JA  | JA                                  | SN_Q_501010                 |                             | 1,001                | 1,0000   |  |
| SN06                            | 50280            | DE    | SN         | JA  | JA  | JA                                  | SN_Q_566100                 |                             | 1,917                | 0,9990   |  |
| SN07                            | 50279            | DE    | SN         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | SN_Q_562135                 |                             | 0,997                | 1,0100   |  |
| SN08                            | 50284            | DE    | SN         | JA  | JA  | JA                                  | SN_Q_560051                 |                             | 1,042                | 0,9990   |  |
| SN10                            | 60241            | PL    |            | JA  | JA  | JA                                  | SN_Q_660192                 |                             | 0,999                | 1,2400   |  |
| SN11                            | 50147            | DE    | SN         | JA  | JA  | JA                                  | SN_Q_501060                 |                             | 1,002                | 1,0160   |  |
| SN14                            | 50261            | DE    | SN         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | SN_Q_567470                 |                             | 1,001                | 1,0500   |  |
| SN17                            | 50275            | DE    | SN         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | SN_Q_562070                 |                             | 1,081                | 1,0320   |  |
| SN18                            | 50265            | DE    | SN         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | SN_Q_564410                 |                             | 1,002                | 1,0000   |  |
| SN19                            | 50321            | DE    | SN         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | SN_Q_577571                 |                             | 1,058                | 1,0000   |  |
| ST02                            | 50492            | DE    | ST         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | ST_Q_502070                 |                             | 1,004                | 1,0100   |  |

| Gütemessstellen Cadmium (n=116) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=72) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=91) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=48) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1                                  | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 |
|---------------------------------|------------------|-------|------------|---|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|---|--|
| ST03                            | 50230            | DE    | ST         | JA  | JA  | JA                                  | ST_Q_553060                 |                             | 1,006                | 1,3180  |  |
| ST06                            | 50440            | DE    | ST         | JA  | JA  | JA                                  | ST_Q_570810                 |                             | 1,006                | 1,0000  |  |
| ST07                            | 50482            | DE    | ST         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | ST_Q_570930                 |                             | 0,986                | 1,0000  |  |
| ST08                            | 50430            | DE    | ST         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | ST_Q_573360                 |                             | 1,010                | 1,0185  |  |
| ST09                            | 50353            | DE    | ST         | JA  | JA  | JA                                  | ST_Q_576900                 |                             | 0,961                | + 0,09 m <sup>3</sup> /s (MNQ Reide) bzw. + 0,288 m <sup>3</sup> /s (MQ Reide) je nach Bedarf |  |
| TH02                            | 40022            | DE    | TH         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | TH_Q_420170                 |                             | 1,063                | 1,0000  |  |
| TH06                            | 50387            | DE    | TH         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | TH_Q_570330                 |                             | 1,006                | 1,0000  |  |
| TH07                            | 50339            | DE    | TH         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | TH_Q_576520                 |                             | 1,068                | 1,0000  |  |
| TH10                            | 40010            | DE    | TH         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | TH_Q_420020                 |                             | 1,263                | 1,0000  |  |
| TH11                            | 50382            | DE    | TH         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | TH_Q_570270                 |                             | 1,102                | 1,0000  |  |

#### 10.4.4 Messstellen für Chrom

| Gütemessstellen Chrom (n=114) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=71) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=67) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=46) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 |
|-------------------------------|------------------|-------|------------|---|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|--|--|
| BB01                          | 60293            | PL    |            | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BB_Q_6602800                |                             | 1,001                | 0,9278   |  |
| BB04                          | 50534            | DE    | BB         | JA  | JA  | JA                                  | BB_Q_5821000                |                             | 1,001                | 0,9961   |  |
| BB05                          | 50570            | DE    | BB         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BB_Q_5827000                |                             | 1,390                | 0,9983   |  |

| Gütemessstellen Chrom (n=114) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=71) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=67) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=46) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 |
|-------------------------------|------------------|-------|------------|---|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|--|--|
| BB06                          | 50631            | DE    | BB         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BB_Q_581591                 |                             | 1,051                | 0,9555   |  |
| BB08                          | 60302            | DE    | BB         | JA  | JA  | JA                                  | BB_Q_603000                 |                             | 0,993                | 0,9753   |  |
| BB11                          | 50714            | DE    | BB         | JA  | JA  | JA                                  | BB_Q_5892209                |                             | 1,021                | 0,9979   |  |
| BB15                          | 50653            | DE    | BB         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BB_Q_5871500                |                             | 0,998                | 1,0000   |  |
| BW01                          | 20044            | CH    |            | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_3329                   |                             | 1,044                | 1,0300   |  |
| BW041                         | 20118            | DE    | BW         | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_23700200               |                             | 0,992                | 1,0000   |  |
| BW05                          | 20167            | DE    | BW         | JA  | JA  | JA                                  | RP_Q_23700600               |                             | 1,000                | 1,0300   |  |
| BW06                          | 20259            | DE    | BW         | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_23800690               |                             | 0,998                | 1,0900   |  |
| BW07                          | 20222            | DE    | BW         | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_23800500               |                             | 0,997                | 1,0500   |  |
| BW08                          | 20200            | DE    | BW         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BW_Q_427                    |                             | 1,005                | 1,2400   |  |
| BW09                          | 20196            | DE    | BW         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BW_Q_427                    |                             | 0,996                | 1,0000   |  |
| BW101                         | 20182            | DE    | BW         | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_420                    |                             | 0,999                | 1,0000   |  |
| BW131                         | 10013            | DE    | BW         | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_120                    |                             | 1,005                | 1,0000   |  |
| BW20                          | 10037            | DE    | BW         | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_125                    |                             | 1,009                | 1,3800   |  |
| BW21                          | 20036            | DE    | BW         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BW_Q_2341                   |                             | 0,979                | 1,0200   |  |
| BW24                          | 20099            | DE    | BW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BW_Q_390                    |                             | 0,985                | 1,2000   |  |
| BW25                          | 20202            | DE    | BW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BW_Q_23800500               |                             | 1,000                | 0,7400   |  |
| BW27                          | 20233            | DE    | BW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BW_Q_3465                   |                             | 1,001                | 1,0100   |  |
| BW28                          | 20243            | DE    | BW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BW_Q_3470                   |                             | 1,002                | 1,0100   |  |
| BW30                          | 20457            | DE    | BW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BW_Q_44602                  |                             | 1,001                | 1,1200   |  |
| BY01                          | 20483            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_24064003               |                             | 1,001                | 1,0600   |  |
| BY02                          | 20399            | DE    | BY         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BY_Q_24300304               |                             | 1,012                | 1,0600   |  |
| BY04                          | 20337            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_24010004               |                             | 1,009                | 1,0400   |  |
| BY07                          | 20371            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_24201501               |                             | 1,243                | 1,2000   |  |

| Gütemessstellen Chrom (n=114) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=71) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=67) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=46) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 |
|-------------------------------|------------------|-------|------------|---|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|--|--|
| BY08                          | 50367            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_56001502               |                             | 1,193                | 1,2300   |  |
| BY09                          | 10096            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_10035801               |                             | 1,007                | 1,0000   |  |
| BY11                          | 10400            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_10094006               |                             | 0,997                | 1,0000   |  |
| BY151                         | 10175            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_13407902               |                             | 1,000                | 1,0500   |  |
| BY16                          | 10214            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_14008006               |                             | 1,015                | 1,0000   |  |
| BY17                          | 10296            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_16008506               |                             | 1,028                | 1,0000   |  |
| BY18                          | 10263            | DE    | BY         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BY_Q_16607001               |                             | 1,041                | 1,0000   |  |
| BY19                          | 10267            | DE    | BY         | NEIN                                      | NEIN                                      | NEIN                                | BY_Q_16404900               |                             | 1,538                | 1,0000   |  |
| BY20                          | 10385            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_18008008               |                             | 0,994                | 1,0000   |  |
| BY21                          | 10325            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_18000403               |                             | 1,010                | 1,0000   |  |
| BY27                          | 10382            | DE    | BY         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BY_Q_18005702               |                             | 0,992                | 1,0000   |  |
| BY28                          | 10182            | DE    | BY         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BY_Q_10056302               |                             | 1,005                | 1,0000   |  |
| BY39                          | 10285            | DE    | BY         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BY_Q_16006500               |                             | 1,035                | 1,1000   |  |
| BY40                          | 10086            | DE    | BY         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BY_Q_11609000               |                             | 1,002                | 1,0000   |  |
| BY41                          | 10155            | DE    | BY         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BY_Q_13208000               |                             | 1,440                | 1,0000   |  |
| BY43                          | 10306            | DE    | BY         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BY_Q_17207508               |                             | 1,009                | 1,0000   |  |
| HE011                         | 20510            | DE    | HE         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BY_Q_24900108               |                             | 1,002                | 1,0000   |  |
| HE02                          | 40082            | DE    | HE         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | NI_Q_42900201               |                             | 0,997                | 1,0000   |  |
| HE03                          | 40036            | DE    | HE         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | NI_Q_41900206               |                             | 0,997                | 1,0000   |  |
| HE05                          | 20507            | DE    | HE         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | HE_Q_24870055               |                             | 1,001                | 1,1500   |  |
| HE07                          | 20491            | DE    | HE         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | HE_Q_24784259               |                             | 1,000                | 1,0000   |  |
| HE08                          | 20279            | DE    | HE         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | HE_Q_23942300               |                             | 0,998                | 1,0500   |  |
| HH03                          | 50845            | DE    | HH         | JA  | JA  | JA                                  | NI_Q_5930010                |                             | 1,230                | 1,0250   |  |
| NI07                          | 40231            | DE    | NI         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | NI_Q_4813105                |                             | 1,350                | 1,0000   |  |

| Gütemessstellen Chrom (n=114) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=71) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=67) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=46) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 |
|-------------------------------|------------------|-------|------------|---|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|--|--|
| NI08                          | 40239            | DE    | NI         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NI_Q_4833101                |                             | 1,084                | 1,0000   |  |
| NI11                          | 40192            | DE    | NI         | JA  | JA  | JA                                  | NI_Q_4885154                |                             | 1,005                | 1,0000   |  |
| NI13                          | 40226            | DE    | NI         | JA  | JA  | JA                                  | NI_Q_4829102                |                             | 1,050                | 1,0000   |  |
| NI14                          | 40326            | DE    | NI         | JA  | JA  | JA                                  | NI_Q_4965142                |                             | 1,005                | 1,3680   |  |
| NI16                          | 20852            | DE    | NI         | JA  | JA  | JA                                  | NI_Q_9286162                |                             | 1,165                | 1,0100   |  |
| NI17                          | 30067            | DE    | NI         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | NI_Q_3691102                |                             | 1,042                | 1,0000   |  |
| NI18                          | 50859            | DE    | NI         | JA  | JA  | JA                                  | NI_Q_5945125                |                             | 1,120                | 1,0000   |  |
| NW01                          | 20711            | DE    | NW         | JA  | JA  | JA                                  | NW_Q_2710080                |                             | 1,000                | 0,9987   |  |
| NW03                          | 20735            | DE    | NW         | JA  | JA  | JA                                  | NW_Q_2729100000100          |                             | 1,011                | 0,9976   |  |
| NW06                          | 20737            | DE    | NW         | JA  | JA  | JA                                  | NW_Q_2736790000200          |                             | 1,004                | 0,9941   |  |
| NW07                          | 20752            | DE    | NW         | JA  | JA  | JA                                  | NW_Q_2747900000200          |                             | 1,063                | 0,9873   |  |
| NW091                         | 20783            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_2769510000100          |                             | 1,013                | 0,9301   |  |
| NW13                          | 20819            | DE    | NW         | JA  | JA  | JA                                  | NW_Q_2789770000100          |                             | 1,001                | 0,9789   |  |
| NW162                         | 40139            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_47100100               |                             | 0,999                | 0,9999   |  |
| NW17                          | 40138            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_4670000000100          |                             | 0,999                | 0,8989   |  |
| NW181                         | 30034            | DE    | NW         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | NW_Q_3390020                |                             | 1,011                | 0,9961   |  |
| NW211                         | 20880            | DE    | NL         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_2829100000100          |                             | 1,043                | 0,9442   |  |
| NW300                         | 20742            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_2750010                |                             | 0,999                | 1,0102   |  |

| Gütemessstellen Chrom (n=114) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=71) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=67) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=46) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 |
|-------------------------------|------------------|-------|------------|---|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|--|--|
| NW338                         | 20780            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_2768900000<br>100      |                             | 1,009                | 0,9995   |  |
| NW388                         | 20770            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_2765590000<br>100      |                             | 1,102                | 1,0594   |  |
| NW392                         | 20900            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_2869500000<br>200      |                             | 1,070                | 0,9430   |  |
| NW395                         | 20795            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_2782900000<br>200      |                             | 0,998                | 0,9954   |  |
| NW397                         | 40129            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_4627100000<br>200      |                             | 1,175                | 0,9167   |  |
| NW399                         | 40137            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_46671000001<br>00      |                             | 1,000                | 0,6875   |  |
| NW400                         | 40100            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | HE_Q_44950055               |                             | 1,012                | 1,6280   |  |
| NW401                         | 40112            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_4529500000<br>100      |                             | 1,033                | 0,9686   |  |
| NW403                         | 40156            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NI_Q_4765103                |                             | 1,003                | 1,4072   |  |
| RP01R                         | 20599            | DE    | RP         | JA  | JA  | JA                                  | RP_Q_25700100               |                             | 0,998                | 1,0600   |  |
| RP02                          | 20512            | DE    | HE         | JA  | JA  | JA                                  | RP_Q_25100100               | BY_Q_2490010<br>8           | 1,004                | 1,0000   | -1,0000  |
| RP03R                         | 20694            | DE    | RP         | JA  | JA  | JA                                  | RP_Q_26900400               |                             | 1,004                | 1,0390   |  |
| RP05                          | 20669            | DE    | RP         | JA  | JA  | JA                                  | SL_Q_26400550               |                             | 1,009                | 1,0580   |  |
| RP06                          | 20541            | DE    | RP         | JA  | JA  | JA                                  | RP_Q_25400804               |                             | 1,014                | 1,0000   |  |
| RP07                          | 20621            | DE    | RP         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | RP_Q_26200505               |                             | 1,015                | 1,3300   |  |
| RP08                          | 20688            | DE    | RP         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | RP_Q_26900400               |                             | 1,009                | 0,9990   |  |
| RP09                          | 20598            | DE    | RP         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | RP_Q_25800600               |                             | 1,002                | 1,1150   |  |
| SH09                          | 50917            | DE    | SH         | NEIN                                      | NEIN                                      | NEIN                                | SH_Q_114117                 |                             | 1,552                | 0,7000   |  |

| Gütemessstellen Chrom (n=114) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=71) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=67) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=46) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 |
|-------------------------------|------------------|-------|------------|---|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|--|--|
| SL01                          | 20648            | DE    | SL         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | SL_Q_264002200              |                             | 1,107                | 0,9600   |  |
| SL02                          | 20668            | DE    | SL         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | SL_Q_26400550               |                             | 1,039                | 1,0000   |  |
| SL05                          | 20666            | DE    | SL         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | SL_Q_1102220                |                             | 1,026                | 1,0000   |  |
| SL06                          | 20646            | DE    | SL         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | SL_Q_1062220                |                             | 1,054                | 1,0000   |  |
| SN02                          | 50175            | DE    | BB         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | SN_Q_553020                 |                             | 1,371                | 1,1700   |  |
| SN03                          | 50193            | DE    | BB         | JA  | JA  | JA                                  | SN_Q_554560                 |                             | 1,043                | 1,1000   |  |
| SN04                          | 50119            | DE    | SN         | JA  | JA  | JA                                  | SN_Q_501010                 |                             | 1,001                | 1,0000   |  |
| SN06                          | 50280            | DE    | SN         | JA  | JA  | JA                                  | SN_Q_566100                 |                             | 1,917                | 0,9990   |  |
| SN07                          | 50279            | DE    | SN         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | SN_Q_562135                 |                             | 0,997                | 1,0100   |  |
| SN08                          | 50284            | DE    | SN         | JA  | JA  | JA                                  | SN_Q_560051                 |                             | 1,042                | 0,9990   |  |
| SN10                          | 60241            | PL    |            | JA  | JA  | JA                                  | SN_Q_660192                 |                             | 0,999                | 1,2400   |  |
| SN11                          | 50147            | DE    | SN         | JA  | JA  | JA                                  | SN_Q_501060                 |                             | 1,002                | 1,0160   |  |
| SN14                          | 50261            | DE    | SN         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | SN_Q_567470                 |                             | 1,001                | 1,0500   |  |
| SN17                          | 50275            | DE    | SN         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | SN_Q_562070                 |                             | 1,081                | 1,0320   |  |
| SN18                          | 50265            | DE    | SN         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | SN_Q_564410                 |                             | 1,002                | 1,0000   |  |
| SN19                          | 50321            | DE    | SN         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | SN_Q_577571                 |                             | 1,058                | 1,0000   |  |
| ST02                          | 50492            | DE    | ST         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | ST_Q_502070                 |                             | 1,004                | 1,0100   |  |
| ST03                          | 50230            | DE    | ST         | JA  | JA  | JA                                  | ST_Q_553060                 |                             | 1,006                | 1,3180   |  |
| ST06                          | 50440            | DE    | ST         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | ST_Q_570810                 |                             | 1,006                | 1,0000   |  |
| ST07                          | 50482            | DE    | ST         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | ST_Q_570930                 |                             | 0,986                | 1,0000   |  |
| ST08                          | 50430            | DE    | ST         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | ST_Q_573360                 |                             | 1,010                | 1,0185   |  |

| Gütemessstellen Chrom (n=114) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=71) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=67) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=46) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1                                  | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 |
|-------------------------------|------------------|-------|------------|---|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|---|--|
| ST09                          | 50353            | DE    | ST         | JA  | JA  | JA                                  | ST_Q_576900                 |                             | 0,961                | + 0,09 m <sup>3</sup> /s (MNO Reide) bzw. + 0,288 m <sup>3</sup> /s (MQ Reide) je nach Bedarf |  |
| TH02                          | 40022            | DE    | TH         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | TH_Q_420170                 |                             | 1,063                | 1,0000  |  |
| TH06                          | 50387            | DE    | TH         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | TH_Q_570330                 |                             | 1,006                | 1,0000  |  |
| TH07                          | 50339            | DE    | TH         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | TH_Q_576520                 |                             | 1,068                | 1,0000  |  |
| TH10                          | 40010            | DE    | TH         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | TH_Q_420020                 |                             | 1,263                | 1,0000  |  |
| TH11                          | 50382            | DE    | TH         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | TH_Q_570270                 |                             | 1,102                | 1,0000  |  |

#### 10.4.5 Messstellen für Kupfer

| Gütemessstelle Kupfer (n=118) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=78) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=94) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=54) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Gütemessstelle (n=118) |
|-------------------------------|------------------|-------|------------|---|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|--|------------------------|
| BB01                          | 60293            | PL    |            | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BB_Q_6602800                |                             | 1,001                | 0,9278   |                        |
| BB05                          | 50570            | DE    | BB         | JA  | JA  | JA                                  | BB_Q_5827000                |                             | 1,390                | 0,9983   |                        |
| BB06                          | 50631            | DE    | BB         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BB_Q_581591                 |                             | 1,051                | 0,9555   |                        |
| BB08                          | 60302            | DE    | BB         | JA  | JA  | JA                                  | BB_Q_603000                 |                             | 0,993                | 0,9753   |                        |
| BB11                          | 50714            | DE    | BB         | JA  | JA  | JA                                  | BB_Q_5892209                |                             | 1,021                | 0,9979   |                        |
| BB15                          | 50653            | DE    | BB         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BB_Q_5871500                |                             | 0,998                | 1,0000   |                        |
| BW01                          | 20044            | CH    |            | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_3329                   |                             | 1,044                | 1,0300   |                        |

| Gütemess-stelle Kupfer (n=118) | Analyse-gebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanz-zeitraum 2006-2008 (n=78) | gültig im Bilanz-zeitraum 2009-2011 (n=94) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=54) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Faktor Analyse-gebiet | Umrech-nungs-faktor Lage der Gütemess-stelle zum Abfluss-pegel 1 | Gütemess-stelle (n=118) |
|--------------------------------|-------------------|-------|------------|--|--|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|--|-------------------------|
| BW041                          | 20118             | DE    | BW         | JA   | JA   | JA                                  | BW_Q_23700200               |                             | 0,992                 | 1,0000   |                         |
| BW05                           | 20167             | DE    | BW         | JA   | JA   | JA                                  | RP_Q_23700600               |                             | 1,000                 | 1,0300   |                         |
| BW06                           | 20259             | DE    | BW         | JA   | JA   | JA                                  | BW_Q_23800690               |                             | 0,998                 | 1,0900   |                         |
| BW07                           | 20222             | DE    | BW         | JA   | JA   | JA                                  | BW_Q_23800500               |                             | 0,997                 | 1,0500   |                         |
| BW08                           | 20200             | DE    | BW         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                | BW_Q_427                    |                             | 1,005                 | 1,2400   |                         |
| BW09                           | 20196             | DE    | BW         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                | BW_Q_427                    |                             | 0,996                 | 1,0000   |                         |
| BW101                          | 20182             | DE    | BW         | JA   | JA   | JA                                  | BW_Q_420                    |                             | 0,999                 | 1,0000   |                         |
| BW131                          | 10013             | DE    | BW         | JA   | JA   | JA                                  | BW_Q_120                    |                             | 1,005                 | 1,0000   |                         |
| BW20                           | 10037             | DE    | BW         | JA   | JA   | JA                                  | BW_Q_125                    |                             | 1,009                 | 1,3800   |                         |
| BW21                           | 20036             | DE    | BW         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                | BW_Q_2341                   |                             | 0,979                 | 1,0200   |                         |
| BW24                           | 20099             | DE    | BW         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                | BW_Q_390                    |                             | 0,985                 | 1,2000   |                         |
| BW25                           | 20202             | DE    | BW         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                | BW_Q_23800500               |                             | 1,000                 | 0,7400   |                         |
| BW27                           | 20233             | DE    | BW         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                | BW_Q_3465                   |                             | 1,001                 | 1,0100   |                         |
| BW28                           | 20243             | DE    | BW         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                | BW_Q_3470                   |                             | 1,002                 | 1,0100   |                         |
| BW30                           | 20457             | DE    | BW         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                | BW_Q_44602                  |                             | 1,001                 | 1,1200   |                         |
| BY01                           | 20483             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                  | BY_Q_24064003               |                             | 1,001                 | 1,0600   |                         |
| BY02                           | 20399             | DE    | BY         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                | BY_Q_24300304               |                             | 1,012                 | 1,0600   |                         |
| BY04                           | 20337             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                  | BY_Q_24010004               |                             | 1,009                 | 1,0400   |                         |
| BY07                           | 20371             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                  | BY_Q_24201501               |                             | 1,243                 | 1,2000   |                         |
| BY08                           | 50367             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                  | BY_Q_56001502               |                             | 1,193                 | 1,2300   |                         |
| BY09                           | 10096             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                  | BY_Q_10035801               |                             | 1,007                 | 1,0000   |                         |
| BY11                           | 10400             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                  | BY_Q_10094006               |                             | 0,997                 | 1,0000   |                         |
| BY151                          | 10175             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                  | BY_Q_13407902               |                             | 1,000                 | 1,0500   |                         |

| Gütemess-stelle Kupfer (n=118) | Analyse-gebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanz-zeitraum 2006-2008 (n=78) | gültig im Bilanz-zeitraum 2009-2011 (n=94) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=54) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Faktor Analyse-gebiet | Umrech-nungs-faktor Lage der Gütemess-stelle zum Abfluss-pegel 1 | Gütemess-stelle (n=118) |
|--------------------------------|-------------------|-------|------------|--|--|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|--|-------------------------|
| BY16                           | 10214             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                  | BY_Q_14008006               |                             | 1,015                 | 1,0000   |                         |
| BY17                           | 10296             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                  | BY_Q_16008506               |                             | 1,028                 | 1,0000   |                         |
| BY20                           | 10385             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                  | BY_Q_18008008               |                             | 0,994                 | 1,0000   |                         |
| BY21                           | 10325             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                  | BY_Q_18000403               |                             | 1,010                 | 1,0000   |                         |
| BY27                           | 10382             | DE    | BY         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                | BY_Q_18005702               |                             | 0,992                 | 1,0000   |                         |
| BY40                           | 10086             | DE    | BY         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                | BY_Q_11609000               |                             | 1,002                 | 1,0000   |                         |
| BY41                           | 10155             | DE    | BY         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                | BY_Q_13208000               |                             | 1,440                 | 1,0000   |                         |
| BY43                           | 10306             | DE    | BY         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                | BY_Q_17207508               |                             | 1,009                 | 1,0000   |                         |
| BY903                          | 20318             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                  | BY_Q_24143008               |                             | 1,003                 | 1,4000   |                         |
| BY906                          | 20377             | DE    | BY         | JA   | JA   | JA                                  | BY_Q_24263000               |                             | 1,005                 | 1,0500   |                         |
| HB01                           | 40276             | DE    | HB         | JA   | JA   | JA                                  | NI_Q_49100101               |                             | 0,999                 | 1,0100   |                         |
| HE011                          | 20510             | DE    | HE         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                | BY_Q_24900108               |                             | 1,002                 | 1,0000   |                         |
| HE02                           | 40082             | DE    | HE         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                | NI_Q_42900201               |                             | 0,997                 | 1,0000   |                         |
| HE03                           | 40036             | DE    | HE         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                | NI_Q_41900206               |                             | 0,997                 | 1,0000   |                         |
| HE05                           | 20507             | DE    | HE         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                | HE_Q_24870055               |                             | 1,001                 | 1,1500   |                         |
| HE07                           | 20491             | DE    | HE         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                | HE_Q_24784259               |                             | 1,000                 | 1,0000   |                         |
| HE08                           | 20279             | DE    | HE         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                | HE_Q_23942300               |                             | 0,998                 | 1,0500   |                         |
| HH03                           | 50845             | DE    | HH         | JA   | JA   | JA                                  | NI_Q_5930010                |                             | 1,230                 | 1,0250   |                         |
| NI07                           | 40231             | DE    | NI         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                | NI_Q_4813105                |                             | 1,350                 | 1,0000   |                         |
| NI08                           | 40239             | DE    | NI         | JA   | JA   | JA                                  | NI_Q_4833101                |                             | 1,084                 | 1,0000   |                         |
| NI11                           | 40192             | DE    | NI         | JA   | JA   | JA                                  | NI_Q_4885154                |                             | 1,005                 | 1,0000   |                         |
| NI13                           | 40226             | DE    | NI         | JA   | JA   | JA                                  | NI_Q_4829102                |                             | 1,050                 | 1,0000   |                         |
| NI14                           | 40326             | DE    | NI         | JA   | JA   | JA                                  | NI_Q_4965142                |                             | 1,005                 | 1,3680   |                         |

| Gütemess-stelle Kupfer (n=118) | Analyse-gebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanz-zeitraum 2006-2008 (n=78) | gültig im Bilanz-zeitraum 2009-2011 (n=94) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=54) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Faktor Analyse-gebiet | Umrech-nungs-faktor Lage der Gütemess-stelle zum Abfluss-pegel 1 | Gütemess-stelle (n=118) |
|--------------------------------|-------------------|-------|------------|--|--|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|--|-------------------------|
| NI16                           | 20852             | DE    | NI         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                | NI_Q_9286162                |                             | 1,165                 | 1,0100   |                         |
| NI17                           | 30067             | DE    | NI         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                | NI_Q_3691102                |                             | 1,042                 | 1,0000   |                         |
| NI18                           | 50859             | DE    | NI         | JA   | JA   | JA                                  | NI_Q_5945125                |                             | 1,120                 | 1,0000   |                         |
| NI20                           | 40163             | DE    | NI         | JA   | JA   | JA                                  | NI_Q_4769112                |                             | 1,049                 | 1,0000   |                         |
| NI29                           | 40167             | DE    | NI         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                | NI_Q_47900107               |                             | 1,008                 | 1,0000   |                         |
| NI34                           | 40201             | DE    | NI         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                | NI_Q_4886175                |                             | 0,998                 | 1,2600   |                         |
| NI39                           | 40334             | DE    | NI         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                | NI_Q_4983103                |                             | 1,207                 | 3,0900   |                         |
| NW01                           | 20711             | DE    | NW         | JA   | JA   | JA                                  | NW_Q_2710080                |                             | 1,000                 | 0,9987   |                         |
| NW03                           | 20735             | DE    | NW         | JA   | JA   | JA                                  | NW_Q_272910000<br>0100      |                             | 1,011                 | 0,9976   |                         |
| NW06                           | 20737             | DE    | NW         | JA   | JA   | JA                                  | NW_Q_273679000<br>0200      |                             | 1,004                 | 0,9941   |                         |
| NW07                           | 20752             | DE    | NW         | JA   | JA   | JA                                  | NW_Q_274790000<br>0200      |                             | 1,063                 | 0,9873   |                         |
| NW091                          | 20783             | DE    | NW         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                | NW_Q_276951000<br>0100      |                             | 1,013                 | 0,9301   |                         |
| NW13                           | 20819             | DE    | NW         | JA   | JA   | JA                                  | NW_Q_278977000<br>0100      |                             | 1,001                 | 0,9789   |                         |
| NW162                          | 40139             | DE    | NW         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                | NW_Q_47100100               |                             | 0,999                 | 0,9999   |                         |
| NW17                           | 40138             | DE    | NW         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                | NW_Q_46700000<br>00100      |                             | 0,999                 | 0,8989   |                         |
| NW181                          | 30034             | DE    | NW         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                | NW_Q_3390020                |                             | 1,011                 | 0,9961   |                         |
| NW211                          | 20880             | DE    | NL         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                | NW_Q_282910000<br>0100      |                             | 1,043                 | 0,9442   |                         |
| NW300                          | 20742             | DE    | NW         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                | NW_Q_2750010                |                             | 0,999                 | 1,0102   |                         |

| Gütemess-stelle Kupfer (n=118) | Analyse-gebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanz-zeitraum 2006-2008 (n=78) | gültig im Bilanz-zeitraum 2009-2011 (n=94) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=54) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Faktor Analyse-gebiet | Umrech-nungs-faktor Lage der Gütemess-stelle zum Abfluss-pegel 1 | Gütemess-stelle (n=118) |
|--------------------------------|-------------------|-------|------------|--|--|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|--|-------------------------|
| NW338                          | 20780             | DE    | NW         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                | NW_Q_276890000<br>0100      |                             | 1,009                 | 0,9995   |                         |
| NW388                          | 20770             | DE    | NW         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                | NW_Q_276559000<br>0100      |                             | 1,102                 | 1,0594   |                         |
| NW392                          | 20900             | DE    | NW         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                | NW_Q_28695000<br>00200      |                             | 1,070                 | 0,9430   |                         |
| NW395                          | 20795             | DE    | NW         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                | NW_Q_278290000<br>0200      |                             | 0,998                 | 0,9954   |                         |
| NW397                          | 40129             | DE    | NW         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                | NW_Q_462710000<br>0200      |                             | 1,175                 | 0,9167   |                         |
| NW399                          | 40137             | DE    | NW         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                | NW_Q_466710000<br>0100      |                             | 1,000                 | 0,6875   |                         |
| NW400                          | 40100             | DE    | NW         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                | HE_Q_44950055               |                             | 1,012                 | 1,6280   |                         |
| NW401                          | 40112             | DE    | NW         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                | NW_Q_45295000<br>00100      |                             | 1,033                 | 0,9686   |                         |
| NW403                          | 40156             | DE    | NW         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                | NI_Q_4765103                |                             | 1,003                 | 1,4072   |                         |
| RP01R                          | 20599             | DE    | RP         | JA   | JA   | JA                                  | RP_Q_25700100               |                             | 0,998                 | 1,0600   |                         |
| RP02                           | 20512             | DE    | HE         | JA   | JA   | JA                                  | RP_Q_25100100               | BY_Q_24900108               | 1,004                 | 1,0000   | -1,0000                 |
| RP03R                          | 20694             | DE    | RP         | JA   | JA   | JA                                  | RP_Q_26900400               |                             | 1,004                 | 1,0390   |                         |
| RP05                           | 20669             | DE    | RP         | JA   | JA   | JA                                  | SL_Q_26400550               |                             | 1,009                 | 1,0580   |                         |
| RP06                           | 20541             | DE    | RP         | JA   | JA   | JA                                  | RP_Q_25400804               |                             | 1,014                 | 1,0000   |                         |
| RP07                           | 20621             | DE    | RP         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                | RP_Q_26200505               |                             | 1,015                 | 1,3300   |                         |
| RP08                           | 20688             | DE    | RP         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                | RP_Q_26900400               |                             | 1,009                 | 0,9990   |                         |
| RP09                           | 20598             | DE    | RP         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                | RP_Q_25800600               |                             | 1,002                 | 1,1150   |                         |
| RP11                           | 20638             | DE    | SL         | JA   | JA   | JA                                  | SL_Q_1373130                |                             | 1,006                 | 1,0000   |                         |

| Gütemess-stelle Kupfer (n=118) | Analyse-gebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanz-zeitraum 2006-2008 (n=78) | gültig im Bilanz-zeitraum 2009-2011 (n=94) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=54) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Faktor Analyse-gebiet | Umrech-nungs-faktor Lage der Gütemess-stelle zum Abfluss-pegel 1 | Gütemess-stelle (n=118) |
|--------------------------------|-------------------|-------|------------|--|--|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|--|-------------------------|
| RP13                           | 20530             | DE    | RP         | JA   | JA   | JA                                  | RP_Q_25460409               |                             | 1,000                 | 1,1220   |                         |
| SL01                           | 20648             | DE    | SL         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                | SL_Q_264002200              |                             | 1,107                 | 0,9600   |                         |
| SL02                           | 20668             | DE    | SL         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                | SL_Q_26400550               |                             | 1,039                 | 1,0000   |                         |
| SL05                           | 20666             | DE    | SL         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                | SL_Q_1102220                |                             | 1,026                 | 1,0000   |                         |
| SL06                           | 20646             | DE    | SL         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                | SL_Q_1062220                |                             | 1,054                 | 1,0000   |                         |
| SN02                           | 50175             | DE    | BB         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                | SN_Q_553020                 |                             | 1,371                 | 1,1700   |                         |
| SN03                           | 50193             | DE    | BB         | JA   | JA   | JA                                  | SN_Q_554560                 |                             | 1,043                 | 1,1000   |                         |
| SN04                           | 50119             | DE    | SN         | JA   | JA   | JA                                  | SN_Q_501010                 |                             | 1,001                 | 1,0000   |                         |
| SN06                           | 50280             | DE    | SN         | JA   | JA   | JA                                  | SN_Q_566100                 |                             | 1,917                 | 0,9990   |                         |
| SN07                           | 50279             | DE    | SN         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                | SN_Q_562135                 |                             | 0,997                 | 1,0100   |                         |
| SN08                           | 50284             | DE    | SN         | JA   | JA   | JA                                  | SN_Q_560051                 |                             | 1,042                 | 0,9990   |                         |
| SN10                           | 60241             | PL    |            | JA   | JA   | JA                                  | SN_Q_660192                 |                             | 0,999                 | 1,2400   |                         |
| SN11                           | 50147             | DE    | SN         | JA   | JA   | JA                                  | SN_Q_501060                 |                             | 1,002                 | 1,0160   |                         |
| SN14                           | 50261             | DE    | SN         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                | SN_Q_567470                 |                             | 1,001                 | 1,0500   |                         |
| SN17                           | 50275             | DE    | SN         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                | SN_Q_562070                 |                             | 1,081                 | 1,0320   |                         |
| SN18                           | 50265             | DE    | SN         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                | SN_Q_564410                 |                             | 1,002                 | 1,0000   |                         |
| SN19                           | 50321             | DE    | SN         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                | SN_Q_577571                 |                             | 1,058                 | 1,0000   |                         |
| ST02                           | 50492             | DE    | ST         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                | ST_Q_502070                 |                             | 1,004                 | 1,0100   |                         |
| ST03                           | 50230             | DE    | ST         | JA   | JA   | JA                                  | ST_Q_553060                 |                             | 1,006                 | 1,3180   |                         |
| ST06                           | 50440             | DE    | ST         | JA   | JA   | JA                                  | ST_Q_570810                 |                             | 1,006                 | 1,0000   |                         |
| ST07                           | 50482             | DE    | ST         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                | ST_Q_570930                 |                             | 0,986                 | 1,0000   |                         |
| ST08                           | 50430             | DE    | ST         | JA   | NEIN                                       | NEIN                                | ST_Q_573360                 |                             | 1,010                 | 1,0185   |                         |

| Gütemess-stelle Kupfer (n=118) | Analyse-gebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanz-zeitraum 2006-2008 (n=78) | gültig im Bilanz-zeitraum 2009-2011 (n=94) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=54) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Faktor Analyse-gebiet | Umrechnungs-faktor Lage der Gütemess-stelle zum Abfluss-pegel 1                               | Gütemess-stelle (n=118) |
|--------------------------------|-------------------|-------|------------|--|--|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|---|-------------------------|
| ST09                           | 50353             | DE    | ST         | JA   | JA   | JA                                  | ST_Q_576900                 |                             | 0,961                 | + 0,09 m <sup>3</sup> /s (MNQ Reide) bzw. + 0,288 m <sup>3</sup> /s (MQ Reide) je nach Bedarf |                         |
| ST11                           | 50752             | DE    | ST         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                | ST_Q_594050                 |                             | 1,044                 | 1,0000  |                         |
| TH02                           | 40022             | DE    | TH         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                | TH_Q_420170                 |                             | 1,063                 | 1,0000  |                         |
| TH06                           | 50387             | DE    | TH         | JA   | JA   | JA                                  | TH_Q_570330                 |                             | 1,006                 | 1,0000  |                         |
| TH07                           | 50339             | DE    | TH         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                | TH_Q_576520                 |                             | 1,068                 | 1,0000  |                         |
| TH10                           | 40010             | DE    | TH         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                | TH_Q_420020                 |                             | 1,263                 | 1,0000  |                         |
| TH11                           | 50382             | DE    | TH         | NEIN                                       | JA   | NEIN                                | TH_Q_570270                 |                             | 1,102                 | 1,0000  |                         |

#### 10.4.6 Messstellen für Quecksilber

| Gütemess-stellen Quecksilber (n=80) | Analyse-gebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanz-zeitraum 2006-2008 (n=53) | gültig im Bilanz-zeitraum 2009-2011 (n=54) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=28) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abfluss-pegel 2 | Zugeordneter Abfluss-pegel 3 | Faktor Analyse-gebiet | Umrechnungs-faktor Lage der Gütemess-stelle zum Abfluss-pegel 1 | Umrechnungs-faktor Lage der Gütemess-stelle zum Abfluss-pegel 2 | Umrechnungs-faktor Lage der Gütemess-stelle zum Abfluss-pegel 3 |
|-------------------------------------|-------------------|-------|------------|--|--|-------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------|---|---|---|
| BB01                                | 60293             | PL    |            | JA   | NEIN                                       | NEIN                                | BB_Q_6602800                |                              |                              | 1,001                 | 0,9278  |   |   |
| BB04                                | 50534             | DE    | BB         | JA   | JA   | JA                                  | BB_Q_5821000                |                              |                              | 1,001                 | 0,9961  |   |   |
| BB05                                | 50570             | DE    | BB         | JA   | JA   | JA                                  | BB_Q_5827000                |                              |                              | 1,390                 | 0,9983  |   |   |

| Gütemessstellen Quecksilber (n=80) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=53) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=54) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=28) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Zugeordneter Abflusspegel 3 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 3 |
|------------------------------------|------------------|-------|------------|---|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|--|--|--|
| BB06                               | 50631            | DE    | BB         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BB_Q_581591                 |                             |                             | 1,051                | 0,9555   |  |  |
| BB08                               | 60302            | DE    | BB         | JA  | JA  | JA                                  | BB_Q_603000                 |                             |                             | 0,993                | 0,9753   |  |  |
| BB11                               | 50714            | DE    | BB         | JA  | JA  | JA                                  | BB_Q_5892209                |                             |                             | 1,021                | 0,9979   |  |  |
| BB15                               | 50653            | DE    | BB         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BB_Q_5871500                |                             |                             | 0,998                | 1,0000   |  |  |
| BW01                               | 20044            | CH    |            | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_3329                   |                             |                             | 1,044                | 1,0300   |  |  |
| BW041                              | 20118            | DE    | BW         | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_23700200               |                             |                             | 0,992                | 1,0000   |  |  |
| BW05                               | 20167            | DE    | BW         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | RP_Q_23700600               |                             |                             | 1,000                | 1,0300   |  |  |
| BW06                               | 20259            | DE    | BW         | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_23800690               |                             |                             | 0,998                | 1,0900   |  |  |
| BW07                               | 20222            | DE    | BW         | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_23800500               |                             |                             | 0,997                | 1,0500   |  |  |
| BW08                               | 20200            | DE    | BW         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BW_Q_427                    |                             |                             | 1,005                | 1,2400   |  |  |
| BW09                               | 20196            | DE    | BW         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BW_Q_427                    |                             |                             | 0,996                | 1,0000   |  |  |
| BW101                              | 20182            | DE    | BW         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BW_Q_420                    |                             |                             | 0,999                | 1,0000   |  |  |
| BW131                              | 10013            | DE    | BW         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BW_Q_120                    |                             |                             | 1,005                | 1,0000   |  |  |
| BW20                               | 10037            | DE    | BW         | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_125                    |                             |                             | 1,009                | 1,3800   |  |  |
| BW21                               | 20036            | DE    | BW         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BW_Q_2341                   |                             |                             | 0,979                | 1,0200   |  |  |
| HE011                              | 20510            | DE    | HE         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BY_Q_24900108               |                             |                             | 1,002                | 1,0000   |  |  |
| HE02                               | 40082            | DE    | HE         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | NI_Q_42900201               |                             |                             | 0,997                | 1,0000   |  |  |
| HE05                               | 20507            | DE    | HE         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | HE_Q_24870055               |                             |                             | 1,001                | 1,1500   |  |  |
| HE07                               | 20491            | DE    | HE         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | HE_Q_24784259               |                             |                             | 1,000                | 1,0000   |  |  |
| HH03                               | 50845            | DE    | HH         | JA  | JA  | JA                                  | NI_Q_5930010                |                             |                             | 1,230                | 1,0250   |  |  |
| MV02                               | 50830            | DE    | MV         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | MV_Q_59810                  | MV_Q_598310                 | MV_Q_59848                  | 1,102                | 1,2800   | 1,6900   | 1,1500   |

| Gütemessstellen Quecksilber (n=80) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=53) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=54) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=28) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Zugeordneter Abflusspegel 3 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 3 |
|------------------------------------|------------------|-------|------------|---|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|--|--|--|
| MV03                               | 82037            | DE    | MV         | JA  | JA  | JA                                  | MV_Q_44022                  |                             |                             | 1,103                | 1,0000   |  |  |
| MV06                               | 60575            | DE    | MV         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | MV_Q_49010                  |                             |                             | 1,007                | 1,0000   |  |  |
| MV07                               | 82017            | DE    | MV         | JA  | JA  | JA                                  | MV_Q_45061                  |                             |                             | 0,999                | 1,5034   |  |  |
| MV12                               | 82047            | DE    | MV         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | MV_Q_43411                  |                             |                             | 1,020                | 1,1000   |  |  |
| NI07                               | 40231            | DE    | NI         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | NI_Q_4813105                |                             |                             | 1,350                | 1,0000   |  |  |
| NI08                               | 40239            | DE    | NI         | JA  | JA  | JA                                  | NI_Q_4833101                |                             |                             | 1,084                | 1,0000   |  |  |
| NI11                               | 40192            | DE    | NI         | JA  | JA  | JA                                  | NI_Q_4885154                |                             |                             | 1,005                | 1,0000   |  |  |
| NI13                               | 40226            | DE    | NI         | JA  | JA  | JA                                  | NI_Q_4829102                |                             |                             | 1,050                | 1,0000   |  |  |
| NI14                               | 40326            | DE    | NI         | JA  | JA  | JA                                  | NI_Q_4965142                |                             |                             | 1,005                | 1,3680   |  |  |
| NI16                               | 20852            | DE    | NI         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | NI_Q_9286162                |                             |                             | 1,165                | 1,0100   |  |  |
| NI17                               | 30067            | DE    | NI         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | NI_Q_3691102                |                             |                             | 1,042                | 1,0000   |  |  |
| NI18                               | 50859            | DE    | NI         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NI_Q_5945125                |                             |                             | 1,120                | 1,0000   |  |  |
| NI37                               | 40321            | DE    | NI         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NI_Q_4965116                |                             |                             | 1,481                | 1,0000   |  |  |
| NW01                               | 20711            | DE    | NW         | JA  | JA  | JA                                  | NW_Q_2710080                |                             |                             | 1,000                | 0,9987   |  |  |
| NW03                               | 20735            | DE    | NW         | JA  | JA  | JA                                  | NW_Q_272910000<br>0100      |                             |                             | 1,011                | 0,9976   |  |  |
| NW06                               | 20737            | DE    | NW         | JA  | JA  | JA                                  | NW_Q_273679000<br>0200      |                             |                             | 1,004                | 0,9941   |  |  |
| NW07                               | 20752            | DE    | NW         | JA  | JA  | JA                                  | NW_Q_274790000<br>0200      |                             |                             | 1,063                | 0,9873   |  |  |
| NW091                              | 20783            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_276951000<br>0100      |                             |                             | 1,013                | 0,9301   |  |  |

| Gütemessstellen Quecksilber (n=80) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=53) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=54) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=28) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Zugeordneter Abflusspegel 3 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 3 |
|------------------------------------|------------------|-------|------------|---|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|--|--|--|
| NW13                               | 20819            | DE    | NW         | JA  | JA  | JA                                  | NW_Q_2789770000100          |                             |                             | 1,001                | 0,9789   |  |  |
| NW162                              | 40139            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_47100100               |                             |                             | 0,999                | 0,9999   |  |  |
| NW17                               | 40138            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_4670000000100          |                             |                             | 0,999                | 0,8989   |  |  |
| NW300                              | 20742            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_2750010                |                             |                             | 0,999                | 1,0102   |  |  |
| NW388                              | 20770            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_2765590000100          |                             |                             | 1,102                | 1,0594   |  |  |
| NW395                              | 20795            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_2782900000200          |                             |                             | 0,998                | 0,9954   |  |  |
| NW396                              | 20803            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_2785790000300          |                             |                             | 1,034                | 0,9565   |  |  |
| NW397                              | 40129            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_4627100000200          |                             |                             | 1,175                | 0,9167   |  |  |
| NW399                              | 40137            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_4667100000100          |                             |                             | 1,000                | 0,6875   |  |  |
| NW400                              | 40100            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | HE_Q_44950055               |                             |                             | 1,012                | 1,6280   |  |  |
| NW401                              | 40112            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_4529500000100          |                             |                             | 1,033                | 0,9686   |  |  |
| NW403                              | 40156            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NI_Q_4765103                |                             |                             | 1,003                | 1,4072   |  |  |
| RP01R                              | 20599            | DE    | RP         | JA  | JA  | JA                                  | RP_Q_25700100               |                             |                             | 0,998                | 1,0600   |  |  |
| RP02                               | 20512            | DE    | HE         | JA  | JA  | JA                                  | RP_Q_25100100               | BY_Q_24900108               |                             | 1,004                | 1,0000   | -1,0000  |  |
| RP03R                              | 20694            | DE    | RP         | JA  | JA  | JA                                  | RP_Q_26900400               |                             |                             | 1,004                | 1,0390   |  |  |

| Gütemessstellen Quecksilber (n=80) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=53) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=54) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=28) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Zugeordneter Abflusspegel 3 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1                                  | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 3 |
|------------------------------------|------------------|-------|------------|---|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|---|--|--|
| RP05                               | 20669            | DE    | RP         | JA  | JA  | JA                                  | SL_Q_26400550               |                             |                             | 1,009                | 1,0580  |  |  |
| RP06                               | 20541            | DE    | RP         | JA  | JA  | JA                                  | RP_Q_25400804               |                             |                             | 1,014                | 1,0000  |  |  |
| RP07                               | 20621            | DE    | RP         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | RP_Q_26200505               |                             |                             | 1,015                | 1,3300  |  |  |
| RP08                               | 20688            | DE    | RP         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | RP_Q_26900400               |                             |                             | 1,009                | 0,9990  |  |  |
| RP09                               | 20598            | DE    | RP         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | RP_Q_25800600               |                             |                             | 1,002                | 1,1150  |  |  |
| SL01                               | 20648            | DE    | SL         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | SL_Q_264002200              |                             |                             | 1,107                | 0,9600  |  |  |
| SL02                               | 20668            | DE    | SL         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | SL_Q_26400550               |                             |                             | 1,039                | 1,0000  |  |  |
| SL05                               | 20666            | DE    | SL         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | SL_Q_1102220                |                             |                             | 1,026                | 1,0000  |  |  |
| SL06                               | 20646            | DE    | SL         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | SL_Q_1062220                |                             |                             | 1,054                | 1,0000  |  |  |
| SN04                               | 50119            | DE    | SN         | JA  | JA  | JA                                  | SN_Q_501010                 |                             |                             | 1,001                | 1,0000  |  |  |
| SN06                               | 50280            | DE    | SN         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | SN_Q_566100                 |                             |                             | 1,917                | 0,9990  |  |  |
| SN08                               | 50284            | DE    | SN         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | SN_Q_560051                 |                             |                             | 1,042                | 0,9990  |  |  |
| SN11                               | 50147            | DE    | SN         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | SN_Q_501060                 |                             |                             | 1,002                | 1,0160  |  |  |
| ST02                               | 50492            | DE    | ST         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | ST_Q_502070                 |                             |                             | 1,004                | 1,0100  |  |  |
| ST03                               | 50230            | DE    | ST         | JA  | JA  | JA                                  | ST_Q_553060                 |                             |                             | 1,006                | 1,3180  |  |  |
| ST06                               | 50440            | DE    | ST         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | ST_Q_570810                 |                             |                             | 1,006                | 1,0000  |  |  |
| ST07                               | 50482            | DE    | ST         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | ST_Q_570930                 |                             |                             | 0,986                | 1,0000  |  |  |
| ST09                               | 50353            | DE    | ST         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | ST_Q_576900                 |                             |                             | 0,961                | + 0,09 m <sup>3</sup> /s (MNQ Reide) bzw. + 0,288 m <sup>3</sup> /s (MQ Reide) je nach Bedarf |  |  |

| Gütemessstellen Quecksilber (n=80) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=53) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=54) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=28) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Zugeordneter Abflusspegel 3 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 3 |
|------------------------------------|------------------|-------|------------|---|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|--|--|--|
| ST11                               | 50752            | DE    | ST         | NEIN                                      | NEIN                                      | NEIN                                | ST_Q_594050                 |                             |                             | 1,044                | 1,0000   |  |  |
| TH02                               | 40022            | DE    | TH         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | TH_Q_420170                 |                             |                             | 1,063                | 1,0000   |  |  |
| TH06                               | 50387            | DE    | TH         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | TH_Q_570330                 |                             |                             | 1,006                | 1,0000   |  |  |
| TH10                               | 40010            | DE    | TH         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | TH_Q_420020                 |                             |                             | 1,263                | 1,0000   |  |  |
| TH11                               | 50382            | DE    | TH         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | TH_Q_570270                 |                             |                             | 1,102                | 1,0000   |  |  |

#### 10.4.7 Messstellen für Nickel

| Gütemessstellen Nickel (n=116) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=69) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=92) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=47) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 |
|--------------------------------|------------------|-------|------------|---|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|--|--|
| BB01                           | 60293            | PL    |            | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BB_Q_6602800                |                             | 1,001                | 0,9278   |  |
| BB04                           | 50534            | DE    | BB         | JA  | JA  | JA                                  | BB_Q_5821000                |                             | 1,001                | 0,9961   |  |
| BB05                           | 50570            | DE    | BB         | JA  | JA  | JA                                  | BB_Q_5827000                |                             | 1,390                | 0,9983   |  |
| BB06                           | 50631            | DE    | BB         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BB_Q_581591                 |                             | 1,051                | 0,9555   |  |
| BB08                           | 60302            | DE    | BB         | JA  | JA  | JA                                  | BB_Q_603000                 |                             | 0,993                | 0,9753   |  |
| BB11                           | 50714            | DE    | BB         | JA  | JA  | JA                                  | BB_Q_5892209                |                             | 1,021                | 0,9979   |  |
| BW01                           | 20044            | CH    |            | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_3329                   |                             | 1,044                | 1,0300   |  |
| BW041                          | 20118            | DE    | BW         | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_23700200               |                             | 0,992                | 1,0000   |  |
| BW05                           | 20167            | DE    | BW         | JA  | JA  | JA                                  | RP_Q_23700600               |                             | 1,000                | 1,0300   |  |

| Gütemessstellen Nickel (n=116) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=69) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=92) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=47) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 |
|--------------------------------|------------------|-------|------------|---|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|--|--|
| BW06                           | 20259            | DE    | BW         | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_23800690               |                             | 0,998                | 1,0900   |  |
| BW07                           | 20222            | DE    | BW         | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_23800500               |                             | 0,997                | 1,0500   |  |
| BW08                           | 20200            | DE    | BW         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BW_Q_427                    |                             | 1,005                | 1,2400   |  |
| BW09                           | 20196            | DE    | BW         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BW_Q_427                    |                             | 0,996                | 1,0000   |  |
| BW101                          | 20182            | DE    | BW         | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_420                    |                             | 0,999                | 1,0000   |  |
| BW131                          | 10013            | DE    | BW         | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_120                    |                             | 1,005                | 1,0000   |  |
| BW20                           | 10037            | DE    | BW         | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_125                    |                             | 1,009                | 1,3800   |  |
| BW21                           | 20036            | DE    | BW         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BW_Q_2341                   |                             | 0,979                | 1,0200   |  |
| BW24                           | 20099            | DE    | BW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BW_Q_390                    |                             | 0,985                | 1,2000   |  |
| BW25                           | 20202            | DE    | BW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BW_Q_23800500               |                             | 1,000                | 0,7400   |  |
| BW27                           | 20233            | DE    | BW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BW_Q_3465                   |                             | 1,001                | 1,0100   |  |
| BW28                           | 20243            | DE    | BW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BW_Q_3470                   |                             | 1,002                | 1,0100   |  |
| BW30                           | 20457            | DE    | BW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BW_Q_44602                  |                             | 1,001                | 1,1200   |  |
| BY01                           | 20483            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_24064003               |                             | 1,001                | 1,0600   |  |
| BY02                           | 20399            | DE    | BY         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BY_Q_24300304               |                             | 1,012                | 1,0600   |  |
| BY04                           | 20337            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_24010004               |                             | 1,009                | 1,0400   |  |
| BY07                           | 20371            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_24201501               |                             | 1,243                | 1,2000   |  |
| BY08                           | 50367            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_56001502               |                             | 1,193                | 1,2300   |  |
| BY09                           | 10096            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_10035801               |                             | 1,007                | 1,0000   |  |
| BY11                           | 10400            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_10094006               |                             | 0,997                | 1,0000   |  |
| BY151                          | 10175            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_13407902               |                             | 1,000                | 1,0500   |  |
| BY16                           | 10214            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_14008006               |                             | 1,015                | 1,0000   |  |
| BY17                           | 10296            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_16008506               |                             | 1,028                | 1,0000   |  |
| BY20                           | 10385            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_18008008               |                             | 0,994                | 1,0000   |  |

| Gütemessstellen Nickel (n=116) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=69) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=92) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=47) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 |
|--------------------------------|------------------|-------|------------|---|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|--|--|
| BY21                           | 10325            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_18000403               |                             | 1,010                | 1,0000   |  |
| BY27                           | 10382            | DE    | BY         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BY_Q_18005702               |                             | 0,992                | 1,0000   |  |
| BY28                           | 10182            | DE    | BY         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BY_Q_10056302               |                             | 1,005                | 1,0000   |  |
| BY40                           | 10086            | DE    | BY         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BY_Q_11609000               |                             | 1,002                | 1,0000   |  |
| BY41                           | 10155            | DE    | BY         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BY_Q_13208000               |                             | 1,440                | 1,0000   |  |
| BY43                           | 10306            | DE    | BY         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BY_Q_17207508               |                             | 1,009                | 1,0000   |  |
| HE011                          | 20510            | DE    | HE         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_24900108               |                             | 1,002                | 1,0000   |  |
| HE02                           | 40082            | DE    | HE         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | NI_Q_42900201               |                             | 0,997                | 1,0000   |  |
| HE03                           | 40036            | DE    | HE         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | NI_Q_41900206               |                             | 0,997                | 1,0000   |  |
| HE05                           | 20507            | DE    | HE         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | HE_Q_24870055               |                             | 1,001                | 1,1500   |  |
| HE07                           | 20491            | DE    | HE         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | HE_Q_24784259               |                             | 1,000                | 1,0000   |  |
| HE08                           | 20279            | DE    | HE         | JA  | JA  | JA                                  | HE_Q_23942300               |                             | 0,998                | 1,0500   |  |
| HE10                           | 40054            | DE    | HE         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | HE_Q_42700100               |                             | 1,083                | 1,0000   |  |
| HE12                           | 40074            | DE    | HE         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | HE_Q_42800502               |                             | 1,147                | 1,0000   |  |
| HE13                           | 40109            | DE    | HE         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | HE_Q_44950055               |                             | 1,000                | 1,0000   |  |
| HH03                           | 50845            | DE    | HH         | JA  | JA  | JA                                  | NI_Q_5930010                |                             | 1,230                | 1,0250   |  |
| NI07                           | 40231            | DE    | NI         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | NI_Q_4813105                |                             | 1,350                | 1,0000   |  |
| NI08                           | 40239            | DE    | NI         | JA  | JA  | JA                                  | NI_Q_4833101                |                             | 1,084                | 1,0000   |  |
| NI11                           | 40192            | DE    | NI         | JA  | JA  | JA                                  | NI_Q_4885154                |                             | 1,005                | 1,0000   |  |
| NI13                           | 40226            | DE    | NI         | JA  | JA  | JA                                  | NI_Q_4829102                |                             | 1,050                | 1,0000   |  |
| NI14                           | 40326            | DE    | NI         | JA  | JA  | JA                                  | NI_Q_4965142                |                             | 1,005                | 1,3680   |  |
| NI16                           | 20852            | DE    | NI         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | NI_Q_9286162                |                             | 1,165                | 1,0100   |  |
| NI17                           | 30067            | DE    | NI         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | NI_Q_3691102                |                             | 1,042                | 1,0000   |  |
| NI18                           | 50859            | DE    | NI         | JA  | JA  | JA                                  | NI_Q_5945125                |                             | 1,120                | 1,0000   |  |

| Gütemessstellen Nickel (n=116) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=69) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=92) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=47) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 |
|--------------------------------|------------------|-------|------------|---|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|--|--|
| NI37                           | 40321            | DE    | NI         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NI_Q_4965116                |                             | 1,481                | 1,0000   |  |
| NW01                           | 20711            | DE    | NW         | JA  | JA  | JA                                  | NW_Q_2710080                |                             | 1,000                | 0,9987   |  |
| NW03                           | 20735            | DE    | NW         | JA  | JA  | JA                                  | NW_Q_272910000<br>0100      |                             | 1,011                | 0,9976   |  |
| NW06                           | 20737            | DE    | NW         | JA  | JA  | JA                                  | NW_Q_273679000<br>0200      |                             | 1,004                | 0,9941   |  |
| NW07                           | 20752            | DE    | NW         | JA  | JA  | JA                                  | NW_Q_274790000<br>0200      |                             | 1,063                | 0,9873   |  |
| NW091                          | 20783            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_276951000<br>0100      |                             | 1,013                | 0,9301   |  |
| NW13                           | 20819            | DE    | NW         | JA  | JA  | JA                                  | NW_Q_278977000<br>0100      |                             | 1,001                | 0,9789   |  |
| NW162                          | 40139            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_47100100               |                             | 0,999                | 0,9999   |  |
| NW17                           | 40138            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_467000000<br>00100     |                             | 0,999                | 0,8989   |  |
| NW181                          | 30034            | DE    | NW         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | NW_Q_3390020                |                             | 1,011                | 0,9961   |  |
| NW211                          | 20880            | DE    | NL         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_282910000<br>0100      |                             | 1,043                | 0,9442   |  |
| NW300                          | 20742            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_2750010                |                             | 0,999                | 1,0102   |  |
| NW338                          | 20780            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_276890000<br>0100      |                             | 1,009                | 0,9995   |  |
| NW388                          | 20770            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_276559000<br>0100      |                             | 1,102                | 1,0594   |  |
| NW392                          | 20900            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_286950000<br>00200     |                             | 1,070                | 0,9430   |  |
| NW395                          | 20795            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_278290000<br>0200      |                             | 0,998                | 0,9954   |  |

| Gütemessstellen Nickel (n=116) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=69) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=92) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=47) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 |
|--------------------------------|------------------|-------|------------|---|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|--|--|
| NW397                          | 40129            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_4627100000200          |                             | 1,175                | 0,9167   |  |
| NW399                          | 40137            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_4667100000100          |                             | 1,000                | 0,6875   |  |
| NW400                          | 40100            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | HE_Q_44950055               |                             | 1,012                | 1,6280   |  |
| NW401                          | 40112            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_4529500000100          |                             | 1,033                | 0,9686   |  |
| NW403                          | 40156            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NI_Q_4765103                |                             | 1,003                | 1,4072   |  |
| RP01R                          | 20599            | DE    | RP         | JA  | JA  | JA                                  | RP_Q_25700100               |                             | 0,998                | 1,0600   |  |
| RP02                           | 20512            | DE    | HE         | JA  | JA  | JA                                  | RP_Q_25100100               | BY_Q_24900108               | 1,004                | 1,0000   | -1,0000  |
| RP03R                          | 20694            | DE    | RP         | JA  | JA  | JA                                  | RP_Q_26900400               |                             | 1,004                | 1,0390   |  |
| RP05                           | 20669            | DE    | RP         | JA  | JA  | JA                                  | SL_Q_26400550               |                             | 1,009                | 1,0580   |  |
| RP06                           | 20541            | DE    | RP         | JA  | JA  | JA                                  | RP_Q_25400804               |                             | 1,014                | 1,0000   |  |
| RP07                           | 20621            | DE    | RP         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | RP_Q_26200505               |                             | 1,015                | 1,3300   |  |
| RP08                           | 20688            | DE    | RP         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | RP_Q_26900400               |                             | 1,009                | 0,9990   |  |
| RP09                           | 20598            | DE    | RP         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | RP_Q_25800600               |                             | 1,002                | 1,1150   |  |
| RP13                           | 20530            | DE    | RP         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | RP_Q_25460409               |                             | 1,000                | 1,1220   |  |
| RP14                           | 20702            | DE    | RP         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | RP_Q_27160406               |                             | 0,994                | 1,1160   |  |
| SL01                           | 20648            | DE    | SL         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | SL_Q_264002200              |                             | 1,107                | 0,9600   |  |
| SL02                           | 20668            | DE    | SL         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | SL_Q_26400550               |                             | 1,039                | 1,0000   |  |
| SL05                           | 20666            | DE    | SL         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | SL_Q_1102220                |                             | 1,026                | 1,0000   |  |
| SL06                           | 20646            | DE    | SL         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | SL_Q_1062220                |                             | 1,054                | 1,0000   |  |
| SL07                           | 20638            | DE    | SL         | NEIN                                      | NEIN                                      | NEIN                                | SL_Q_1373130                |                             | 1,006                | 1,0000   |  |
| SN02                           | 50175            | DE    | BB         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | SN_Q_553020                 |                             | 1,371                | 1,1700   |  |

| Gütemessstellen Nickel (n=116) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=69) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=92) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=47) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1                                  | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 |
|--------------------------------|------------------|-------|------------|---|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|---|--|
| SN03                           | 50193            | DE    | BB         | JA  | JA  | JA                                  | SN_Q_554560                 |                             | 1,043                | 1,1000  |  |
| SN04                           | 50119            | DE    | SN         | JA  | JA  | JA                                  | SN_Q_501010                 |                             | 1,001                | 1,0000  |  |
| SN06                           | 50280            | DE    | SN         | JA  | JA  | JA                                  | SN_Q_566100                 |                             | 1,917                | 0,9990  |  |
| SN07                           | 50279            | DE    | SN         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | SN_Q_562135                 |                             | 0,997                | 1,0100  |  |
| SN08                           | 50284            | DE    | SN         | JA  | JA  | JA                                  | SN_Q_560051                 |                             | 1,042                | 0,9990  |  |
| SN10                           | 60241            | PL    |            | JA  | JA  | JA                                  | SN_Q_660192                 |                             | 0,999                | 1,2400  |  |
| SN11                           | 50147            | DE    | SN         | JA  | JA  | JA                                  | SN_Q_501060                 |                             | 1,002                | 1,0160  |  |
| SN14                           | 50261            | DE    | SN         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | SN_Q_567470                 |                             | 1,001                | 1,0500  |  |
| SN17                           | 50275            | DE    | SN         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | SN_Q_562070                 |                             | 1,081                | 1,0320  |  |
| SN18                           | 50265            | DE    | SN         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | SN_Q_564410                 |                             | 1,002                | 1,0000  |  |
| SN19                           | 50321            | DE    | SN         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | SN_Q_577571                 |                             | 1,058                | 1,0000  |  |
| ST02                           | 50492            | DE    | ST         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | ST_Q_502070                 |                             | 1,004                | 1,0100  |  |
| ST03                           | 50230            | DE    | ST         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | ST_Q_553060                 |                             | 1,006                | 1,3180  |  |
| ST06                           | 50440            | DE    | ST         | NEIN                                      | NEIN                                      | NEIN                                | ST_Q_570810                 |                             | 1,006                | 1,0000  |  |
| ST07                           | 50482            | DE    | ST         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | ST_Q_570930                 |                             | 0,986                | 1,0000  |  |
| ST08                           | 50430            | DE    | ST         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | ST_Q_573360                 |                             | 1,010                | 1,0185  |  |
| ST09                           | 50353            | DE    | ST         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | ST_Q_576900                 |                             | 0,961                | + 0,09 m <sup>3</sup> /s (MNQ Reide) bzw. + 0,288 m <sup>3</sup> /s (MQ Reide) je nach Bedarf |  |
| TH02                           | 40022            | DE    | TH         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | TH_Q_420170                 |                             | 1,063                | 1,0000  |  |
| TH06                           | 50387            | DE    | TH         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | TH_Q_570330                 |                             | 1,006                | 1,0000  |  |
| TH07                           | 50339            | DE    | TH         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | TH_Q_576520                 |                             | 1,068                | 1,0000  |  |
| TH10                           | 40010            | DE    | TH         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | TH_Q_420020                 |                             | 1,263                | 1,0000  |  |

| Gütemessstellen Nickel (n=116) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=69) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=92) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=47) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 |
|--------------------------------|------------------|-------|------------|---|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|--|--|
| TH11                           | 50382            | DE    | TH         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | TH_Q_570270                 |                             | 1,102                | 1,0000   |  |

#### 10.4.8 Messstellen für Blei

| Gütemessstellen Blei (n=117) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=69) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=96) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=48) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 |
|------------------------------|------------------|-------|------------|---|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|--|--|
| BB01                         | 60293            | PL    |            | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BB_Q_6602800                |                             | 1,001                | 0,9278   |  |
| BB04                         | 50534            | DE    | BB         | JA  | JA  | JA                                  | BB_Q_5821000                |                             | 1,001                | 0,9961   |  |
| BB05                         | 50570            | DE    | BB         | JA  | JA  | JA                                  | BB_Q_5827000                |                             | 1,390                | 0,9983   |  |
| BB06                         | 50631            | DE    | BB         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BB_Q_581591                 |                             | 1,051                | 0,9555   |  |
| BB08                         | 60302            | DE    | BB         | JA  | JA  | JA                                  | BB_Q_603000                 |                             | 0,993                | 0,9753   |  |
| BB11                         | 50714            | DE    | BB         | JA  | JA  | JA                                  | BB_Q_5892209                |                             | 1,021                | 0,9979   |  |
| BB15                         | 50653            | DE    | BB         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BB_Q_5871500                |                             | 0,998                | 1,0000   |  |
| BW01                         | 20044            | CH    |            | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_3329                   |                             | 1,044                | 1,0300   |  |
| BW041                        | 20118            | DE    | BW         | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_23700200               |                             | 0,992                | 1,0000   |  |
| BW05                         | 20167            | DE    | BW         | JA  | JA  | JA                                  | RP_Q_23700600               |                             | 1,000                | 1,0300   |  |
| BW06                         | 20259            | DE    | BW         | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_23800690               |                             | 0,998                | 1,0900   |  |
| BW07                         | 20222            | DE    | BW         | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_23800500               |                             | 0,997                | 1,0500   |  |
| BW08                         | 20200            | DE    | BW         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BW_Q_427                    |                             | 1,005                | 1,2400   |  |
| BW09                         | 20196            | DE    | BW         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BW_Q_427                    |                             | 0,996                | 1,0000   |  |
| BW101                        | 20182            | DE    | BW         | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_420                    |                             | 0,999                | 1,0000   |  |

| Gütemessstellen Blei (n=117) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=69) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=96) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=48) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 |
|------------------------------|------------------|-------|------------|---|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|--|--|
| BW131                        | 10013            | DE    | BW         | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_120                    |                             | 1,005                | 1,0000   |  |
| BW20                         | 10037            | DE    | BW         | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_125                    |                             | 1,009                | 1,3800   |  |
| BW21                         | 20036            | DE    | BW         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BW_Q_2341                   |                             | 0,979                | 1,0200   |  |
| BW24                         | 20099            | DE    | BW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BW_Q_390                    |                             | 0,985                | 1,2000   |  |
| BW25                         | 20202            | DE    | BW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BW_Q_23800500               |                             | 1,000                | 0,7400   |  |
| BW27                         | 20233            | DE    | BW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BW_Q_3465                   | =                           | 1,001                | 1,0100   |  |
| BW28                         | 20243            | DE    | BW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BW_Q_3470                   |                             | 1,002                | 1,0100   |  |
| BW30                         | 20457            | DE    | BW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BW_Q_44602                  |                             | 1,001                | 1,1200   |  |
| BY01                         | 20483            | DE    | BY         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BY_Q_24064003               |                             | 1,001                | 1,0600   |  |
| BY02                         | 20399            | DE    | BY         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BY_Q_24300304               |                             | 1,012                | 1,0600   |  |
| BY04                         | 20337            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_24010004               |                             | 1,009                | 1,0400   |  |
| BY07                         | 20371            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_24201501               |                             | 1,243                | 1,2000   |  |
| BY08                         | 50367            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_56001502               |                             | 1,193                | 1,2300   |  |
| BY09                         | 10096            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_10035801               |                             | 1,007                | 1,0000   |  |
| BY11                         | 10400            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_10094006               |                             | 0,997                | 1,0000   |  |
| BY151                        | 10175            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_13407902               |                             | 1,000                | 1,0500   |  |
| BY16                         | 10214            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_14008006               |                             | 1,015                | 1,0000   |  |
| BY17                         | 10296            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_16008506               |                             | 1,028                | 1,0000   |  |
| BY18                         | 10263            | DE    | BY         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BY_Q_16607001               |                             | 1,041                | 1,0000   |  |
| BY20                         | 10385            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_18008008               |                             | 0,994                | 1,0000   |  |
| BY21                         | 10325            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_18000403               |                             | 1,010                | 1,0000   |  |
| BY27                         | 10382            | DE    | BY         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BY_Q_18005702               |                             | 0,992                | 1,0000   |  |
| BY28                         | 10182            | DE    | BY         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BY_Q_10056302               |                             | 1,005                | 1,0000   |  |
| BY39                         | 10285            | DE    | BY         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BY_Q_16006500               |                             | 1,035                | 1,1000   |  |

| Gütemessstellen Blei (n=117) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=69) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=96) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=48) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 |
|------------------------------|------------------|-------|------------|---|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|--|--|
| BY40                         | 10086            | DE    | BY         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BY_Q_11609000               |                             | 1,002                | 1,0000   |  |
| BY41                         | 10155            | DE    | BY         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BY_Q_13208000               |                             | 1,440                | 1,0000   |  |
| BY43                         | 10306            | DE    | BY         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BY_Q_17207508               |                             | 1,009                | 1,0000   |  |
| HE011                        | 20510            | DE    | HE         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BY_Q_24900108               |                             | 1,002                | 1,0000   |  |
| HE02                         | 40082            | DE    | HE         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | NI_Q_42900201               |                             | 0,997                | 1,0000   |  |
| HE03                         | 40036            | DE    | HE         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | NI_Q_41900206               |                             | 0,997                | 1,0000   |  |
| HE05                         | 20507            | DE    | HE         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | HE_Q_24870055               |                             | 1,001                | 1,1500   |  |
| HE07                         | 20491            | DE    | HE         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | HE_Q_24784259               |                             | 1,000                | 1,0000   |  |
| HE08                         | 20279            | DE    | HE         | JA  | JA  | JA                                  | HE_Q_23942300               |                             | 0,998                | 1,0500   |  |
| HE10                         | 40054            | DE    | HE         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | HE_Q_42700100               |                             | 1,083                | 1,0000   |  |
| HE12                         | 40074            | DE    | HE         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | HE_Q_42800502               |                             | 1,147                | 1,0000   |  |
| HE13                         | 40109            | DE    | HE         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | HE_Q_44950055               |                             | 1,000                | 1,0000   |  |
| HH03                         | 50845            | DE    | HH         | JA  | JA  | JA                                  | NI_Q_5930010                |                             | 1,230                | 1,0250   |  |
| NI07                         | 40231            | DE    | NI         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | NI_Q_4813105                |                             | 1,350                | 1,0000   |  |
| NI08                         | 40239            | DE    | NI         | JA  | JA  | JA                                  | NI_Q_4833101                |                             | 1,084                | 1,0000   |  |
| NI11                         | 40192            | DE    | NI         | JA  | JA  | JA                                  | NI_Q_4885154                |                             | 1,005                | 1,0000   |  |
| NI13                         | 40226            | DE    | NI         | JA  | JA  | JA                                  | NI_Q_4829102                |                             | 1,050                | 1,0000   |  |
| NI14                         | 40326            | DE    | NI         | JA  | JA  | JA                                  | NI_Q_4965142                |                             | 1,005                | 1,3680   |  |
| NI16                         | 20852            | DE    | NI         | JA  | JA  | JA                                  | NI_Q_9286162                |                             | 1,165                | 1,0100   |  |
| NI17                         | 30067            | DE    | NI         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | NI_Q_3691102                |                             | 1,042                | 1,0000   |  |
| NI18                         | 50859            | DE    | NI         | JA  | JA  | JA                                  | NI_Q_5945125                |                             | 1,120                | 1,0000   |  |
| NI37                         | 40321            | DE    | NI         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NI_Q_4965116                |                             | 1,481                | 1,0000   |  |
| NW01                         | 20711            | DE    | NW         | JA  | JA  | JA                                  | NW_Q_2710080                |                             | 1,000                | 0,9987   |  |

| Gütemessstellen Blei (n=117) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=69) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=96) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=48) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 |
|------------------------------|------------------|-------|------------|---|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|--|--|
| NW03                         | 20735            | DE    | NW         | JA  | JA  | JA                                  | NW_Q_2729100000100          |                             | 1,011                | 0,9976   |  |
| NW06                         | 20737            | DE    | NW         | JA  | JA  | JA                                  | NW_Q_2736790000200          |                             | 1,004                | 0,9941   |  |
| NW07                         | 20752            | DE    | NW         | JA  | JA  | JA                                  | NW_Q_2747900000200          |                             | 1,063                | 0,9873   |  |
| NW091                        | 20783            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_2769510000100          |                             | 1,013                | 0,9301   |  |
| NW13                         | 20819            | DE    | NW         | JA  | JA  | JA                                  | NW_Q_2789770000100          |                             | 1,001                | 0,9789   |  |
| NW162                        | 40139            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_47100100               |                             | 0,999                | 0,9999   |  |
| NW17                         | 40138            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_4670000000100          |                             | 0,999                | 0,8989   |  |
| NW181                        | 30034            | DE    | NW         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | NW_Q_3390020                |                             | 1,011                | 0,9961   |  |
| NW211                        | 20880            | DE    | NL         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_2829100000100          |                             | 1,043                | 0,9442   |  |
| NW300                        | 20742            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_2750010                |                             | 0,999                | 1,0102   |  |
| NW338                        | 20780            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_2768900000100          |                             | 1,009                | 0,9995   |  |
| NW388                        | 20770            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_2765590000100          |                             | 1,102                | 1,0594   |  |
| NW392                        | 20900            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_2869500000200          |                             | 1,070                | 0,9430   |  |
| NW395                        | 20795            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_2782900000200          |                             | 0,998                | 0,9954   |  |
| NW397                        | 40129            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_4627100000200          |                             | 1,175                | 0,9167   |  |

| Gütemessstellen Blei (n=117) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=69) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=96) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=48) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 |
|------------------------------|------------------|-------|------------|---|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|--|--|
| NW399                        | 40137            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_4667100000100          |                             | 1,000                | 0,6875   |  |
| NW400                        | 40100            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | HE_Q_44950055               |                             | 1,012                | 1,6280   |  |
| NW401                        | 40112            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_4529500000100          |                             | 1,033                | 0,9686   |  |
| NW403                        | 40156            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NI_Q_4765103                |                             | 1,003                | 1,4072   |  |
| RP01R                        | 20599            | DE    | RP         | JA  | JA  | JA                                  | RP_Q_25700100               |                             | 0,998                | 1,0600   |  |
| RP02                         | 20512            | DE    | HE         | JA  | JA  | JA                                  | RP_Q_25100100               | BY_Q_24900108               | 1,004                | 1,0000   | -1,0000  |
| RP03R                        | 20694            | DE    | RP         | JA  | JA  | JA                                  | RP_Q_26900400               |                             | 1,004                | 1,0390   |  |
| RP05                         | 20669            | DE    | RP         | JA  | JA  | JA                                  | SL_Q_26400550               |                             | 1,009                | 1,0580   |  |
| RP06                         | 20541            | DE    | RP         | JA  | JA  | JA                                  | RP_Q_25400804               |                             | 1,014                | 1,0000   |  |
| RP07                         | 20621            | DE    | RP         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | RP_Q_26200505               |                             | 1,015                | 1,3300   |  |
| RP08                         | 20688            | DE    | RP         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | RP_Q_26900400               |                             | 1,009                | 0,9990   |  |
| RP09                         | 20598            | DE    | RP         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | RP_Q_25800600               |                             | 1,002                | 1,1150   |  |
| RP13                         | 20530            | DE    | RP         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | RP_Q_25460409               |                             | 1,000                | 1,1220   |  |
| RP14                         | 20702            | DE    | RP         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | RP_Q_27160406               |                             | 0,994                | 1,1160   |  |
| SL01                         | 20648            | DE    | SL         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | SL_Q_264002200              |                             | 1,107                | 0,9600   |  |
| SL02                         | 20668            | DE    | SL         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | SL_Q_26400550               |                             | 1,039                | 1,0000   |  |
| SL05                         | 20666            | DE    | SL         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | SL_Q_1102220                |                             | 1,026                | 1,0000   |  |
| SL06                         | 20646            | DE    | SL         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | SL_Q_1062220                |                             | 1,054                | 1,0000   |  |
| SN02                         | 50175            | DE    | BB         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | SN_Q_553020                 |                             | 1,371                | 1,1700   |  |
| SN03                         | 50193            | DE    | BB         | JA  | JA  | JA                                  | SN_Q_554560                 |                             | 1,043                | 1,1000   |  |
| SN04                         | 50119            | DE    | SN         | JA  | JA  | JA                                  | SN_Q_501010                 |                             | 1,001                | 1,0000   |  |
| SN06                         | 50280            | DE    | SN         | JA  | JA  | JA                                  | SN_Q_566100                 |                             | 1,917                | 0,9990   |  |

| Gütemessstellen Blei (n=117) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=69) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=96) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=48) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1                                  | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 |
|------------------------------|------------------|-------|------------|---|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|---|--|
| SN07                         | 50279            | DE    | SN         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | SN_Q_562135                 |                             | 0,997                | 1,0100  |  |
| SN08                         | 50284            | DE    | SN         | JA  | JA  | JA                                  | SN_Q_560051                 |                             | 1,042                | 0,9990  |  |
| SN10                         | 60241            | PL    |            | JA  | JA  | JA                                  | SN_Q_660192                 |                             | 0,999                | 1,2400  |  |
| SN11                         | 50147            | DE    | SN         | JA  | JA  | JA                                  | SN_Q_501060                 |                             | 1,002                | 1,0160  |  |
| SN14                         | 50261            | DE    | SN         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | SN_Q_567470                 |                             | 1,001                | 1,0500  |  |
| SN17                         | 50275            | DE    | SN         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | SN_Q_562070                 |                             | 1,081                | 1,0320  |  |
| SN18                         | 50265            | DE    | SN         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | SN_Q_564410                 |                             | 1,002                | 1,0000  |  |
| SN19                         | 50321            | DE    | SN         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | SN_Q_577571                 |                             | 1,058                | 1,0000  |  |
| ST02                         | 50492            | DE    | ST         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | ST_Q_502070                 |                             | 1,004                | 1,0100  |  |
| ST03                         | 50230            | DE    | ST         | JA  | JA  | JA                                  | ST_Q_553060                 |                             | 1,006                | 1,3180  |  |
| ST06                         | 50440            | DE    | ST         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | ST_Q_570810                 |                             | 1,006                | 1,0000  |  |
| ST07                         | 50482            | DE    | ST         | JA  | JA  | JA                                  | ST_Q_570930                 |                             | 0,986                | 1,0000  |  |
| ST09                         | 50353            | DE    | ST         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | ST_Q_576900                 |                             | 0,961                | + 0,09 m <sup>3</sup> /s (MNQ Reide) bzw. + 0,288 m <sup>3</sup> /s (MQ Reide) je nach Bedarf |  |
| TH02                         | 40022            | DE    | TH         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | TH_Q_420170                 |                             | 1,063                | 1,0000  |  |
| TH06                         | 50387            | DE    | TH         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | TH_Q_570330                 |                             | 1,006                | 1,0000  |  |
| TH07                         | 50339            | DE    | TH         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | TH_Q_576520                 |                             | 1,068                | 1,0000  |  |
| TH10                         | 40010            | DE    | TH         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | TH_Q_420020                 |                             | 1,263                | 1,0000  |  |
| TH11                         | 50382            | DE    | TH         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | TH_Q_570270                 |                             | 1,102                | 1,0000  |  |

## 10.4.9 Messstellen für Zink

| Gütemessstellen Zink (n=110) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=76) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=86) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=52) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 |
|------------------------------|------------------|-------|------------|---|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|--|--|
| BB01                         | 60293            | PL    |            | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BB_Q_6602800                |                             | 1,001                | 0,9278   |  |
| BB05                         | 50570            | DE    | BB         | JA  | JA  | JA                                  | BB_Q_5827000                |                             | 1,390                | 0,9983   |  |
| BB06                         | 50631            | DE    | BB         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BB_Q_581591                 |                             | 1,051                | 0,9555   |  |
| BB08                         | 60302            | DE    | BB         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BB_Q_603000                 |                             | 0,993                | 0,9753   |  |
| BB11                         | 50714            | DE    | BB         | JA  | JA  | JA                                  | BB_Q_5892209                |                             | 1,021                | 0,9979   |  |
| BB15                         | 50653            | DE    | BB         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BB_Q_5871500                |                             | 0,998                | 1,0000   |  |
| BW01                         | 20044            | CH    |            | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_3329                   |                             | 1,044                | 1,0300   |  |
| BW041                        | 20118            | DE    | BW         | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_23700200               |                             | 0,992                | 1,0000   |  |
| BW05                         | 20167            | DE    | BW         | JA  | JA  | JA                                  | RP_Q_23700600               |                             | 1,000                | 1,0300   |  |
| BW06                         | 20259            | DE    | BW         | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_23800690               |                             | 0,998                | 1,0900   |  |
| BW07                         | 20222            | DE    | BW         | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_23800500               |                             | 0,997                | 1,0500   |  |
| BW08                         | 20200            | DE    | BW         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BW_Q_427                    |                             | 1,005                | 1,2400   |  |
| BW09                         | 20196            | DE    | BW         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BW_Q_427                    |                             | 0,996                | 1,0000   |  |
| BW101                        | 20182            | DE    | BW         | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_420                    |                             | 0,999                | 1,0000   |  |
| BW131                        | 10013            | DE    | BW         | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_120                    |                             | 1,005                | 1,0000   |  |
| BW20                         | 10037            | DE    | BW         | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_125                    |                             | 1,009                | 1,3800   |  |
| BW21                         | 20036            | DE    | BW         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BW_Q_2341                   |                             | 0,979                | 1,0200   |  |
| BW24                         | 20099            | DE    | BW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BW_Q_390                    |                             | 0,985                | 1,2000   |  |
| BW25                         | 20202            | DE    | BW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BW_Q_23800500               |                             | 1,000                | 0,7400   |  |
| BW27                         | 20233            | DE    | BW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BW_Q_3465                   |                             | 1,001                | 1,0100   |  |
| BW28                         | 20243            | DE    | BW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BW_Q_3470                   |                             | 1,002                | 1,0100   |  |
| BW30                         | 20457            | DE    | BW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BW_Q_44602                  |                             | 1,001                | 1,1200   |  |

| Gütemessstellen Zink (n=110) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=76) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=86) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=52) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 |
|------------------------------|------------------|-------|------------|---|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|--|--|
| BY01                         | 20483            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_24064003               |                             | 1,001                | 1,0600   |  |
| BY02                         | 20399            | DE    | BY         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BY_Q_24300304               |                             | 1,012                | 1,0600   |  |
| BY04                         | 20337            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_24010004               |                             | 1,009                | 1,0400   |  |
| BY07                         | 20371            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_24201501               |                             | 1,243                | 1,2000   |  |
| BY08                         | 50367            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_56001502               |                             | 1,193                | 1,2300   |  |
| BY09                         | 10096            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_10035801               |                             | 1,007                | 1,0000   |  |
| BY11                         | 10400            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_10094006               |                             | 0,997                | 1,0000   |  |
| BY151                        | 10175            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_13407902               |                             | 1,000                | 1,0500   |  |
| BY16                         | 10214            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_14008006               |                             | 1,015                | 1,0000   |  |
| BY17                         | 10296            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_16008506               |                             | 1,028                | 1,0000   |  |
| BY20                         | 10385            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_18008008               |                             | 0,994                | 1,0000   |  |
| BY21                         | 10325            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_18000403               |                             | 1,010                | 1,0000   |  |
| BY27                         | 10382            | DE    | BY         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BY_Q_18005702               |                             | 0,992                | 1,0000   |  |
| BY28                         | 10182            | DE    | BY         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BY_Q_10056302               |                             | 1,005                | 1,0000   |  |
| BY40                         | 10086            | DE    | BY         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BY_Q_11609000               |                             | 1,002                | 1,0000   |  |
| BY41                         | 10155            | DE    | BY         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BY_Q_13208000               |                             | 1,440                | 1,0000   |  |
| BY43                         | 10306            | DE    | BY         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BY_Q_17207508               |                             | 1,009                | 1,0000   |  |
| BY903                        | 20318            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_24143008               |                             | 1,003                | 1,4000   |  |
| BY906                        | 20377            | DE    | BY         | JA  | JA  | JA                                  | BY_Q_24263000               |                             | 1,005                | 1,0500   |  |
| HB01                         | 40276            | DE    | HB         | JA  | JA  | JA                                  | NI_Q_49100101               |                             | 0,999                | 1,0100   |  |
| HE011                        | 20510            | DE    | HE         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BY_Q_24900108               |                             | 1,002                | 1,0000   |  |
| HE02                         | 40082            | DE    | HE         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | NI_Q_42900201               |                             | 0,997                | 1,0000   |  |
| HE03                         | 40036            | DE    | HE         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | NI_Q_41900206               |                             | 0,997                | 1,0000   |  |
| HE05                         | 20507            | DE    | HE         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | HE_Q_24870055               |                             | 1,001                | 1,1500   |  |

| Gütemessstellen Zink (n=110) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=76) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=86) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=52) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 |
|------------------------------|------------------|-------|------------|---|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|--|--|
| HE07                         | 20491            | DE    | HE         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | HE_Q_24784259               |                             | 1,000                | 1,0000   |  |
| HH03                         | 50845            | DE    | HH         | JA  | JA  | JA                                  | NI_Q_5930010                |                             | 1,230                | 1,0250   |  |
| NI07                         | 40231            | DE    | NI         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | NI_Q_4813105                |                             | 1,350                | 1,0000   |  |
| NI11                         | 40192            | DE    | NI         | JA  | JA  | JA                                  | NI_Q_4885154                |                             | 1,005                | 1,0000   |  |
| NI13                         | 40226            | DE    | NI         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NI_Q_4829102                |                             | 1,050                | 1,0000   |  |
| NI14                         | 40326            | DE    | NI         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NI_Q_4965142                |                             | 1,005                | 1,3680   |  |
| NI16                         | 20852            | DE    | NI         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | NI_Q_9286162                |                             | 1,165                | 1,0100   |  |
| NI17                         | 30067            | DE    | NI         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | NI_Q_3691102                |                             | 1,042                | 1,0000   |  |
| NI18                         | 50859            | DE    | NI         | JA  | JA  | JA                                  | NI_Q_5945125                |                             | 1,120                | 1,0000   |  |
| NI20                         | 40163            | DE    | NI         | JA  | JA  | JA                                  | NI_Q_4769112                |                             | 1,049                | 1,0000   |  |
| NI29                         | 40167            | DE    | NI         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NI_Q_47900107               |                             | 1,008                | 1,0000   |  |
| NI34                         | 40201            | DE    | NI         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NI_Q_4886175                |                             | 0,998                | 1,2600   |  |
| NW01                         | 20711            | DE    | NW         | JA  | JA  | JA                                  | NW_Q_2710080                |                             | 1,000                | 0,9987   |  |
| NW03                         | 20735            | DE    | NW         | JA  | JA  | JA                                  | NW_Q_272910000<br>0100      |                             | 1,011                | 0,9976   |  |
| NW06                         | 20737            | DE    | NW         | JA  | JA  | JA                                  | NW_Q_273679000<br>0200      |                             | 1,004                | 0,9941   |  |
| NW07                         | 20752            | DE    | NW         | JA  | JA  | JA                                  | NW_Q_274790000<br>0200      |                             | 1,063                | 0,9873   |  |
| NW091                        | 20783            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_276951000<br>0100      |                             | 1,013                | 0,9301   |  |
| NW13                         | 20819            | DE    | NW         | JA  | JA  | JA                                  | NW_Q_278977000<br>0100      |                             | 1,001                | 0,9789   |  |
| NW17                         | 40138            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_467000000<br>00100     |                             | 0,999                | 0,8989   |  |

| Gütemessstellen Zink (n=110) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=76) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=86) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=52) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 |
|------------------------------|------------------|-------|------------|---|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|--|--|
| NW181                        | 30034            | DE    | NW         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | NW_Q_3390020                |                             | 1,011                | 0,9961   |  |
| NW211                        | 20880            | DE    | NL         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_282910000<br>0100      |                             | 1,043                | 0,9442   |  |
| NW300                        | 20742            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_2750010                |                             | 0,999                | 1,0102   |  |
| NW338                        | 20780            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_276890000<br>0100      |                             | 1,009                | 0,9995   |  |
| NW388                        | 20770            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_276559000<br>0100      |                             | 1,102                | 1,0594   |  |
| NW396                        | 20803            | DE    | NW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NW_Q_278579000<br>0300      |                             | 1,034                | 0,9565   |  |
| RP01R                        | 20599            | DE    | RP         | JA  | JA  | JA                                  | RP_Q_25700100               |                             | 0,998                | 1,0600   |  |
| RP02                         | 20512            | DE    | HE         | JA  | JA  | JA                                  | RP_Q_25100100               | BY_Q_24900108               | 1,004                | 1,0000   | -1,0000  |
| RP03R                        | 20694            | DE    | RP         | JA  | JA  | JA                                  | RP_Q_26900400               |                             | 1,004                | 1,0390   |  |
| RP05                         | 20669            | DE    | RP         | JA  | JA  | JA                                  | SL_Q_26400550               |                             | 1,009                | 1,0580   |  |
| RP06                         | 20541            | DE    | RP         | JA  | JA  | JA                                  | RP_Q_25400804               |                             | 1,014                | 1,0000   |  |
| RP07                         | 20621            | DE    | RP         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | RP_Q_26200505               |                             | 1,015                | 1,3300   |  |
| RP08                         | 20688            | DE    | RP         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | RP_Q_26900400               |                             | 1,009                | 0,9990   |  |
| RP09                         | 20598            | DE    | RP         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | RP_Q_25800600               |                             | 1,002                | 1,1150   |  |
| RP11                         | 20638            | DE    | SL         | JA  | JA  | JA                                  | SL_Q_1373130                |                             | 1,006                | 1,0000   |  |
| RP13                         | 20530            | DE    | RP         | JA  | JA  | JA                                  | RP_Q_25460409               |                             | 1,000                | 1,1220   |  |
| RP14                         | 20702            | DE    | RP         | JA  | JA  | JA                                  | RP_Q_27160406               |                             | 0,994                | 1,1160   |  |
| SL01                         | 20648            | DE    | SL         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | SL_Q_264002200              |                             | 1,107                | 0,9600   |  |
| SL02                         | 20668            | DE    | SL         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | SL_Q_26400550               |                             | 1,039                | 1,0000   |  |
| SL05                         | 20666            | DE    | SL         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | SL_Q_1102220                |                             | 1,026                | 1,0000   |  |
| SL06                         | 20646            | DE    | SL         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | SL_Q_1062220                |                             | 1,054                | 1,0000   |  |

| Gütemessstellen Zink (n=110) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=76) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=86) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=52) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1                                  | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 |
|------------------------------|------------------|-------|------------|---|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|---|--|
| SN02                         | 50175            | DE    | BB         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | SN_Q_553020                 |                             | 1,371                | 1,1700  |  |
| SN03                         | 50193            | DE    | BB         | JA  | JA  | JA                                  | SN_Q_554560                 |                             | 1,043                | 1,1000  |  |
| SN04                         | 50119            | DE    | SN         | JA  | JA  | JA                                  | SN_Q_501010                 |                             | 1,001                | 1,0000  |  |
| SN06                         | 50280            | DE    | SN         | JA  | JA  | JA                                  | SN_Q_566100                 |                             | 1,917                | 0,9990  |  |
| SN07                         | 50279            | DE    | SN         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | SN_Q_562135                 |                             | 0,997                | 1,0100  |  |
| SN08                         | 50284            | DE    | SN         | JA  | JA  | JA                                  | SN_Q_560051                 |                             | 1,042                | 0,9990  |  |
| SN10                         | 60241            | PL    |            | JA  | JA  | JA                                  | SN_Q_660192                 |                             | 0,999                | 1,2400  |  |
| SN11                         | 50147            | DE    | SN         | JA  | JA  | JA                                  | SN_Q_501060                 |                             | 1,002                | 1,0160  |  |
| SN14                         | 50261            | DE    | SN         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | SN_Q_567470                 |                             | 1,001                | 1,0500  |  |
| SN17                         | 50275            | DE    | SN         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | SN_Q_562070                 |                             | 1,081                | 1,0320  |  |
| SN18                         | 50265            | DE    | SN         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | SN_Q_564410                 |                             | 1,002                | 1,0000  |  |
| SN19                         | 50321            | DE    | SN         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | SN_Q_577571                 |                             | 1,058                | 1,0000  |  |
| ST02                         | 50492            | DE    | ST         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | ST_Q_502070                 |                             | 1,004                | 1,0100  |  |
| ST03                         | 50230            | DE    | ST         | JA  | JA  | JA                                  | ST_Q_553060                 |                             | 1,006                | 1,3180  |  |
| ST06                         | 50440            | DE    | ST         | JA  | JA  | JA                                  | ST_Q_570810                 |                             | 1,006                | 1,0000  |  |
| ST07                         | 50482            | DE    | ST         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | ST_Q_570930                 |                             | 0,986                | 1,0000  |  |
| ST08                         | 50430            | DE    | ST         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | ST_Q_573360                 |                             | 1,010                | 1,0185  |  |
| ST09                         | 50353            | DE    | ST         | JA  | JA  | JA                                  | ST_Q_576900                 |                             | 0,961                | + 0,09 m <sup>3</sup> /s (MNQ Reide) bzw. + 0,288 m <sup>3</sup> /s (MQ Reide) je nach Bedarf |  |
| ST11                         | 50752            | DE    | ST         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | ST_Q_594050                 |                             | 1,044                | 1,0000  |  |
| TH02                         | 40022            | DE    | TH         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | TH_Q_420170                 |                             | 1,063                | 1,0000  |  |
| TH06                         | 50387            | DE    | TH         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | TH_Q_570330                 |                             | 1,006                | 1,0000  |  |

| Gütemessstellen Zink (n=110) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=76) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=86) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=52) | Zugeordneter Abflusspegel 1 | Zugeordneter Abflusspegel 2 | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 1 | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel 2 |
|------------------------------|------------------|-------|------------|---|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|--|--|
| TH07                         | 50339            | DE    | TH         | JA  | JA  | JA                                  | TH_Q_576520                 |                             | 1,068                | 1,0000   |  |
| TH10                         | 40010            | DE    | TH         | JA  | JA  | JA                                  | TH_Q_420020                 |                             | 1,263                | 1,0000   |  |
| TH11                         | 50382            | DE    | TH         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | TH_Q_570270                 |                             | 1,102                | 1,0000   |  |

#### 10.4.10 Messstellen für PAK<sub>9</sub>

| Gütemessstellen PAK <sub>9</sub> (n=19) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=14) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=14) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=10) | Zugeordneter Abflusspegel | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel |
|---|------------------|-------|------------|---|---|-------------------------------------|---------------------------|----------------------|--|
| BW041                                   | 20118            | DE    | BW         | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_23700200             | 0,992                | 1,0000   |
| BW06                                    | 20259            | DE    | BW         | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_23800690             | 0,998                | 1,0900   |
| BW07                                    | 20222            | DE    | BW         | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_23800500             | 0,997                | 1,0500   |
| BW08                                    | 20200            | DE    | BW         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BW_Q_427                  | 1,005                | 1,2400   |
| BW09                                    | 20196            | DE    | BW         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | BW_Q_427                  | 0,996                | 1,0000   |
| BW20                                    | 10037            | DE    | BW         | JA  | JA  | JA                                  | BW_Q_125                  | 1,009                | 1,3800   |
| BW30                                    | 20457            | DE    | BW         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BW_Q_44602                | 1,001                | 1,1200   |
| HE011                                   | 20510            | DE    | HE         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | BY_Q_24900108             | 1,002                | 1,0000   |
| HH03                                    | 50845            | DE    | HH         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | NI_Q_5930010              | 1,230                | 1,0250   |
| SN02                                    | 50175            | DE    | BB         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | SN_Q_553020               | 1,371                | 1,1700   |
| SN03                                    | 50193            | DE    | BB         | JA  | JA  | JA                                  | SN_Q_554560               | 1,043                | 1,1000   |
| SN04                                    | 50119            | DE    | SN         | JA  | JA  | JA                                  | SN_Q_501010               | 1,001                | 1,0000   |
| SN06                                    | 50280            | DE    | SN         | JA  | JA  | JA                                  | SN_Q_566100               | 1,917                | 0,9990   |
| SN07                                    | 50279            | DE    | SN         | NEIN                                      | JA  | NEIN                                | SN_Q_562135               | 0,997                | 1,0100   |

| Gütemessstellen PAK <sub>9</sub> (n=19) | Analysegebiet ID | Staat | Bundesland | gültig im Bilanzzeitraum 2006-2008 (n=14) | gültig im Bilanzzeitraum 2009-2011 (n=14) | gültig im Zeitraum 2006-2011 (n=10) | Zugeordneter Abflusspegel | Faktor Analysegebiet | Umrechnungsfaktor Lage der Gütemessstelle zum Abflusspegel |
|---|------------------|-------|------------|---|---|-------------------------------------|---------------------------|----------------------|--|
| SN08                                    | 50284            | DE    | SN         | JA  | JA  | JA                                  | SN_Q_560051               | 1,042                | 0,9990   |
| SN10                                    | 60241            | PL    |            | JA  | JA  | JA                                  | SN_Q_660192               | 0,999                | 1,2400   |
| SN11                                    | 50147            | DE    | SN         | JA  | JA  | JA                                  | SN_Q_501060               | 1,002                | 1,0160   |
| ST02                                    | 50492            | DE    | ST         | NEIN                                      | NEIN                                      | NEIN                                | ST_Q_502070               | 1,004                | 1,0100   |
| ST07                                    | 50482            | DE    | ST         | JA  | NEIN                                      | NEIN                                | ST_Q_570930               | 0,986                | 1,0000   |

## 10.5 Gütemessstellen deren Einzugsgebiet vollständig in Deutschland liegt

| Gütemessstelle | Analysegebiet ID | Bundesland |
|----------------|------------------|------------|
| BB06           | 50631            | BB         |
| BB09           | 60452            | BB         |
| BB10           | 60267            | BB         |
| BB11           | 50714            | BB         |
| BB13           | 50586            | BB         |
| BB14           | 50653            | BB         |
| BB14           | 50653            | BB         |
| BB16           | 50666            | BB         |
| BB18           | 50203            | BB         |
| BB21           | 60467            | BB         |
| BW02           | 20063            | BW         |
| BW06           | 20259            | BW         |
| BW07           | 20222            | BW         |
| BW08           | 20200            | BW         |
| BW09           | 20196            | BW         |
| BW09           | 20196            | BW         |
| BW11           | 20176            | BW         |
| BW11           | 20176            | BW         |
| BW131          | 10013            | BW         |
| BW15           | 20023            | BW         |
| BW16           | 20017            | BW         |
| BW17           | 20025            | BW         |
| BW20           | 10037            | BW         |
| BW21           | 20036            | BW         |
| BW22           | 20049            | BW         |
| BW24           | 20099            | BW         |
| BW25           | 20202            | BW         |
| BW26           | 20215            | BW         |
| BW27           | 20233            | BW         |
| BW28           | 20243            | BW         |
| BW30           | 20457            | BW         |
| BW92           | 20086            | BW         |
| BY01           | 20483            | BY         |
| BY02           | 20399            | BY         |
| BY03           | 20387            | BY         |
| BY04           | 20337            | BY         |
| BY06           | 20418            | BY         |
| BY07           | 20371            | BY         |
| BY22           | 10379            | BY         |
| BY23           | 10387            | BY         |
| BY40           | 10086            | BY         |

| Gütemessstelle | Analysegebiet ID | Bundesland |
|----------------|------------------|------------|
| BY41           | 10155            | BY         |
| BY43           | 10306            | BY         |
| BY44           | 10114            | BY         |
| BY903          | 20318            | BY         |
| BY904          | 20348            | BY         |
| BY905          | 20355            | BY         |
| BY906          | 20377            | BY         |
| HB01           | 40276            | HB         |
| HB01           | 40276            | HB         |
| HE02           | 40082            | HE         |
| HE03           | 40036            | HE         |
| HE05           | 20507            | HE         |
| HE07           | 20491            | HE         |
| HE08           | 20279            | HE         |
| HE09           | 20576            | HE         |
| HE10           | 40054            | HE         |
| HE12           | 40074            | HE         |
| HE13           | 40109            | HE         |
| HE13           | 40109            | HE         |
| MV01           | 50786            | MV         |
| MV02           | 50830            | MV         |
| MV03           | 82037            | MV         |
| MV04           | 60539            | MV         |
| MV05           | 60550            | MV         |
| MV07           | 82017            | MV         |
| MV08           | 82027            | MV         |
| MV09           | 82034            | MV         |
| MV12           | 82047            | MV         |
| NI07           | 40231            | NI         |
| NI08           | 40239            | NI         |
| NI10           | 40170            | NI         |
| NI11           | 40192            | NI         |
| NI13           | 40226            | NI         |
| NI14           | 40326            | NI         |
| NI17           | 30067            | NI         |
| NI18           | 50859            | NI         |
| NI19           | 40309            | HB         |
| NI20           | 40163            | NI         |
| NI21           | 50807            | NI         |
| NI22           | 50942            | NI         |
| NI29           | 40167            | NI         |
| NI31           | 40250            | NI         |
| NI33           | 40183            | NI         |

| Gütemessstelle | Analysegebiet ID | Bundesland |
|----------------|------------------|------------|
| NI34           | 40201            | NI         |
| NI35           | 40305            | NI         |
| NI36           | 40287            | NI         |
| NI37           | 40321            | NI         |
| NI39           | 40334            | NI         |
| NW02           | 20826            | NW         |
| NW03           | 20735            | NW         |
| NW03           | 20735            | NW         |
| NW06           | 20737            | NW         |
| NW07           | 20752            | NW         |
| NW08           | 20744            | NW         |
| NW08           | 20744            | NW         |
| NW10           | 20770            | NW         |
| NW10           | 20770            | NW         |
| NW11           | 20776            | NW         |
| NW12           | 20765            | NW         |
| NW13           | 20819            | NW         |
| NW15           | 20814            | NW         |
| NW15           | 20814            | NW         |
| NW17           | 40138            | NW         |
| NW17           | 40138            | NW         |
| NW20           | 20889            | NW         |
| NW314          | 20734            | NW         |
| NW338          | 20780            | NW         |
| NW340          | 20714            | NW         |
| NW341          | 40064            | NW         |
| NW342          | 20817            | NW         |
| NW352          | 20806            | NW         |
| NW367          | 30006            | NW         |
| NW374          | 20832            | NW         |
| NW381          | 30021            | NW         |
| NW391          | 20738            | NW         |
| NW392          | 20900            | NW         |
| NW394          | 20767            | NW         |
| NW395          | 20795            | NW         |
| NW396          | 20803            | NW         |
| NW397          | 40129            | NW         |
| NW398          | 40134            | NW         |
| NW399          | 40137            | NW         |
| NW400          | 40100            | NW         |
| NW401          | 40112            | NW         |
| NW402          | 40117            | NW         |
| NW403          | 40156            | NW         |

| Gütemessstelle | Analysegebiet ID | Bundesland |
|----------------|------------------|------------|
| NW404          | 20838            | NW         |
| NW405          | 20837            | NW         |
| NW406          | 30013            | NW         |
| RP04           | 20602            | RP         |
| RP06           | 20541            | RP         |
| RP09           | 20598            | RP         |
| RP12           | 20148            | RP         |
| RP13           | 20530            | RP         |
| RP14           | 20702            | RP         |
| SH09           | 50917            | SH         |
| SH13           | 81017            | SH         |
| SH15           | 81027            | SH         |
| SL03           | 20655            | RP         |
| SL03           | 20655            | RP         |
| SN01           | 60198            | SN         |
| SN02           | 50175            | BB         |
| SN03           | 50193            | BB         |
| SN13           | 50528            | SN         |
| SN18           | 50265            | SN         |
| SN19           | 50321            | SN         |
| ST03           | 50230            | ST         |
| ST08           | 50430            | ST         |
| ST11           | 50752            | ST         |
| TH02           | 40022            | TH         |
| TH05           | 50389            | TH         |
| TH09           | 50411            | TH         |
| TH10           | 40010            | TH         |

## 10.6 Planungseinheiten

### 10.6.1 Änderungen der ursprünglichen Zuweisung nach Land

| ID AU | Neuzuweisung zu ID PE | Ursprüngliche Zuweisung zu PE                    | Land  |
|-------|-----------------------|--|-------|
| 20902 | MAA_NORD              | DRH_DEL, MAA_NORD                                | DE_NW |
| 40038 | FUL_PE04              | FUL_PE04, UM_PE01, UM_PE02                       | DE_BY |
| 50147 | MES_ES2               | MES_ES1, MES_ES2, MES_SE                         | DE_SN |
| 50227 | MES_SE                | MES_ES2, MES_SE                                  | DE_SN |
| 50497 | MEL_PE07              | ALL_PE04, HAV_PE04, MEL_PE02, MEL_PE03, MEL_PE07 | DE_ST |
| 50893 | TEL_KAB               | TEL_IES, TEL_KAB, TEL_TES                        | DE_HH |

## 10.6.2 Übersicht der Planungseinheiten

| ID PE      | Name  | Land   | Koordinierungsraum  | Fläche [km <sup>2</sup> ] | Anzahl AU vollständig | Anzahl AU teil-weise |
|------------|---|--------|---------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------|
| ALL_PE01   | Aller/Böhme   | NI     | Aller               | 1491,650                  | 9                     | 0                    |
| ALL_PE02   | Aller/Örtze   | NI     | Aller               | 2280,290                  | 20                    | 0                    |
| ALL_PE03   | Fuhse/Wietze  | NI     | Aller               | 1901,560                  | 7                     | 0                    |
| ALL_PE04   | Aller/Quelle  | NI, ST | Aller               | 1702,680                  | 12                    | 0                    |
| ALL_PE05   | Oker  | NI, ST | Aller               | 1819,870                  | 11                    | 0                    |
| AP_PE01    | Altmühl   | BY     | Donau               | 3260,580                  | 17                    | 2                    |
| AP_PE02    | Untere Paar/<br>Donaumoos   | BY     | Donau               | 1827,490                  | 17                    | 2                    |
| AP_PE03    | Ilm/Abens   | BY     | Donau               | 1046,080                  | 3                     | 2                    |
| AP_PE04    | Obere Paar  | BY     | Donau               | 563,030                   | 1                     | 0                    |
| ARB_PE10   | Argen (BW)  | BY, BW | Alpenrhein/Bodensee | 442,740                   | 4                     | 0                    |
| ARB_PE11   | Schussen  | BW     | Alpenrhein/Bodensee | 828,330                   | 6                     | 0                    |
| ARB_PE12   | Bodenseegebiet (BW)<br>unterh. Schussen bis<br>oberh. Eschenzer Hor | BW     | Alpenrhein/Bodensee | 1251,990                  | 11                    | 1                    |
| BO_PE01    | Bodensee  | BY     | Alpenrhein/Bodensee | 597,030                   | 5                     | 0                    |
| DON_PE60   | Donau bis einschl.<br>Donauversickerung                             | BW     | Donau               | 1298,850                  | 4                     | 0                    |
| DON_PE61   | Donau unterh.<br>Donauversickerung bis<br>einschl. Lauchert         | BW     | Donau               | 844,920                   | 4                     | 0                    |
| DON_PE62   | Ablach-Kanzach  | BW     | Donau               | 1141,880                  | 11                    | 0                    |
| DON_PE63   | Große Lauter  | BW     | Donau               | 1037,580                  | 12                    | 0                    |
| DON_PE64   | Pfinz-Saalbach-<br>Kraichbach                                       | BY, BW | Donau               | 1675,280                  | 14                    | 0                    |
| DON_PE65   | Donau (BW) unterh. Iller  | BY, BW | Donau               | 2068,150                  | 22                    | 1                    |
| DRH_DEL    | Deltarheinzuflüsse NRW  | NW     | Deltarhein          | 135,600                   | 1                     | 0                    |
| DRH_ISS    | Issel/Berkel NRW  | NW     | Deltarhein          | 1426,110                  | 5                     | 0                    |
| DRH_VEC    | Vechte  | NI, NW | Deltarhein          | 1810,440                  | 16                    | 0                    |
| EID_ABK    | Arlau / Bongsieler Kanal  | SH     | Eider               | 3842,670                  | 12                    | 1                    |
| EID_EIT    | Eider / Treene  | SH     | Eider               | 4417,410                  | 11                    | 1                    |
| EID_MIE    | Miele   | SH     | Eider               | 1096,920                  | 5                     | 0                    |
| EMN_EMA    | Ems-Ästuar  | NI     | Ems-Ästuar          | 334,860                   | 4                     | 1                    |
| EMN_EMA_00 | Ems-Ästuar bis 12 sm  | NI     | Ems-Ästuar          | 159,380                   | 0                     | 0                    |
| EMN_LED    | Leda-Jümme  | NI     | Leda-Jümme          | 2163,220                  | 17                    | 0                    |
| EMN_UEM    | Untere Ems  | NI     | Untere Ems          | 3431,800                  | 22                    | 2                    |
| EMN_UEM_00 | Untere Ems bis 12 sm  | NI     | Untere Ems          | 1810,640                  | 0                     | 0                    |

| ID PE    | Name  | Land           | Koordinierungsraum | Fläche [km <sup>2</sup> ] | Anzahl AU vollständig | Anzahl AU teilweise |
|----------|---|----------------|--------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------|
| EMS_EMN  | Ems/Nordradde                                     | NI             | Ems/Nordradde      | 1494,750                  | 12                    | 0                   |
| EMS_HAS  | Hase  | NI, NW         | Hase               | 3093,830                  | 21                    | 0                   |
| EMS_OEM  | Obere Ems   | NI, NW         | Obere Ems          | 4828,350                  | 46                    | 0                   |
| FUL_PE01 | Diemel  | HE, NW         | Fulda/Diemel       | 1764,280                  | 17                    | 0                   |
| FUL_PE02 | Eder  | HE, NW         | Fulda/Diemel       | 2060,320                  | 16                    | 0                   |
| FUL_PE03 | Schwalm   | HE             | Fulda/Diemel       | 1298,760                  | 7                     | 0                   |
| FUL_PE04 | Fulda   | BY, HE, NI, TH | Fulda/Diemel       | 3586,480                  | 23                    | 1                   |
| HAV_PE01 | Obere Havel                                       | BB, BE, MV     | Havel              | 3399,400                  | 36                    | 0                   |
| HAV_PE02 | Rhin  | BB, MV, ST     | Havel              | 1743,030                  | 16                    | 0                   |
| HAV_PE03 | Dosse-Jäglitz                                     | BB, MV, ST     | Havel              | 1434,490                  | 9                     | 0                   |
| HAV_PE04 | Untere Havel                                      | BB, BE, ST     | Havel              | 4668,520                  | 49                    | 0                   |
| HAV_PE05 | Plane-Buckau                                      | BB, ST         | Havel              | 950,270                   | 9                     | 0                   |
| HAV_PE06 | Nuthe   | BB, BE         | Havel              | 1801,640                  | 13                    | 0                   |
| HAV_PE07 | Untere Spree 2                                    | BB, BE         | Havel              | 1523,220                  | 17                    | 2                   |
| HAV_PE08 | Dahme   | BB, BE         | Havel              | 2099,160                  | 12                    | 0                   |
| HAV_PE09 | Untere Spree 1                                    | BB             | Havel              | 1599,400                  | 9                     | 2                   |
| HAV_PE10 | Mittlere Spree                                    | BB             | Havel              | 2479,950                  | 24                    | 2                   |
| HAV_PE11 | Obere Spree                                       | BB, SN         | Havel              | 2083,740                  | 14                    | 1                   |
| HRH_PE20 | Hochrhein (BW)<br>Eschenzer Horn bis oberh. Aare  | BW             | Hochrhein          | 1253,490                  | 12                    | 1                   |
| HRH_PE21 | Hochrhein (BW) unterh.<br>Aare bis einschl. Wiese | BW             | Hochrhein          | 1085,650                  | 6                     | 0                   |
| IL_PE01  | Unterer Lech                                      | BY             | Donau              | 553,960                   | 2                     | 0                   |
| IL_PE02  | Mittlerer und Oberer<br>Lech/Wertach              | BY             | Donau              | 2464,930                  | 14                    | 0                   |
| IL_PE03  | Schmutter/Zusam/<br>Mindel/Günz                   | BY             | Donau              | 3155,010                  | 14                    | 1                   |
| IL_PE04  | Iller   | BY             | Donau              | 1534,560                  | 12                    | 1                   |
| IL_PE05  | Untere Günz und<br>Mindel/Kessel                  | BY             | Donau              | 1029,190                  | 19                    | 1                   |
| IL_PE06  | Wörnitz/Untere Eger                               | BY             | Donau              | 1376,700                  | 5                     | 0                   |
| IN_PE01  | Untere Donau                                      | BY             | Donau              | 1351,910                  | 14                    | 0                   |
| IN_PE02  | Vils (Niederbayern)                               | BY             | Donau              | 2546,130                  | 16                    | 1                   |
| IN_PE03  | Rott  | BY             | Donau              | 1684,000                  | 6                     | 1                   |
| IN_PE04  | Mittlerer Inn                                     | BY             | Donau              | 2101,150                  | 9                     | 0                   |
| IN_PE05  | Tiroler<br>Achen/Traun/Chiemsee/A<br>lz           | BY             | Donau              | 1493,260                  | 8                     | 1                   |

| ID PE    | Name   | Land       | Koordinierungsraum | Fläche [km <sup>2</sup> ] | Anzahl AU vollständig | Anzahl AU teilweise |
|----------|--|------------|--------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------|
| IN_PE06  | Oberer Inn/Tegernsee                               | BY         | Donau              | 1611,820                  | 17                    | 0                   |
| IN_PE07  | Salzach/Saalach/Waginger-Tachinger See             | BY         | Donau              | 1173,650                  | 10                    | 1                   |
| IS_PE01  | Kleine und Große Laaber                            | BY         | Donau              | 854,340                   | 2                     | 3                   |
| IS_PE02  | Nördliche Donauzuflüsse (Straubing bis Deggendorf) | BY         | Donau              | 727,530                   | 4                     | 3                   |
| IS_PE03  | Untere Isar (ab Landshut)                          | BY         | Donau              | 1524,880                  | 8                     | 4                   |
| IS_PE04  | Amper/Ammersee/Starnberger See                     | BY         | Donau              | 2483,770                  | 14                    | 0                   |
| IS_PE05  | Mittlere Isar (Loisach bis Landshut)               | BY         | Donau              | 2008,660                  | 9                     | 0                   |
| IS_PE06  | Ammer/Staffelsee                                   | BY         | Donau              | 711,640                   | 3                     | 0                   |
| IS_PE07  | Obere Isar (bis Loisach)/Walchensee/Kochelsee      | BY         | Donau              | 1713,750                  | 11                    | 0                   |
| LAN      | Lausitzer Neiße                                    | BB, SN     | Lausitzer Neiße    | 1407,470                  | 53                    | 0                   |
| LEI_PE01 | Leine/Westaue                                      | NI         | Leine              | 2281,670                  | 15                    | 1                   |
| LEI_PE02 | Innerste   | NI         | Leine              | 1265,240                  | 7                     | 0                   |
| LEI_PE03 | Leine/Ilme   | HE, NI, TH | Leine              | 1783,310                  | 9                     | 1                   |
| LEI_PE04 | Rhume  | NI, TH     | Leine              | 1192,100                  | 13                    | 0                   |
| MAA_NORD | Maas Nord NRW                                      | NW         | Maas               | 1760,990                  | 11                    | 0                   |
| MAA_SUED | Maas Sued NRW                                      | NW         | Maas               | 2236,020                  | 16                    | 0                   |
| MAI_PE01 | Rodau, Gersprenz, Mümling                          | HE         | Main               | 1108,900                  | 3                     | 5                   |
| MAI_PE02 | Gewässer Vordertaunus und Nidda                    | HE         | Main               | 2232,510                  | 12                    | 3                   |
| MAI_PE03 | Kinzig   | HE         | Main               | 1053,730                  | 5                     | 2                   |
| MAI_PE50 | Tauber (BW)  | BY, BW     | Main               | 1185,600                  | 11                    | 2                   |
| MAI_PE51 | Main (BW) unterh. Tauber                           | BY, BW, HE | Main               | 447,650                   | 4                     | 0                   |
| MEL_PE01 | Nuthe  | BB, ST     | Mittelbe-Elde      | 547,620                   | 5                     | 0                   |
| MEL_PE02 | Ehle   | BB, ST     | Mittelbe-Elde      | 530,730                   | 2                     | 0                   |
| MEL_PE03 | Ohre   | NI, ST     | Mittelbe-Elde      | 1776,050                  | 14                    | 0                   |
| MEL_PE04 | Tanger   | ST         | Mittelbe-Elde      | 466,590                   | 3                     | 0                   |
| MEL_PE05 | Milde-Biese-Aland                                  | NI, ST     | Mittelbe-Elde      | 1910,220                  | 10                    | 0                   |
| MEL_PE06 | Jeetze - Seege                                     | NI, ST     | Mittelbe-Elde      | 2420,890                  | 22                    | 2                   |

| ID PE    | Name                                     | Land               | Koordinierungsraum         | Fläche [km <sup>2</sup> ] | Anzahl AU vollständig | Anzahl AU teilweise |
|----------|--|--------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------|
| MEL_PE07 | Elbe von Saale bis Havel                 | BB, ST             | Mittelelbe-Elde            | 721,950                   | 10                    | 0                   |
| MEL_PE08 | Elbe von Havel bis Geesthacht            | BB, MV, NI, SH, ST | Mittelelbe-Elde            | 231,530                   | 11                    | 3                   |
| MEL_PE09 | Stepenitz-Karthane-Löcknitz              | BB, MV, NI, ST     | Mittelelbe-Elde            | 2242,040                  | 13                    | 1                   |
| MEL_PE10 | Elde-Müritz                              | BB, MV, NI         | Mittelelbe-Elde            | 2693,180                  | 19                    | 1                   |
| MEL_PE11 | Sude                                     | MV, NI, SH         | Mittelelbe-Elde            | 3011,640                  | 32                    | 2                   |
| MES_ES1  | Elbestrom 1                              | SN                 | Mulde-Elbe-Schwarze Elster | 2341,030                  | 21                    | 0                   |
| MES_ES2  | Elbestrom 2                              | BB, SN, ST         | Mulde-Elbe-Schwarze Elster | 3062,000                  | 28                    | 0                   |
| MES_FM   | Freiberger Mulde                         | SN                 | Mulde-Elbe-Schwarze Elster | 2662,410                  | 13                    | 0                   |
| MES_SE   | Schwarze Elster                          | BB, SN, ST         | Mulde-Elbe-Schwarze Elster | 5655,220                  | 72                    | 0                   |
| MES_VM   | Vereinigte Mulde                         | SN, ST             | Mulde-Elbe-Schwarze Elster | 2055,720                  | 18                    | 0                   |
| MES_ZM   | Zwickauer Mulde                          | SN, TH             | Mulde-Elbe-Schwarze Elster | 2272,920                  | 13                    | 0                   |
| MOD      | Mittlere Oder                            | BB                 | Mittlere Oder              | 690,770                   | 8                     | 1                   |
| MOS_BLS  | Blies                                    | RP, SL             | Mosel/Saar                 | 1569,060                  | 18                    | 1                   |
| MOS_EFB  | Elzbach/Flaumbach-Baybach                | RP                 | Mosel/Saar                 | 1245,280                  | 3                     | 5                   |
| MOS_KYL  | KYLL                                     | RP, NW             | Mosel/Saar                 | 846,420                   | 2                     | 2                   |
| MOS_MOS  | Mosel                                    | RP, SL             | Mosel/Saar                 | 779,820                   | 6                     | 7                   |
| MOS_PRI  | Prims                                    | RP, SL             | Mosel/Saar                 | 734,700                   | 9                     | 0                   |
| MOS_PSA  | Pr <sup>2</sup> m/SauerSauer             | RP, NW             | Mosel/Saar                 | 1343,250                  | 11                    | 1                   |
| MOS_RUS  | Ruwer-Drohn/Salm-Lieser                  | RP                 | Mosel/Saar                 | 1702,620                  | 9                     | 5                   |
| MOS_SAA  | Saar                                     | RP, SL             | Mosel/Saar                 | 1283,040                  | 9                     | 1                   |
| MRH_ALW  | Alsenz-Wiesbach                          | RP                 | Mittelrhein                | 720,710                   | 3                     | 2                   |
| MRH_GLA  | Glan                                     | RP, SL             | Mittelrhein                | 1225,440                  | 7                     | 2                   |
| MRH_LAH  | Dill/Mittlere Lahn Nord/Untere Lahn      | RP, NW, HE         | Mittelrhein                | 5933,120                  | 51                    | 1                   |
| MRH_NAH  | Nahe                                     | RP, SL             | Mittelrhein                | 2124,650                  | 15                    | 3                   |
| MRH_PE01 | Ahr/Erft/Mittelrhein/Nett e/Wisper       | RP, NW, HE         | Mittelrhein                | 2556,240                  | 19                    | 2                   |
| MRH_SAW  | Saynbach/Wied                            | RP, NW             | Mittelrhein                | 993,490                   | 5                     | 0                   |
| NEC_PE40 | Neckar bis einschl. Starzel              | BW                 | Neckar                     | 1712,490                  | 10                    | 0                   |
| NEC_PE41 | Neckar unterh. Starzel bis einschl. Fils | BW                 | Neckar                     | 2249,870                  | 18                    | 0                   |

| ID PE    | Name   | Land       | Koordinierungsraum | Fläche [km <sup>2</sup> ] | Anzahl AU vollständig | Anzahl AU teilweise |
|----------|--|------------|--------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------|
| NEC_PE42 | Neckar unterh. Fils bis oberh. Enz                   | BW         | Neckar             | 1626,660                  | 7                     | 0                   |
| NEC_PE43 | Große Enz  | BW         | Neckar             | 327,660                   | 1                     | 1                   |
| NEC_PE44 | Nagold   | BW         | Neckar             | 1144,440                  | 4                     | 1                   |
| NEC_PE45 | Enz unterh. Nagold bis Mündung Neckar                | BW         | Neckar             | 756,250                   | 7                     | 1                   |
| NEC_PE46 | Neckar unterh. Enz bis oberh. Kocher                 | BW         | Neckar             | 663,480                   | 7                     | 1                   |
| NEC_PE47 | Kocher   | BW         | Neckar             | 1960,890                  | 11                    | 1                   |
| NEC_PE48 | Jagst  | BW, BY     | Neckar             | 1836,860                  | 9                     | 1                   |
| NEC_PE49 | Neckar unterh. Kocher (ohne Jagst) bis Mündung Rhein | BY, BW, HE | Neckar             | 1660,320                  | 16                    | 2                   |
| NR_PE01  | Waldnaab/Haidenaab                                   | BY         | Donau              | 1696,310                  | 8                     | 0                   |
| NR_PE02  | Naab/Schwarze Laber                                  | BY         | Donau              | 2984,240                  | 17                    | 3                   |
| NR_PE03  | Viils (Oberpfalz)                                    | BY         | Donau              | 1102,960                  | 3                     | 1                   |
| NR_PE04  | Regen  | BY         | Donau              | 3638,180                  | 16                    | 7                   |
| NRH_EMR  | Emscher  | NW         | Niederrhein        | 857,810                   | 1                     | 0                   |
| NRH_ERF  | Erft   | NW         | Niederrhein        | 1799,240                  | 11                    | 0                   |
| NRH_LIP  | Lippe  | NW         | Niederrhein        | 4889,700                  | 31                    | 0                   |
| NRH_RHE  | Rheingraben-Nord                                     | NW         | Niederrhein        | 3194,140                  | 20                    | 0                   |
| NRH_RUH  | Ruhr   | NW         | Niederrhein        | 4484,940                  | 23                    | 0                   |
| NRH_SIE  | Sieg   | HE, NW, RP | Niederrhein        | 2876,770                  | 25                    | 0                   |
| NRH_WUP  | Wupper   | NW         | Niederrhein        | 810,820                   | 3                     | 0                   |
| OM_PE01  | Oberer Main/Itz                                      | BY, TH     | Main               | 2271,420                  | 22                    | 2                   |
| OM_PE02  | Roter und Weißer Main/Rodach/Steinach                | BY, TH     | Main               | 2171,920                  | 21                    | 0                   |
| ORH_ISE  | Isenach-Eckbach                                      | RP         | Oberrhein          | 708,760                   | 6                     | 2                   |
| ORH_PE14 | Oberer Oberrhein                                     | BW, RP     | Oberrhein          | 154,800                   | 9                     | 7                   |
| ORH_PE30 | Kander-Möhlín  | BW         | Oberrhein          | 683,890                   | 2                     | 0                   |
| ORH_PE31 | Elz-Dreisam  | BW         | Oberrhein          | 1613,580                  | 8                     | 0                   |
| ORH_PE32 | Kinzig   | BW         | Oberrhein          | 1426,090                  | 12                    | 0                   |
| ORH_PE33 | Acher-Rench  | BW         | Oberrhein          | 922,020                   | 7                     | 1                   |
| ORH_PE34 | Murg-Alb   | BW, RP     | Oberrhein          | 1127,590                  | 7                     | 3                   |
| ORH_PE35 | Pfinz-Saalbach-Kraichbach                            | BW, RP     | Oberrhein          | 1613,540                  | 13                    | 7                   |
| ORH_PE36 | Oberrhein unterh. Neckarmündung                      | BW, HE, RP | Oberrhein          | 2069,210                  | 25                    | 6                   |

| ID PE      | Name                                  | Land       | Koordinierungsraum   | Fläche [km <sup>2</sup> ] | Anzahl AU vollständig | Anzahl AU teilweise |
|------------|---------------------------------------|------------|----------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------|
| ORH_SLZ    | Selz-Pfrimm                           | RP         | Oberrhein            | 1111,830                  | 5                     | 3                   |
| ORH_SPY    | Speyerbach                            | RP         | Oberrhein            | 783,600                   | 6                     | 3                   |
| ORH_SQW    | Sauerbach/Queich-Klingbach/Wieslauter | BW, RP     | Oberrhein            | 1274,900                  | 9                     | 3                   |
| PE_BWSMAI  | Bundeswasserstraße Main               | BY, HE     | Main                 | 336,440                   | 2                     | 5                   |
| RE_PE01    | Untere Regnitz/Aisch                  | BY         | Main                 | 1764,340                  | 10                    | 4                   |
| RE_PE02    | Obere Regnitz/Zenn/Schwabach          | BY         | Main                 | 1089,200                  | 9                     | 3                   |
| RE_PE03    | Rednitz/Rezat/Untere Pegnitz          | BY         | Main                 | 2312,840                  | 15                    | 1                   |
| RE_PE04    | Wiesent/östliche Regnitzzuflüsse      | BY         | Main                 | 1240,310                  | 8                     | 5                   |
| RE_PE05    | Mittlere und obere Pegnitz            | BY         | Main                 | 1116,750                  | 2                     | 1                   |
| SAL_BOD    | Bode von Quelle bis Großer Graben     | NI, ST, TH | Saale                | 1248,200                  | 12                    | 0                   |
| SAL_BOM    | Bode von Großer Graben bis Mündung    | ST         | Saale                | 718,180                   | 5                     | 0                   |
| SAL_EGE    | Eger                                  | BY         | Eger und Untere Elbe | 912,230                   | 1                     | 0                   |
| SAL_GER    | Gera                                  | TH         | Saale                | 1077,400                  | 5                     | 0                   |
| SAL_GGR    | Großer Graben                         | NI, ST     | Saale                | 850,180                   | 10                    | 0                   |
| SAL_HEL    | Helme                                 | NI, ST, TH | Saale                | 1310,920                  | 14                    | 0                   |
| SAL_ILM    | Ilm                                   | ST, TH     | Saale                | 1031,590                  | 2                     | 0                   |
| SAL_MSA    | Mittlere Saale                        | ST, TH     | Saale                | 1448,620                  | 7                     | 0                   |
| SAL_OUN    | Obere Unstrut                         | TH         | Saale                | 863,350                   | 3                     | 0                   |
| SAL_OWE    | Obere Weiße Elster / Eger             | SN, TH     | Saale                | 990,770                   | 8                     | 1                   |
| SAL_OWE_SN | Sächsische Weiße Elster / Eger        | BY, SN, TH | Saale                | 1277,620                  | 10                    | 0                   |
| SAL_SAL    | Saale/Obere Saale                     | BY, SN, TH | Saale                | 1950,600                  | 17                    | 0                   |
| SAL_SCH    | Schwarza                              | TH         | Saale                | 505,030                   | 3                     | 0                   |
| SAL_SEL    | Selke                                 | ST, TH     | Saale                | 482,550                   | 3                     | 0                   |
| SAL_SEW    | Saale von Weiße Elster bis Wipper     | ST         | Saale                | 1140,980                  | 7                     | 0                   |
| SAL_SIE    | Saale von Ilm bis Weiße Elster        | SN, ST, TH | Saale                | 1236,510                  | 13                    | 0                   |
| SAL_SWI    | Saale von Wipper bis Mündung          | SN, ST     | Saale                | 1144,460                  | 12                    | 0                   |

| ID PE      | Name   | Land           | Koordinierungsraum | Fläche [km <sup>2</sup> ] | Anzahl AU vollständig | Anzahl AU teilweise |
|------------|--|----------------|--------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------|
| SAL_UNS    | Mittlere und Untere Unstrut                  | ST, TH         | Saale              | 2457,750                  | 15                    | 0                   |
| SAL_UWE    | Untere Weiße Elster / Pleiße                 | SN, ST, TH     | Saale              | 1298,850                  | 14                    | 1                   |
| SAL_UWE_SN | Sächsische Weiße Elster / Pleiße             | SN, ST, TH     | Saale              | 1788,870                  | 18                    | 0                   |
| SAL_WIS    | Wipper                                       | ST             | Saale              | 621,220                   | 3                     | 0                   |
| SAL_WIU    | Bode/Wipper                                  | TH             | Saale              | 671,930                   | 3                     | 0                   |
| STH        | Stettiner Haff                               | BB, MV         | Stettiner Haff     | 3912,010                  | 31                    | 4                   |
| STR_KOG    | Kossau / Oldenburger Graben                  | SH             | Schlei/Trave       | 4109,020                  | 19                    | 1                   |
| STR_SLE    | Schlei                                       | SH             | Schlei/Trave       | 1618,770                  | 11                    | 0                   |
| STR_STEP   | Stepenitz                                    | MV, SH         | Schlei/Trave       | 760,380                   | 7                     | 0                   |
| STR_SWE    | Schwentine                                   | SH             | Schlei/Trave       | 759,780                   | 3                     | 0                   |
| STR_TRA    | Trave  | MV, SH         | Schlei/Trave       | 1968,100                  | 12                    | 1                   |
| TEL_HAD    | Hadeln                                       | NI             | Tide-Elbe          | 623,150                   | 5                     | 0                   |
| TEL_IES    | Ilmenau/Este/Seeve                           | HH, NI, ST     | Tide-Elbe          | 3975,790                  | 31                    | 3                   |
| TEL_KAB    | Krückau-Alster-Bille                         | HH, SH         | Tide-Elbe          | 1937,510                  | 18                    | 5                   |
| TEL_LAS    | Lühe/Aue-Schwinge                            | HH, NI         | Tide-Elbe          | 700,920                   | 7                     | 0                   |
| TEL_NOK    | Nord-Ostsee-Kanal                            | SH             | Tide-Elbe          | 1721,430                  | 11                    | 1                   |
| TEL_OST    | Oste   | NI             | Tide-Elbe          | 1740,590                  | 10                    | 0                   |
| TEL_STR    | Stör   | SH             | Tide-Elbe          | 1969,580                  | 12                    | 2                   |
| TEL_TES    | Tideelbestrom                                | HH, NI, SH     | Tide-Elbe          | 3210,210                  | 8                     | 7                   |
| TWE_PE01   | Weser bis 12 sm                              | NI             | Tide-Weser         | 288,030                   | 0                     | 0                   |
| TWE_PE02   | Unterweser                                   | NI, HB         | Tide-Weser         | 4726,690                  | 31                    | 1                   |
| TWE_PE03   | Hunte  | NI, NW         | Tide-Weser         | 2589,830                  | 19                    | 1                   |
| TWE_PE04   | Weser/Ochtum                                 | NI, HB         | Tide-Weser         | 917,660                   | 11                    | 0                   |
| TWE_PE05   | Wümme  | NI, HB         | Tide-Weser         | 2190,360                  | 19                    | 0                   |
| UM_PE01    | Mainzuflüsse von Gemünden bis Kahl           | BY, HE         | Main               | 2635,400                  | 37                    | 8                   |
| UM_PE02    | Fränkische Saale                             | BY, HE, TH     | Main               | 2138,770                  | 16                    | 2                   |
| UM_PE03    | Mainzuflüsse von Volkach bis Gemünden/Tauber | BY             | Main               | 3174,640                  | 17                    | 6                   |
| UM_PE04    | Mainzuflüsse von Bamberg bis Volkach         | BY             | Main               | 943,170                   | 4                     | 1                   |
| UOD        | Untere Oder                                  | BB, MV         | Untere Oder        | 3693,950                  | 26                    | 5                   |
| WB_PE01    | Berounka                                     | BY             | Berounka           | 51,070                    | 3                     | 0                   |
| WER_PE01   | untere Werra                                 | BY, HE, NI, TH | Werra              | 2748,540                  | 21                    | 2                   |
| WER_PE02   | Hörsel                                       | TH             | Werra              | 770,690                   | 3                     | 1                   |
| WER_PE03   | Obere Werra                                  | TH, BY         | Werra              | 1968,250                  | 11                    | 1                   |

| ID PE    | Name                         | Land       | Koordinierungsraum | Fläche [km <sup>2</sup> ] | Anzahl AU vollständig | Anzahl AU teil-weise |
|----------|------------------------------|------------|--------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------|
| WES_PE01 | Große Aue                    | NI, NW     | Weser              | 1515,470                  | 13                    | 1                    |
| WES_PE02 | Weser/Meerbach               | NI, HB, NW | Weser              | 1935,640                  | 18                    | 1                    |
| WES_PE03 | Werre                        | NI, NW     | Weser              | 1484,100                  | 10                    | 0                    |
| WES_PE04 | Weser/Emmer                  | NW, NI     | Weser              | 1498,270                  | 12                    | 1                    |
| WES_PE05 | Weser/Nethe                  | HE, NI, NW | Weser              | 1983,160                  | 16                    | 0                    |
| WM_PE01  | Obere Moldau                 | BY         | Obere Moldau       | 72,880                    | 1                     | 0                    |
| WP_KGO   | Küstengebiet Ost             | MV         | Warnow/Peene       | 6450,520                  | 25                    | 0                    |
| WP_KGW   | Küstengebiet West            | MV         | Warnow/Peene       | 1530,130                  | 7                     | 0                    |
| WP_OSEE  | 1- bis 12- Seemeilen-Zone WP | MV         | Warnow/Peene       | 4770,190                  | 0                     | 0                    |
| WP_PEE   | Peene                        | MV         | Warnow/Peene       | 5089,040                  | 37                    | 1                    |
| WP_WAR   | Warnow                       | MV         | Warnow/Peene       | 3314,070                  | 16                    | 0                    |

### 10.6.3 Übersicht der Teilflächen die nicht eindeutig einer Planungseinheit zugeordnet werden können

| ID AU | ID PE    | Fläche gesamt [km <sup>2</sup> ] | Fläche in PE [km <sup>2</sup> ] | Anteil der Teilfläche an Gesamtfläche des AU [%] | Anteil der Teilfläche an Gesamtfläche der PE [%] |
|-------|----------|----------------------------------|---------------------------------|--|--|
| 10068 | DON_PE65 | 138,037                          | 0,222                           | 0,16   | 0,01   |
| 10068 | IL_PE03  | 138,037                          | 103,090                         | 74,68  | 3,27   |
| 10068 | IL_PE04  | 138,037                          | 5,506                           | 3,99   | 0,36   |
| 10068 | IL_PE05  | 138,037                          | 29,228                          | 21,17  | 2,84   |
| 10164 | AP_PE01  | 65,787                           | 1,418                           | 2,16   | 0,04   |
| 10164 | AP_PE02  | 65,787                           | 38,695                          | 58,82  | 2,12   |
| 10164 | AP_PE03  | 65,787                           | 25,015                          | 38,02  | 2,39   |
| 10164 | NR_PE04  | 65,787                           | 0,654                           | 0,99   | 0,02   |
| 10182 | AP_PE01  | 260,984                          | 0,161                           | 0,06   | 0,00   |
| 10182 | AP_PE02  | 260,984                          | 0,643                           | 0,25   | 0,04   |
| 10182 | AP_PE03  | 260,984                          | 0,235                           | 0,09   | 0,02   |
| 10182 | IS_PE01  | 260,984                          | 0,773                           | 0,30   | 0,09   |
| 10182 | NR_PE02  | 260,984                          | 65,227                          | 24,99  | 2,19   |
| 10182 | NR_PE04  | 260,984                          | 193,959                         | 74,32  | 5,33   |
| 10184 | NR_PE02  | 6,234                            | 5,267                           | 84,48  | 0,18   |
| 10184 | NR_PE04  | 6,234                            | 0,966                           | 15,50  | 0,03   |
| 10215 | NR_PE02  | 33,604                           | 17,076                          | 50,81  | 0,57   |
| 10215 | NR_PE04  | 33,604                           | 16,527                          | 49,18  | 0,45   |
| 10237 | IS_PE01  | 1,801                            | 0,692                           | 38,44  | 0,08   |
| 10237 | IS_PE03  | 1,801                            | 0,802                           | 44,51  | 0,05   |
| 10237 | NR_PE04  | 1,801                            | 0,308                           | 17,12  | 0,01   |

| ID AU | ID PE    | Fläche<br>gesamt<br>[km <sup>2</sup> ] | Fläche in PE<br>[km <sup>2</sup> ] | Anteil der<br>Teilfläche an<br>Gesamtfläche des<br>AU [%] | Anteil der<br>Teilfläche an<br>Gesamtfläche der<br>PE [%] |
|-------|----------|--|------------------------------------|---|---|
| 10238 | IS_PE01  | 203,327                                | 0,369                              | 0,18  | 0,04  |
| 10238 | IS_PE02  | 203,327                                | 103,292                            | 50,80   | 14,20   |
| 10238 | IS_PE03  | 203,327                                | 98,483                             | 48,44   | 6,46  |
| 10238 | NR_PE04  | 203,327                                | 1,162                              | 0,57  | 0,03  |
| 10243 | IS_PE02  | 184,851                                | 80,173                             | 43,37   | 11,02   |
| 10243 | IS_PE03  | 184,851                                | 104,677                            | 56,63   | 6,86  |
| 10245 | IN_PE02  | 212,162                                | 0,379                              | 0,18  | 0,01  |
| 10245 | IS_PE02  | 212,162                                | 112,838                            | 53,18   | 15,51   |
| 10245 | IS_PE03  | 212,162                                | 96,616                             | 45,54   | 6,34  |
| 10245 | NR_PE04  | 212,162                                | 2,330                              | 1,10  | 0,06  |
| 10362 | IN_PE03  | 7,662                                  | 1,107                              | 14,45   | 0,07  |
| 10362 | IN_PE05  | 7,662                                  | 5,074                              | 66,22   | 0,34  |
| 10362 | IN_PE07  | 7,662                                  | 1,482                              | 19,35   | 0,13  |
| 20038 | ARB_PE12 | 49,649                                 | 34,436                             | 69,36   | 2,75  |
| 20038 | HRH_PE20 | 49,649                                 | 12,839                             | 25,86   | 1,02  |
| 20106 | ORH_PE33 | 0,495                                  | 0,339                              | 68,54   | 0,04  |
| 20106 | ORH_PE34 | 0,495                                  | 0,164                              | 33,09   | 0,01  |
| 20122 | ORH_PE34 | 3,089                                  | 0,812                              | 26,28   | 0,07  |
| 20122 | ORH_PE35 | 3,089                                  | 2,260                              | 73,17   | 0,14  |
| 20123 | ORH_PE14 | 37,942                                 | 16,127                             | 42,50   | 10,42   |
| 20123 | ORH_PE35 | 37,942                                 | 0,116                              | 0,31  | 0,01  |
| 20123 | ORH_SQW  | 37,942                                 | 21,698                             | 57,19   | 1,70  |
| 20124 | ORH_PE14 | 1,661                                  | 0,561                              | 33,75   | 0,36  |
| 20124 | ORH_PE34 | 1,661                                  | 0,190                              | 11,42   | 0,02  |
| 20124 | ORH_PE35 | 1,661                                  | 0,913                              | 54,99   | 0,06  |
| 20130 | ORH_PE14 | 104,605                                | 16,174                             | 15,46   | 10,45   |
| 20130 | ORH_SQW  | 104,605                                | 88,431                             | 84,54   | 6,94  |
| 20148 | ORH_PE14 | 67,82                                  | 17,988                             | 26,52   | 11,62   |
| 20148 | ORH_PE35 | 67,82                                  | 0,794                              | 1,17  | 0,05  |
| 20148 | ORH_SPY  | 67,82                                  | 1,760                              | 2,60  | 0,22  |
| 20148 | ORH_SQW  | 67,82                                  | 47,253                             | 69,67   | 3,71  |
| 20158 | ORH_PE14 | 21,119                                 | 9,461                              | 44,80   | 6,11  |
| 20158 | ORH_PE35 | 21,119                                 | 0,024                              | 0,11  | 0,00  |
| 20158 | ORH_SPY  | 21,119                                 | 11,643                             | 55,13   | 1,49  |
| 20166 | ORH_ISE  | 21,806                                 | 4,511                              | 20,69   | 0,64  |
| 20166 | ORH_PE14 | 21,806                                 | 6,772                              | 31,05   | 4,37  |
| 20166 | ORH_PE35 | 21,806                                 | 0,153                              | 0,70  | 0,01  |
| 20166 | ORH_PE36 | 21,806                                 | 0,041                              | 0,19  | 0,00  |
| 20166 | ORH_SPY  | 21,806                                 | 10,333                             | 47,39   | 1,32  |
| 20167 | NEC_PE49 | 43,768                                 | 9,365                              | 21,40   | 0,56  |
| 20167 | ORH_PE14 | 43,768                                 | 0,010                              | 0,02  | 0,01  |

| ID AU | ID PE    | Fläche<br>gesamt<br>[km <sup>2</sup> ] | Fläche in PE<br>[km <sup>2</sup> ] | Anteil der<br>Teilfläche an<br>Gesamtfläche des<br>AU [%] | Anteil der<br>Teilfläche an<br>Gesamtfläche der<br>PE [%] |
|-------|----------|--|------------------------------------|---|---|
| 20167 | ORH_PE35 | 43,768                                 | 34,395                             | 78,58   | 2,13  |
| 20208 | NEC_PE43 | 1,583                                  | 0,582                              | 36,75   | 0,18  |
| 20208 | NEC_PE44 | 1,583                                  | 0,940                              | 59,41   | 0,08  |
| 20208 | NEC_PE45 | 1,583                                  | 0,061                              | 3,87  | 0,01  |
| 20234 | NEC_PE46 | 6,655                                  | 0,023                              | 0,35  | 0,00  |
| 20234 | NEC_PE47 | 6,655                                  | 0,144                              | 2,17  | 0,01  |
| 20234 | NEC_PE48 | 6,655                                  | 0,754                              | 11,32   | 0,04  |
| 20234 | NEC_PE49 | 6,655                                  | 5,731                              | 86,12   | 0,35  |
| 20266 | ORH_ISE  | 25,121                                 | 19,869                             | 79,09   | 2,80  |
| 20266 | ORH_PE36 | 25,121                                 | 5,249                              | 20,89   | 0,25  |
| 20283 | ORH_PE36 | 41,006                                 | 10,193                             | 24,86   | 0,49  |
| 20283 | ORH_SLZ  | 41,006                                 | 30,821                             | 75,16   | 2,77  |
| 20355 | NR_PE03  | 636,02                                 | 0,479                              | 0,08  | 0,04  |
| 20355 | RE_PE02  | 636,02                                 | 3,043                              | 0,48  | 0,28  |
| 20355 | RE_PE03  | 636,02                                 | 109,971                            | 17,29   | 4,75  |
| 20355 | RE_PE04  | 636,02                                 | 0,741                              | 0,12  | 0,06  |
| 20355 | RE_PE05  | 636,02                                 | 521,785                            | 82,04   | 46,72   |
| 20372 | RE_PE01  | 68,335                                 | 0,257                              | 0,38  | 0,01  |
| 20372 | RE_PE02  | 68,335                                 | 9,710                              | 14,21   | 0,89  |
| 20372 | RE_PE04  | 68,335                                 | 58,364                             | 85,41   | 4,71  |
| 20378 | RE_PE01  | 45,827                                 | 6,763                              | 14,76   | 0,38  |
| 20378 | RE_PE02  | 45,827                                 | 0,044                              | 0,10  | 0,00  |
| 20378 | RE_PE04  | 45,827                                 | 39,024                             | 85,16   | 3,15  |
| 20380 | RE_PE01  | 26,014                                 | 4,231                              | 16,27   | 0,24  |
| 20380 | RE_PE04  | 26,014                                 | 21,782                             | 83,73   | 1,76  |
| 20386 | OM_PE01  | 59,758                                 | 3,903                              | 6,53  | 0,17  |
| 20386 | RE_PE01  | 59,758                                 | 13,115                             | 21,95   | 0,74  |
| 20386 | RE_PE04  | 59,758                                 | 42,742                             | 71,53   | 3,45  |
| 20391 | UM_PE03  | 65,028                                 | 24,065                             | 37,01   | 0,76  |
| 20391 | UM_PE04  | 65,028                                 | 40,967                             | 63,00   | 4,34  |
| 20406 | OM_PE01  | 2,727                                  | 0,594                              | 21,78   | 0,03  |
| 20406 | UM_PE02  | 2,727                                  | 2,134                              | 78,24   | 0,10  |
| 20429 | UM_PE01  | 0,342                                  | 0,170                              | 49,65   | 0,01  |
| 20429 | UM_PE02  | 0,342                                  | 0,102                              | 29,77   | 0,00  |
| 20429 | UM_PE03  | 0,342                                  | 0,072                              | 20,92   | 0,00  |
| 20430 | UM_PE01  | 163,955                                | 71,328                             | 43,50   | 2,71  |
| 20430 | UM_PE03  | 163,955                                | 92,624                             | 56,49   | 2,92  |
| 20436 | UM_PE01  | 176,184                                | 61,963                             | 35,17   | 2,35  |
| 20436 | UM_PE03  | 176,184                                | 114,227                            | 64,83   | 3,60  |
| 20438 | MAI_PE50 | 73,56                                  | 1,081                              | 1,47  | 0,09  |
| 20438 | UM_PE01  | 73,56                                  | 34,178                             | 46,46   | 1,30  |

| ID AU | ID PE     | Fläche<br>gesamt<br>[km <sup>2</sup> ] | Fläche in PE<br>[km <sup>2</sup> ] | Anteil der<br>Teilfläche an<br>Gesamtfläche des<br>AU [%] | Anteil der<br>Teilfläche an<br>Gesamtfläche der<br>PE [%] |
|-------|-----------|--|------------------------------------|---|---|
| 20438 | UM_PE03   | 73,56                                  | 38,299                             | 52,06   | 1,21  |
| 20441 | MAI_PE50  | 51,239                                 | 0,227                              | 0,44  | 0,02  |
| 20441 | UM_PE01   | 51,239                                 | 14,354                             | 28,01   | 0,54  |
| 20441 | UM_PE03   | 51,239                                 | 36,650                             | 71,53   | 1,15  |
| 20470 | MAI_PE01  | 19,277                                 | 13,763                             | 71,40   | 1,24  |
| 20470 | UM_PE01   | 19,277                                 | 5,506                              | 28,56   | 0,21  |
| 20476 | MAI_PE01  | 20,229                                 | 0,271                              | 1,34  | 0,02  |
| 20476 | PE_BWSMAI | 20,229                                 | 7,037                              | 34,79   | 2,09  |
| 20476 | UM_PE01   | 20,229                                 | 12,921                             | 63,88   | 0,49  |
| 20487 | MAI_PE01  | 59,597                                 | 12,665                             | 21,25   | 1,14  |
| 20487 | MAI_PE03  | 59,597                                 | 1,653                              | 2,77  | 0,16  |
| 20487 | PE_BWSMAI | 59,597                                 | 45,173                             | 75,80   | 13,43   |
| 20487 | UM_PE01   | 59,597                                 | 0,108                              | 0,18  | 0,00  |
| 20496 | MAI_PE01  | 191,096                                | 50,354                             | 26,35   | 4,54  |
| 20496 | MAI_PE02  | 191,096                                | 1,797                              | 0,94  | 0,08  |
| 20496 | MAI_PE03  | 191,096                                | 1,002                              | 0,52  | 0,10  |
| 20496 | PE_BWSMAI | 191,096                                | 137,948                            | 72,19   | 41,00   |
| 20508 | MAI_PE01  | 122,982                                | 32,395                             | 26,34   | 2,92  |
| 20508 | MAI_PE02  | 122,982                                | 38,532                             | 31,33   | 1,73  |
| 20508 | MRH_LAH   | 122,982                                | 0,075                              | 0,06  | 0,00  |
| 20508 | PE_BWSMAI | 122,982                                | 51,984                             | 42,27   | 15,45   |
| 20510 | MAI_PE02  | 162,908                                | 119,149                            | 73,14   | 5,34  |
| 20510 | ORH_PE36  | 162,908                                | 0,710                              | 0,44  | 0,03  |
| 20510 | PE_BWSMAI | 162,908                                | 43,058                             | 26,43   | 12,80   |
| 20511 | ORH_PE36  | 128,25                                 | 39,081                             | 30,47   | 1,89  |
| 20511 | ORH_SLZ   | 128,25                                 | 89,150                             | 69,51   | 8,02  |
| 20514 | MRH_ALW   | 60,049                                 | 0,104                              | 0,17  | 0,01  |
| 20514 | MRH_NAH   | 60,049                                 | 0,057                              | 0,09  | 0,00  |
| 20514 | MRH_PE01  | 60,049                                 | 0,225                              | 0,38  | 0,01  |
| 20514 | ORH_PE36  | 60,049                                 | 21,849                             | 36,38   | 1,06  |
| 20514 | ORH_SLZ   | 60,049                                 | 37,817                             | 62,98   | 3,40  |
| 20531 | MRH_ALW   | 71,931                                 | 16,154                             | 22,46   | 2,24  |
| 20531 | MRH_GLA   | 71,931                                 | 0,037                              | 0,05  | 0,00  |
| 20531 | MRH_NAH   | 71,931                                 | 55,759                             | 77,52   | 2,62  |
| 20639 | MOS_BLS   | 18,558                                 | 13,903                             | 74,91   | 0,89  |
| 20639 | MRH_GLA   | 18,558                                 | 4,655                              | 25,08   | 0,38  |
| 20670 | MOS_KYL   | 124,447                                | 1,361                              | 1,09  | 0,16  |
| 20670 | MOS_MOS   | 124,447                                | 84,789                             | 68,13   | 10,87   |
| 20670 | MOS_PSA   | 124,447                                | 0,329                              | 0,26  | 0,02  |
| 20670 | MOS_RUS   | 124,447                                | 37,873                             | 30,43   | 2,22  |
| 20670 | MOS_SAA   | 124,447                                | 0,090                              | 0,07  | 0,01  |

| ID AU | ID PE    | Fläche gesamt [km <sup>2</sup> ] | Fläche in PE [km <sup>2</sup> ] | Anteil der Teilfläche an Gesamtfläche des AU [%] | Anteil der Teilfläche an Gesamtfläche der PE [%] |
|-------|----------|----------------------------------|---------------------------------|--|--|
| 20676 | MOS_KYL  | 157,911                          | 0,489                           | 0,31   | 0,06   |
| 20676 | MOS_MOS  | 157,911                          | 107,018                         | 67,77  | 13,72  |
| 20676 | MOS_RUS  | 157,911                          | 50,402                          | 31,92  | 2,96   |
| 20682 | MOS_EFB  | 95,195                           | 64,148                          | 67,39  | 5,15   |
| 20682 | MOS_MOS  | 95,195                           | 30,043                          | 31,56  | 3,85   |
| 20682 | MOS_RUS  | 95,195                           | 1,018                           | 1,07   | 0,06   |
| 20684 | MOS_EFB  | 331,493                          | 211,469                         | 63,79  | 16,98  |
| 20684 | MOS_MOS  | 331,493                          | 118,119                         | 35,63  | 15,15  |
| 20684 | MOS_RUS  | 331,493                          | 1,136                           | 0,34   | 0,07   |
| 20684 | MRH_NAH  | 331,493                          | 0,753                           | 0,23   | 0,04   |
| 20688 | MOS_EFB  | 282,027                          | 158,860                         | 56,33  | 12,76  |
| 20688 | MOS_MOS  | 282,027                          | 122,756                         | 43,53  | 15,74  |
| 20688 | MOS_RUS  | 282,027                          | 0,428                           | 0,15   | 0,03   |
| 20690 | MOS_EFB  | 74,349                           | 64,447                          | 86,68  | 5,18   |
| 20690 | MOS_MOS  | 74,349                           | 9,896                           | 13,31  | 1,27   |
| 20694 | MOS_EFB  | 295,528                          | 212,487                         | 71,90  | 17,06  |
| 20694 | MOS_MOS  | 295,528                          | 78,028                          | 26,40  | 10,01  |
| 20694 | MRH_PE01 | 295,528                          | 5,005                           | 1,69   | 0,20   |
| 30106 | EMN_EMA  | 11,152                           | 1,938                           | 17,38  | 0,58   |
| 30106 | EMN_UEM  | 11,152                           | 9,202                           | 82,52  | 0,27   |
| 40012 | WER_PE01 | 388,395                          | 66,939                          | 17,23  | 2,44   |
| 40012 | WER_PE02 | 388,395                          | 1,967                           | 0,51   | 0,26   |
| 40012 | WER_PE03 | 388,395                          | 319,491                         | 82,26  | 16,23  |
| 40018 | FUL_PE04 | 3,279                            | 2,172                           | 66,24  | 0,06   |
| 40018 | WER_PE01 | 3,279                            | 1,104                           | 33,66  | 0,04   |
| 40139 | WES_PE02 | 50,705                           | 15,077                          | 29,73  | 0,78   |
| 40139 | WES_PE04 | 50,705                           | 35,637                          | 70,28  | 2,38   |
| 40152 | TWE_PE03 | 1,551                            | 0,809                           | 52,19  | 0,03   |
| 40152 | WES_PE01 | 1,551                            | 0,730                           | 47,04  | 0,05   |
| 40190 | LEI_PE01 | 351,886                          | 283,891                         | 80,68  | 12,44  |
| 40190 | LEI_PE03 | 351,886                          | 67,991                          | 19,32  | 3,81   |
| 40356 | EMN_UEM  | 4,697                            | 1,589                           | 33,82  | 0,05   |
| 40356 | TWE_PE02 | 4,697                            | 3,107                           | 66,15  | 0,07   |
| 50339 | SAL_OWE  | 172,298                          | 40,254                          | 23,36  | 4,06   |
| 50339 | SAL_UWE  | 172,298                          | 132,039                         | 76,63  | 10,17  |
| 50533 | HAV_PE10 | 88,881                           | 62,353                          | 70,15  | 2,51   |
| 50533 | HAV_PE11 | 88,881                           | 26,546                          | 29,87  | 1,27   |
| 50558 | HAV_PE09 | 198,643                          | 53,654                          | 27,01  | 3,35   |
| 50558 | HAV_PE10 | 198,643                          | 144,979                         | 72,98  | 5,85   |
| 50568 | HAV_PE07 | 53,444                           | 14,333                          | 26,82  | 0,94   |
| 50568 | HAV_PE09 | 53,444                           | 39,123                          | 73,20  | 2,45   |

| ID AU | ID PE    | Fläche gesamt [km <sup>2</sup> ] | Fläche in PE [km <sup>2</sup> ] | Anteil der Teilfläche an Gesamtfläche des AU [%] | Anteil der Teilfläche an Gesamtfläche der PE [%] |
|-------|----------|----------------------------------|---------------------------------|--|--|
| 50575 | HAV_PE07 | 192,58                           | 161,046                         | 83,63  | 10,57  |
| 50575 | UOD      | 192,58                           | 31,518                          | 16,37  | 0,85   |
| 50759 | MEL_PE08 | 2,35                             | 0,147                           | 6,26   | 0,06   |
| 50759 | MEL_PE09 | 2,35                             | 0,425                           | 18,10  | 0,02   |
| 50759 | MEL_PE10 | 2,35                             | 1,777                           | 75,61  | 0,07   |
| 50787 | MEL_PE06 | 70,35                            | 58,402                          | 83,02  | 2,41   |
| 50787 | MEL_PE08 | 70,35                            | 11,947                          | 16,98  | 5,16   |
| 50809 | MEL_PE06 | 203,475                          | 98,106                          | 48,22  | 4,05   |
| 50809 | MEL_PE08 | 203,475                          | 63,745                          | 31,33  | 27,53  |
| 50809 | MEL_PE11 | 203,475                          | 0,067                           | 0,03   | 0,00   |
| 50809 | TEL_IJS  | 203,475                          | 41,560                          | 20,42  | 1,05   |
| 50843 | MEL_PE11 | 3,173                            | 0,359                           | 11,32  | 0,01   |
| 50843 | TEL_KAB  | 3,173                            | 2,072                           | 65,32  | 0,11   |
| 50843 | TEL_TES  | 3,173                            | 0,747                           | 23,54  | 0,02   |
| 50876 | TEL_KAB  | 16,164                           | 11,413                          | 70,61  | 0,59   |
| 50876 | TEL_TES  | 16,164                           | 4,752                           | 29,40  | 0,15   |
| 50888 | TEL_IJS  | 92,008                           | 39,035                          | 42,43  | 0,98   |
| 50888 | TEL_TES  | 92,008                           | 52,970                          | 57,57  | 1,65   |
| 50889 | TEL_IJS  | 100,501                          | 67,902                          | 67,56  | 1,71   |
| 50889 | TEL_KAB  | 100,501                          | 1,467                           | 1,46   | 0,08   |
| 50889 | TEL_TES  | 100,501                          | 31,137                          | 30,98  | 0,97   |
| 50901 | TEL_KAB  | 2,494                            | 1,373                           | 55,06  | 0,07   |
| 50901 | TEL_TES  | 2,494                            | 1,123                           | 45,05  | 0,03   |
| 50907 | TEL_KAB  | 40,044                           | 0,132                           | 0,33   | 0,01   |
| 50907 | TEL_STR  | 40,044                           | 34,518                          | 86,20  | 1,75   |
| 50907 | TEL_TES  | 40,044                           | 5,395                           | 13,47  | 0,17   |
| 50923 | TEL_NOK  | 71,56                            | 15,956                          | 22,30  | 0,93   |
| 50923 | TEL_STR  | 71,56                            | 50,501                          | 70,57  | 2,56   |
| 50923 | TEL_TES  | 71,56                            | 5,101                           | 7,13   | 0,16   |
| 60304 | MOD      | 104,043                          | 93,084                          | 89,47  | 13,48  |
| 60304 | UOD      | 104,043                          | 8,422                           | 8,10   | 0,23   |
| 60465 | STH      | 12,007                           | 5,331                           | 44,40  | 0,14   |
| 60465 | UOD      | 12,007                           | 6,676                           | 55,60  | 0,18   |
| 60468 | STH      | 18,71                            | 6,960                           | 37,20  | 0,18   |
| 60468 | UOD      | 18,71                            | 11,747                          | 62,78  | 0,32   |
| 60469 | STH      | 26,875                           | 4,100                           | 15,26  | 0,10   |
| 60469 | UOD      | 26,875                           | 22,768                          | 84,72  | 0,62   |
| 60536 | STH      | 130,997                          | 21,869                          | 16,69  | 0,56   |
| 60536 | WP_PEE   | 130,997                          | 109,147                         | 83,32  | 2,14   |
| 72017 | EID_ABK  | 229,142                          | 184,477                         | 80,51  | 4,80   |
| 72017 | EID_EIT  | 229,142                          | 44,678                          | 19,50  | 1,01   |

| ID AU | ID PE   | Fläche gesamt [km <sup>2</sup> ] | Fläche in PE [km <sup>2</sup> ] | Anteil der Teilfläche an Gesamtfläche des AU [%] | Anteil der Teilfläche an Gesamtfläche der PE [%] |
|-------|---------|----------------------------------|---------------------------------|--|--|
| 81012 | STR_KOG | 7,062                            | 5,165                           | 73,14  | 0,13   |
| 81012 | STR_TRA | 7,062                            | 1,895                           | 26,83  | 0,10   |

#### 10.6.4 Manuelle Änderungen der Zuordnung der Einleitstellen der kommunalen Kläranlagen $\geq 2.000$ EW in den Teilflächen nach Rückmeldung aus den Ländern

| EU_pl_key        | ID AU | Ursprüngliche Zuordnung IWG-KIT zu ID PE | Neue Zuordnung (nach Rückmeldung) zu ID PE |
|------------------|-------|--|--|
| DETP_BYDEG-K0074 | 10243 | IS_PE02                                  | IS_PE03                                    |
| DETP_BYKC-K0001  | 20386 | OM_PE01                                  | RE_PE01                                    |
| DETP_BYDEG-K0035 | 10245 | IN_PE02                                  | IS_PE03                                    |

### 10.6.5 Ergebnisse der Eintragsmodellierung für Nährstoffe, Schwermetalle und PAK<sub>16</sub> als Mittelwert für den Zeitraum 2006-2011 auf der Ebene von Planungseinheiten

| Kennung Planungseinheit | Name Planungseinheit  | Nährstoff-Einträge [t/a] |          | Schadstoff-Einträge (Schwermetalle, PAK <sub>16</sub> ) [kg/a] |       |        |             |        |       |        |                   |
|-------------------------|---|--------------------------|----------|--|-------|--------|-------------|--------|-------|--------|-------------------|
|                         |   | Stickstoff               | Phosphor | Cadmium  | Chrom | Kupfer | Quecksilber | Nickel | Blei  | Zink   | PAK <sub>16</sub> |
| ALL_PE01                | Aller/Böhme   | 1.370                    | 71,3     | 14,6   | 261   | 854    | 4,26        | 1.290  | 336   | 3.810  | 39,8              |
| ALL_PE02                | Aller/Örtze   | 1.500                    | 121      | 17,5   | 307   | 1.090  | 5,03        | 1.540  | 435   | 4.940  | 54,9              |
| ALL_PE03                | Fuhse/Wietze  | 1.720                    | 97,3     | 24,7   | 686   | 2.440  | 7,98        | 2.060  | 1.180 | 17.000 | 115               |
| ALL_PE04                | Aller/Quelle  | 1.430                    | 95,5     | 18,5   | 537   | 1.260  | 5,83        | 1.610  | 686   | 6.190  | 56,1              |
| ALL_PE05                | Oker  | 1.970                    | 109      | 47,9   | 1.660 | 2.620  | 10,1        | 2.370  | 2.400 | 14.900 | 101               |
| AP_PE01                 | Altmühl   | 3.180                    | 199      | 42,8   | 3.480 | 2.310  | 8,36        | 4.610  | 4.920 | 13.100 | 60,9              |
| AP_PE02                 | Untere Paar/Donaumöos   | 3.660                    | 157      | 33,1   | 1.120 | 1.820  | 8,78        | 2.690  | 1.560 | 21.500 | 66                |
| AP_PE03                 | Ilm/Abens   | 2.120                    | 76,6     | 18,6   | 689   | 934    | 5,47        | 1.600  | 844   | 4.370  | 30,9              |
| AP_PE04                 | Obere Paar  | 1.320                    | 43,4     | 9,61   | 253   | 483    | 2,84        | 830    | 300   | 2.190  | 16,1              |
| ARB_PE10                | Argen (BW)  | 1.180                    | 35,2     | 11,1   | 188   | 534    | 2,86        | 1.020  | 202   | 2.400  | 15,6              |
| ARB_PE11                | Schussen  | 2.500                    | 81       | 21,2   | 373   | 1.130  | 5,26        | 1.950  | 452   | 5.060  | 36,1              |
| ARB_PE12                | Bodenseegebiet (BW) unterh. Schussen bis oberh. Eschenzer Hor | 4.040                    | 143      | 46,6   | 943   | 2.970  | 15,3        | 3.170  | 1.300 | 13.800 | 230               |
| BO_PE01                 | Bodensee  | 1.280                    | 44,3     | 18,6   | 225   | 750    | 4,12        | 1.380  | 985   | 4.530  | 28,1              |
| DON_PE60                | Donau bis einschl. Donauversickerung                          | 2.160                    | 76,8     | 22,9   | 1.330 | 1.510  | 5,01        | 3.380  | 1.480 | 7.530  | 41,5              |
| DON_PE61                | Donau unterh. Donauversickerung bis einschl. Lauchert         | 1.000                    | 70,5     | 11,9   | 437   | 745    | 2,55        | 1.380  | 733   | 3.560  | 20,9              |
| DON_PE62                | Ablach-Kanzach  | 1.670                    | 74,3     | 14,2   | 308   | 743    | 3,54        | 1.340  | 367   | 3.280  | 22,9              |
| DON_PE63                | Große Lauter  | 1.570                    | 112      | 16   | 672   | 985    | 4,14        | 1.810  | 768   | 3.720  | 20,1              |
| DON_PE64                | Pfinz-Saalbach-Kraichbach                                     | 3.020                    | 111      | 25,5   | 520   | 1.340  | 7,29        | 2.260  | 540   | 6.250  | 42                |
| DON_PE65                | Donau (BW) unterh. Iller                                      | 4.070                    | 185      | 39,3   | 1.820 | 2.260  | 11,1        | 4.190  | 1.720 | 10.600 | 57,1              |
| DRH_DEL                 | Deltarheinzuflüsse NRW  | 267                      | 9,6      | 1,91   | 37,1  | 114    | 0,499       | 189    | 55,5  | 453    | 4,24              |
| DRH_ISS                 | Issel/Berkele NRW   | 4.040                    | 147      | 23,1   | 519   | 1.600  | 6,08        | 2.260  | 653   | 7.030  | 54,2              |
| DRH_VEC                 | Vechte  | 4.250                    | 131      | 26,8   | 662   | 1.570  | 8,53        | 2.270  | 609   | 7.010  | 51,1              |

| Kennung<br>Planungs-einheit | Name Planungseinheit                           | Nährstoff-Einträge [t/a] |          | Schadstoff-Einträge (Schwermetalle, PAK <sub>16</sub> ) [kg/a] |       |        |             |        |       |        |                   |
|-----------------------------|--|--------------------------|----------|--|-------|--------|-------------|--------|-------|--------|-------------------|
|                             |  | Stickstoff               | Phosphor | Cadmium  | Chrom | Kupfer | Quecksilber | Nickel | Blei  | Zink   | PAK <sub>16</sub> |
| EID_ABK                     | Arlau / Bongsieler Kanal                       | 5.800                    | 128      | 50,9   | 1.300 | 2.210  | 20          | 3.810  | 568   | 9.620  | 44,8              |
| EID_EIT                     | Eider / Treene                                 | 5.090                    | 138      | 45,2   | 1.090 | 2.050  | 16,9        | 3.520  | 572   | 8.780  | 65,9              |
| EID_MIE                     | Miele  | 1.420                    | 28,8     | 13,3   | 350   | 595    | 5,33        | 988    | 152   | 2.910  | 12,9              |
| EMN_EMA                     | Ems-Ästuar                                     | 64,4                     | 3,17     | 0,449  | 6,12  | 34,1   | 0,0504      | 36,3   | 4,72  | 183    | 0,911             |
| EMN_LED                     | Leda-Jümme                                     | 3.050                    | 118      | 19,3   | 334   | 1.290  | 5,46        | 1.780  | 467   | 5.650  | 50,2              |
| EMN_UEM                     | Untere Ems                                     | 3.070                    | 251      | 32,5   | 692   | 1.980  | 11,1        | 2.590  | 680   | 9.120  | 80,6              |
| EMS_EMN                     | Ems/Nordradde                                  | 2.090                    | 91       | 14,4   | 237   | 1.620  | 3,84        | 1.280  | 440   | 4.790  | 57                |
| EMS_HAS                     | Hase   | 4.700                    | 174      | 33,4   | 866   | 2.450  | 9,41        | 3.030  | 1.380 | 11.600 | 103               |
| EMS_OEM                     | Obere Ems                                      | 9.080                    | 386      | 71,2   | 1.810 | 5.310  | 21,3        | 6.070  | 2.200 | 30.100 | 202               |
| FUL_PE01                    | Diemel   | 2.270                    | 122      | 23,1   | 1.500 | 1.480  | 5,74        | 2.420  | 1.670 | 7.210  | 36,5              |
| FUL_PE02                    | Eder   | 2.780                    | 135      | 29   | 1.880 | 2.070  | 6,7         | 3.290  | 1.820 | 9.060  | 52,3              |
| FUL_PE03                    | Schwalm  | 1.750                    | 85,9     | 16,8   | 1.580 | 1.170  | 3,88        | 2.450  | 1.040 | 5.120  | 24,8              |
| FUL_PE04                    | Fulda  | 4.670                    | 259      | 43,5   | 3.220 | 3.280  | 9,85        | 5.480  | 2.700 | 16.400 | 102               |
| HAV_PE01                    | Obere Havel                                    | 1.700                    | 105      | 30,8   | 484   | 2.410  | 8,52        | 1.730  | 974   | 13.600 | 234               |
| HAV_PE02                    | Rhin   | 428                      | 35,4     | 9,75   | 155   | 511    | 2,73        | 641    | 239   | 2.390  | 30,7              |
| HAV_PE03                    | Dosse-Jäglitz                                  | 514                      | 46,7     | 8,85   | 146   | 469    | 2,47        | 822    | 181   | 2.020  | 15,5              |
| HAV_PE04                    | Untere Havel                                   | 3.700                    | 199      | 48,1   | 722   | 4.500  | 12,3        | 2.570  | 1.570 | 27.200 | 301               |
| HAV_PE05                    | Plane-Buckau                                   | 240                      | 20,6     | 4,56   | 84,6  | 236    | 1,29        | 388    | 114   | 1.040  | 7,87              |
| HAV_PE06                    | Nuthe  | 497                      | 41,8     | 10,9   | 199   | 771    | 3,17        | 740    | 363   | 4.250  | 39                |
| HAV_PE07                    | Untere Spree 2                                 | 1.980                    | 137      | 29,3   | 422   | 4.110  | 6,61        | 1.440  | 1.380 | 29.600 | 197               |
| HAV_PE08                    | Dahme  | 489                      | 45,3     | 15,8   | 236   | 981    | 4,74        | 913    | 532   | 5.130  | 95,5              |
| HAV_PE09                    | Untere Spree 1                                 | 385                      | 29,4     | 7,96   | 128   | 460    | 2,44        | 508    | 242   | 2.230  | 31                |
| HAV_PE10                    | Mittlere Spree                                 | 1.210                    | 81,9     | 20,2   | 331   | 1.220  | 6,08        | 1.400  | 559   | 6.010  | 63,2              |
| HAV_PE11                    | Obere Spree                                    | 2.400                    | 77,5     | 36,4   | 947   | 1.520  | 11,4        | 2.010  | 1.320 | 7.450  | 76                |
| HRH_PE20                    | Hochrhein (BW) Eschenzer Horn bis oberh. Aare  | 2.080                    | 132      | 32,5   | 1.170 | 1.750  | 8,26        | 3.880  | 1.670 | 7.900  | 44,4              |
| HRH_PE21                    | Hochrhein (BW) unterh. Aare bis einschl. Wiese | 1.470                    | 136      | 27,2   | 897   | 1.830  | 6,71        | 2.890  | 1.130 | 7.200  | 51,6              |

| Kennung<br>Planungs-einheit | Name Planungseinheit                               | Nährstoff-Einträge [t/a] |          | Schadstoff-Einträge (Schwermetalle, PAK <sub>16</sub> ) [kg/a] |       |        |             |        |       |        |                   |
|-----------------------------|--|--------------------------|----------|--|-------|--------|-------------|--------|-------|--------|-------------------|
|                             |  | Stickstoff               | Phosphor | Cadmium  | Chrom | Kupfer | Quecksilber | Nickel | Blei  | Zink   | PAK <sub>16</sub> |
| IL_PE01                     | Unterer Lech                                       | 1.300                    | 61,4     | 13,7   | 292   | 888    | 2,9         | 975    | 361   | 4.800  | 30,1              |
| IL_PE02                     | Mittlerer und Oberer Lech/Wertach                  | 4.880                    | 205      | 54,8   | 910   | 3.060  | 14,3        | 4.580  | 1.660 | 15.300 | 122               |
| IL_PE03                     | Schmutter/Zusam/ Mindel/Günz                       | 5.900                    | 213      | 52,8   | 1.190 | 2.640  | 16,1        | 4.400  | 1.420 | 12.400 | 84,5              |
| IL_PE04                     | Iller  | 3.580                    | 145      | 56,7   | 753   | 2.610  | 11,7        | 3.400  | 2.390 | 13.100 | 103               |
| IL_PE05                     | Untere Günz und Mindel/Kessel                      | 2.040                    | 101      | 20,3   | 729   | 1.110  | 5,43        | 1.480  | 817   | 5.720  | 41,1              |
| IL_PE06                     | Wörnitz/Untere Eger                                | 2.240                    | 103      | 20,8   | 1.610 | 1.240  | 6,32        | 1.970  | 1.250 | 5.440  | 37,4              |
| IN_PE01                     | Untere Donau                                       | 3.490                    | 156      | 36,9   | 575   | 1.520  | 8,44        | 3.290  | 1.950 | 9.380  | 44,1              |
| IN_PE02                     | Vils (Niederbayern)                                | 5.710                    | 208      | 49,5   | 2.170 | 2.250  | 14,3        | 4.040  | 2.760 | 11.800 | 78,7              |
| IN_PE03                     | Rott   | 2.410                    | 135      | 26,2   | 1.460 | 1.390  | 8,43        | 2.200  | 1.420 | 6.400  | 53,9              |
| IN_PE04                     | Mittlerer Inn                                      | 4.370                    | 179      | 34,3   | 1.020 | 1.820  | 9,78        | 3090   | 1.290 | 8.210  | 68,3              |
| IN_PE05                     | Tiroler Achen/Traun/Chiemsee/Alz                   | 4.360                    | 132      | 50   | 759   | 2.290  | 13,8        | 4.000  | 1.790 | 11.000 | 103               |
| IN_PE06                     | Oberer Inn/Tegernsee                               | 4.570                    | 124      | 51,8   | 736   | 2.370  | 11,2        | 4.140  | 2.140 | 11.800 | 92,2              |
| IN_PE07                     | Salzach/Saalach/Waginger-Tachingen-See             | 3.300                    | 126      | 64,5   | 829   | 2.660  | 14,8        | 3.730  | 2.940 | 14.700 | 91,2              |
| IS_PE01                     | Kleine und Große Laaber                            | 1.130                    | 59,3     | 10,9   | 746   | 605    | 3,48        | 971    | 670   | 2.800  | 19                |
| IS_PE02                     | Nördliche Donauzuflüsse (Straubing bis Deggendorf) | 1.250                    | 54,4     | 11   | 518   | 573    | 3,2         | 889    | 803   | 3.230  | 26,6              |
| IS_PE03                     | Untere Isar (ab Landshut)                          | 3.660                    | 145      | 32,8   | 1.480 | 1.740  | 9,59        | 2.680  | 1.490 | 8.310  | 66,4              |
| IS_PE04                     | Amper/Ammersee/Starnberger See                     | 5.330                    | 213      | 54,1   | 1.270 | 3.560  | 14,8        | 4.300  | 2.000 | 19.300 | 195               |
| IS_PE05                     | Mittlere Isar (Loisach bis Landshut)               | 6.600                    | 289      | 60,8   | 1.080 | 4.690  | 14,5        | 4.350  | 1.820 | 27.100 | 176               |
| IS_PE06                     | Ammer/Staffelsee                                   | 1.400                    | 41,2     | 22,6   | 273   | 880    | 4,57        | 1.460  | 1.010 | 5.270  | 40                |
| IS_PE07                     | Obere Isar (bis Loisach)/Walchensee/Kochelsee      | 3.440                    | 106      | 60   | 782   | 2.550  | 11,1        | 3.740  | 3.000 | 12.900 | 103               |
| LAN                         | Lausitzer Neiße                                    | 1.460                    | 62,4     | 26,8   | 813   | 1.200  | 5,68        | 1.520  | 1.000 | 5.820  | 54                |
| LEI_PE01                    | Leine/Westaue                                      | 2.900                    | 164      | 43,7   | 1.700 | 4.200  | 13,3        | 3.190  | 2.700 | 24.400 | 168               |
| LEI_PE02                    | Innerste   | 1.600                    | 90,3     | 25,5   | 2.020 | 1.860  | 7,97        | 2.000  | 2.440 | 8.460  | 63,1              |
| LEI_PE03                    | Leine/Ilme   | 2.680                    | 136      | 31,2   | 2.000 | 2.100  | 9,66        | 2.800  | 2.650 | 9.730  | 65,6              |
| LEI_PE04                    | Rhume  | 1.610                    | 86,5     | 25   | 2.470 | 1.900  | 6,34        | 2.230  | 2.100 | 7.330  | 51,8              |

| Kennung<br>Planungs-einheit | Name Planungseinheit            | Nährstoff-Einträge [t/a] |          | Schadstoff-Einträge (Schwermetalle, PAK <sub>16</sub> ) [kg/a] |       |        |             |        |       |         |                   |
|-----------------------------|---------------------------------|--------------------------|----------|--|-------|--------|-------------|--------|-------|---------|-------------------|
|                             |                                 | Stickstoff               | Phosphor | Cadmium  | Chrom | Kupfer | Quecksilber | Nickel | Blei  | Zink    | PAK <sub>16</sub> |
| MAA_NORD                    | Maas Nord NRW                   | 2.430                    | 108      | 22,4   | 560   | 2.230  | 5,47        | 1.860  | 984   | 13.000  | 94,5              |
| MAA_SUED                    | Maas Sued NRW                   | 4.020                    | 162      | 35,5   | 1.370 | 3.290  | 8,83        | 3.320  | 1.720 | 19.900  | 111               |
| MAI_PE01                    | Rodau, Gersprenz, Mümling       | 1.400                    | 85,2     | 15,5   | 571   | 1.190  | 3,56        | 1.550  | 986   | 6.480   | 44,7              |
| MAI_PE02                    | Gewässer Vordertaunus und Nidda | 2.630                    | 188      | 32,9   | 3.730 | 2.910  | 7,41        | 4.600  | 1.870 | 13.900  | 86,1              |
| MAI_PE03                    | Kinzig                          | 1.320                    | 73,7     | 16,1   | 2.110 | 1.320  | 3,54        | 2.970  | 1.020 | 6.220   | 31,9              |
| MAI_PE50                    | Tauber (BW)                     | 1.620                    | 118      | 20,9   | 1.850 | 1.690  | 5,25        | 2.640  | 1.860 | 5.610   | 26,4              |
| MAI_PE51                    | Main (BW) unterh. Tauber        | 547                      | 33,7     | 6,32   | 358   | 402    | 1,44        | 716    | 456   | 1.760   | 9,16              |
| MEL_PE01                    | Nuthe                           | 120                      | 8,61     | 2,44   | 59,2  | 148    | 0,839       | 194    | 79    | 721     | 6,64              |
| MEL_PE02                    | Ehle                            | 263                      | 12       | 3,18   | 117   | 286    | 2,34        | 211    | 135   | 1.680   | 11,8              |
| MEL_PE03                    | Ohre                            | 741                      | 46,4     | 12   | 434   | 929    | 4,47        | 827    | 565   | 5.650   | 41                |
| MEL_PE04                    | Tanger                          | 165                      | 11,4     | 2,41   | 51    | 138    | 0,765       | 224    | 64,4  | 635     | 4,81              |
| MEL_PE05                    | Milde-Biese-Aland               | 1.140                    | 44,7     | 14,8   | 432   | 769    | 5,91        | 1.060  | 367   | 3.790   | 27,3              |
| MEL_PE06                    | Jeetze - Seege                  | 1.170                    | 64,8     | 16   | 410   | 823    | 5,62        | 1.310  | 407   | 3.690   | 37,1              |
| MEL_PE07                    | Elbe von Saale bis Havel        | 646                      | 37,7     | 9,73   | 273   | 890    | 3,03        | 471    | 414   | 5.710   | 94,8              |
| MEL_PE08                    | Elbe von Havel bis Geesthacht   | 140                      | 6,7      | 2,88   | 49,4  | 145    | 0,827       | 133    | 62,1  | 714     | 46,2              |
| MEL_PE09                    | Stepenitz-Karthane-Löcknitz     | 1.230                    | 77,1     | 14,7   | 275   | 761    | 4,49        | 1.310  | 294   | 3.300   | 23,7              |
| MEL_PE10                    | Elde-Müritz                     | 1.520                    | 93,7     | 30,3   | 619   | 1.770  | 9,68        | 1.660  | 859   | 8.700   | 339               |
| MEL_PE11                    | Sude                            | 1.980                    | 113      | 24,9   | 561   | 1.390  | 8,17        | 2.100  | 536   | 6.090   | 67,2              |
| MES_ES1                     | Elbestrom 1                     | 4.740                    | 205      | 111  | 2.440 | 4.150  | 16,6        | 3.720  | 3.620 | 25.600  | 149               |
| MES_ES2                     | Elbestrom 2                     | 3.040                    | 128      | 41,6   | 1.430 | 1.960  | 12,2        | 2.410  | 1.720 | 11.100  | 116               |
| MES_FM                      | Freiberger Mulde                | 5.160                    | 227      | 872  | 4.530 | 4.760  | 20,9        | 6.760  | 8.550 | 12.9000 | 90,2              |
| MES_SE                      | Schwarze Elster                 | 3.900                    | 193      | 61,1   | 1.470 | 3.160  | 16,8        | 3.740  | 2.090 | 15.600  | 146               |
| MES_VM                      | Vereinigte Mulde                | 1.430                    | 75,6     | 25   | 738   | 1.290  | 7,76        | 1.270  | 935   | 6.870   | 61,2              |
| MES_ZM                      | Zwickauer Mulde                 | 5.490                    | 256      | 116  | 4.490 | 4.620  | 23,5        | 6.160  | 5.550 | 26.700  | 112               |
| MOD                         | Mittlere Oder                   | 453                      | 23,1     | 7,74   | 114   | 637    | 2,33        | 492    | 372   | 4.280   | 34,8              |
| MOS_BLS                     | Blies                           | 2.370                    | 172      | 26,8   | 1.210 | 2.140  | 7,89        | 2.490  | 1.440 | 9.160   | 53,4              |
| MOS_EFB                     | Elzbach/Flaumbach-Baybach       | 833                      | 54       | 13,1   | 1.980 | 1.030  | 3,99        | 1.680  | 1.080 | 4.220   | 40,4              |

| Kennung<br>Planungs-einheit | Name Planungseinheit                                 | Nährstoff-Einträge [t/a] |          | Schadstoff-Einträge (Schwermetalle, PAK <sub>16</sub> ) [kg/a] |       |        |             |        |       |        |                   |
|-----------------------------|--|--------------------------|----------|--|-------|--------|-------------|--------|-------|--------|-------------------|
|                             |  | Stickstoff               | Phosphor | Cadmium  | Chrom | Kupfer | Quecksilber | Nickel | Blei  | Zink   | PAK <sub>16</sub> |
| MOS_KYL                     | KYLL   | 1.170                    | 44,9     | 11,7   | 709   | 762    | 3,18        | 1.300  | 496   | 3.010  | 17,9              |
| MOS_MOS                     | Mosel  | 793                      | 58,9     | 12,1   | 1.030 | 936    | 3,49        | 1.160  | 726   | 4.060  | 47,7              |
| MOS_PRI                     | Prims  | 790                      | 83,2     | 11,4   | 968   | 897    | 2,61        | 1.170  | 731   | 4.360  | 33,8              |
| MOS_PSA                     | Pr <sup>2</sup> m/SauerSauer                         | 1.920                    | 76,7     | 16,2   | 1.130 | 1.100  | 4,5         | 2.030  | 836   | 4.140  | 21,2              |
| MOS_RUS                     | Ruwer-Drohn/Salm-Lieser                              | 1.220                    | 84,1     | 19,2   | 3.060 | 1.610  | 5,01        | 2.600  | 1.470 | 6.320  | 33,4              |
| MOS_SAA                     | Saar   | 1.890                    | 170      | 27,7   | 913   | 2.110  | 5,78        | 2.060  | 1.250 | 12.100 | 70,5              |
| MRH_ALW                     | Alsenz-Wiesbach                                      | 662                      | 48       | 9,73   | 924   | 664    | 3,21        | 1.200  | 835   | 3.300  | 15,1              |
| MRH_GLA                     | Glan   | 1.570                    | 99,5     | 18,7   | 1.720 | 1.440  | 5,21        | 2.470  | 1.350 | 7.260  | 37                |
| MRH_LAH                     | Dill/Mittlere Lahn Nord/Untere Lahn                  | 7.280                    | 424      | 79,4   | 9.840 | 6.690  | 18,1        | 12.900 | 5.090 | 29.700 | 159               |
| MRH_NAH                     | Nahe   | 2.140                    | 118      | 26,7   | 3.880 | 2.090  | 7,24        | 3.100  | 1.630 | 8.420  | 44,7              |
| MRH_PE01                    | Ahr/Erft/Mittelrhein/Nette/Wisper                    | 2.020                    | 123      | 34,7   | 4.720 | 2.670  | 7,36        | 3.740  | 2.470 | 12.200 | 117               |
| MRH_SAW                     | Saynbach/Wied  | 1.430                    | 61,6     | 15,5   | 3.010 | 1.550  | 3,85        | 2.410  | 1.400 | 6.480  | 30,2              |
| NEC_PE40                    | Neckar bis einschl. Starzel                          | 3.380                    | 148      | 36   | 3.000 | 2.620  | 8,95        | 4.810  | 2.170 | 11.200 | 58,2              |
| NEC_PE41                    | Neckar unterh. Starzel bis einschl. Fils             | 4.980                    | 309      | 53,6   | 4.100 | 4.160  | 13,9        | 6.840  | 2.400 | 18.800 | 103               |
| NEC_PE42                    | Neckar unterh. Fils bis oberh. Enz                   | 4.440                    | 257      | 44,2   | 2.970 | 4.010  | 11,2        | 4.140  | 1.740 | 19.400 | 116               |
| NEC_PE43                    | Große Enz  | 370                      | 12,6     | 5,3  | 162   | 299    | 1,14        | 543    | 234   | 1.270  | 8,49              |
| NEC_PE44                    | Nagold   | 1.990                    | 102      | 22,8   | 1.140 | 1.600  | 4,83        | 2.580  | 1.520 | 7.450  | 38,1              |
| NEC_PE45                    | Enz unterh. Nagold bis Mündung Neckar                | 1.850                    | 99,1     | 17,9   | 1.230 | 1.510  | 4,42        | 1.810  | 1.000 | 5.910  | 34,1              |
| NEC_PE46                    | Neckar unterh. Enz bis oberh. Kocher                 | 1.520                    | 82,4     | 17,9   | 1.130 | 1.630  | 4,61        | 1.670  | 709   | 5.230  | 41,3              |
| NEC_PE47                    | Kocher   | 4.960                    | 194      | 42,2   | 3.400 | 2.850  | 12,2        | 4.580  | 1.510 | 10.400 | 52,9              |
| NEC_PE48                    | Jagst  | 4.140                    | 165      | 39,2   | 2.960 | 2.820  | 10,9        | 4.700  | 2.370 | 9.540  | 44                |
| NEC_PE49                    | Neckar unterh. Kocher (ohne Jagst) bis Mündung Rhein | 2.890                    | 156      | 31,7   | 1.740 | 2.350  | 7,48        | 3.330  | 1.660 | 10.200 | 80,3              |
| NR_PE01                     | Waldnaab/Haidenaab                                   | 2.720                    | 102      | 24,5   | 1.390 | 1.490  | 5,82        | 2.780  | 1.790 | 7.260  | 44,6              |
| NR_PE02                     | Naab/Schwarze Laber                                  | 4.340                    | 226      | 45   | 1.850 | 2.220  | 9,99        | 4.490  | 4.220 | 13.100 | 67,5              |
| NR_PE03                     | Vils (Oberpfalz)                                     | 1.880                    | 69       | 18,6   | 688   | 960    | 3,66        | 1.910  | 1.780 | 5.460  | 25,7              |
| NR_PE04                     | Regen  | 5.290                    | 193      | 42,2   | 1.800 | 2.460  | 10,5        | 4.160  | 4.340 | 14.700 | 94,5              |

| Kennung<br>Planungs-einheit | Name Planungseinheit                      | Nährstoff-Einträge [t/a] |          | Schadstoff-Einträge (Schwermetalle, PAK <sub>16</sub> ) [kg/a] |       |        |             |        |       |        |                   |
|-----------------------------|---|--------------------------|----------|--|-------|--------|-------------|--------|-------|--------|-------------------|
|                             |   | Stickstoff               | Phosphor | Cadmium  | Chrom | Kupfer | Quecksilber | Nickel | Blei  | Zink   | PAK <sub>16</sub> |
| NRH_EMR                     | Emscher                                   | 7.050                    | 532      | 110  | 1.220 | 9.230  | 14,9        | 5.210  | 2.170 | 74.300 | 259               |
| NRH_ERF                     | Erft                                      | 2.100                    | 103      | 93   | 770   | 1.700  | 7,87        | 15.200 | 1.150 | 40.900 | 64,2              |
| NRH_LIP                     | Lippe                                     | 9.690                    | 471      | 128  | 3.480 | 7.900  | 32,5        | 7.680  | 3.820 | 62.400 | 253               |
| NRH_RHE                     | Rheingraben-Nord                          | 9.580                    | 514      | 233  | 9.490 | 14.200 | 44,4        | 8.390  | 5.540 | 88.600 | 559               |
| NRH_RUH                     | Ruhr                                      | 9.740                    | 604      | 233  | 9.330 | 14.900 | 32,7        | 11.800 | 9.280 | 61.600 | 341               |
| NRH_SIE                     | Sieg                                      | 5.340                    | 320      | 72,8   | 7.920 | 6.670  | 16          | 8.360  | 5.810 | 30.200 | 159               |
| NRH_WUP                     | Wupper                                    | 2.490                    | 126      | 33,4   | 2.210 | 3.980  | 9,15        | 3.270  | 1.970 | 20.900 | 113               |
| OM_PE01                     | Oberer Main/Itz                           | 3.140                    | 176      | 36,7   | 3.700 | 2.460  | 9,24        | 3.660  | 2.860 | 10.400 | 63,3              |
| OM_PE02                     | Roter und Weißer<br>Main/Rodach/Steinach  | 3.750                    | 209      | 53,1   | 7.650 | 4.250  | 11,3        | 7.440  | 5.220 | 17.000 | 71,8              |
| ORH_ISE                     | Isenach-Eckbach                           | 1.940                    | 137      | 9,23   | 403   | 4.940  | 3,11        | 3.220  | 414   | 10.900 | 30,3              |
| ORH_PE14                    | Oberer Oberrhein                          | 207                      | 17,6     | 2,45   | 41    | 193    | 0,747       | 226    | 75,4  | 1.030  | 18,9              |
| ORH_PE30                    | Kander-Möhlin                             | 1.270                    | 74,5     | 22   | 991   | 1.230  | 6,04        | 2.180  | 844   | 5.080  | 36,5              |
| ORH_PE31                    | Elz-Dreisam                               | 2.580                    | 189      | 36,1   | 1.010 | 2.250  | 9,29        | 3.310  | 1.150 | 11.900 | 71,6              |
| ORH_PE32                    | Kinzig                                    | 1.900                    | 120      | 32,2   | 680   | 1.800  | 7,74        | 3.090  | 1.250 | 8.160  | 59,1              |
| ORH_PE33                    | Acher-Rench                               | 1.910                    | 73,7     | 22,2   | 528   | 1.280  | 5,98        | 1.990  | 600   | 5.790  | 58,4              |
| ORH_PE34                    | Murg-Alb                                  | 2.710                    | 121      | 29,7   | 712   | 2.060  | 7,08        | 2.650  | 837   | 11.600 | 78                |
| ORH_PE35                    | Pfinz-Saalbach-Kraichbach                 | 2.730                    | 162      | 35,2   | 1.510 | 2.520  | 10,1        | 2.990  | 1.410 | 12.000 | 111               |
| ORH_PE36                    | Oberrhein unterh. Neckarmündung           | 3.590                    | 222      | 42,6   | 1.010 | 3.510  | 10,5        | 3.060  | 1.480 | 19.700 | 206               |
| ORH_SLZ                     | Selz-Pfrimm                               | 1.330                    | 72,9     | 16,8   | 882   | 1.160  | 6,04        | 1.510  | 873   | 7.830  | 37,7              |
| ORH_SPY                     | Speyerbach                                | 827                      | 35,9     | 10,1   | 301   | 8.240  | 2,9         | 1.080  | 420   | 3.150  | 27,2              |
| ORH_SQW                     | Sauerbach/Queich-<br>Klingbach/Wieslauter | 1.310                    | 54,3     | 16,3   | 526   | 970    | 4,6         | 1.480  | 654   | 4.590  | 37,4              |
| PE_BWSMAI                   | Bundeswasserstraße Main                   | 2.000                    | 131      | 14,1   | 230   | 1.660  | 2,51        | 1.200  | 465   | 11.100 | 93,3              |
| RE_PE01                     | Untere Regnitz/Aisch                      | 2..420                   | 115      | 21,5   | 1.840 | 1.410  | 5,57        | 2.150  | 1.220 | 5.750  | 42                |
| RE_PE02                     | Obere Regnitz/Zenn/Schwabach              | 2.220                    | 111      | 19,4   | 1.060 | 1.480  | 4,31        | 1.700  | 906   | 7.130  | 56,9              |
| RE_PE03                     | Rednitz/Rezat/Untere Pegnitz              | 4.290                    | 207      | 36,6   | 2.380 | 2.830  | 7,74        | 3.080  | 1.800 | 14.400 | 92,2              |
| RE_PE04                     | Wiesent/östliche Regnitzzuflüsse          | 2.100                    | 114      | 28,2   | 1.860 | 1.430  | 5,33        | 2.960  | 2.660 | 7.700  | 32,4              |

| Kennung<br>Planungs-einheit | Name Planungseinheit               | Nährstoff-Einträge [t/a] |          | Schadstoff-Einträge (Schwermetalle, PAK <sub>16</sub> ) [kg/a] |       |        |             |        |       |         |                   |
|-----------------------------|------------------------------------|--------------------------|----------|--|-------|--------|-------------|--------|-------|---------|-------------------|
|                             |                                    | Stickstoff               | Phosphor | Cadmium  | Chrom | Kupfer | Quecksilber | Nickel | Blei  | Zink    | PAK <sub>16</sub> |
| RE_PE05                     | Mittlere und obere Pegnitz         | 1.650                    | 71,3     | 19,6   | 1.570 | 1.170  | 3,9         | 2.340  | 2.050 | 6.440   | 27                |
| SAL_BOD                     | Bode von Quelle bis Großer Graben  | 1.420                    | 53,8     | 20,4   | 1.860 | 1.560  | 5,87        | 2.460  | 1.400 | 7.210   | 52,5              |
| SAL_BOM                     | Bode von Großer Graben bis Mündung | 844                      | 26,8     | 8,04   | 417   | 493    | 3,23        | 564    | 400   | 2.430   | 20,8              |
| SAL_EGE                     | Eger                               | 1.750                    | 51,2     | 15,5   | 938   | 905    | 3,79        | 1.660  | 1.070 | 4.350   | 19,9              |
| SAL_GER                     | Gera                               | 1.330                    | 76,9     | 16,8   | 1.910 | 1.610  | 5,51        | 1.580  | 1.140 | 8.130   | 47                |
| SAL_GGR                     | Großer Graben                      | 845                      | 47,2     | 12,5   | 803   | 749    | 4,74        | 1.000  | 809   | 3.440   | 22,1              |
| SAL_HEL                     | Helme                              | 1.400                    | 62,8     | 22,4   | 1.840 | 1.420  | 7,44        | 1.960  | 1.470 | 6.660   | 45,3              |
| SAL_ILM                     | Ilm                                | 1.420                    | 84,6     | 15,9   | 1.630 | 1.150  | 4,23        | 1.600  | 1.210 | 5.110   | 31,1              |
| SAL_MSA                     | Mittlere Saale                     | 2.030                    | 97,5     | 21,2   | 1.270 | 1.380  | 6,03        | 1.820  | 1.680 | 6.740   | 41,4              |
| SAL_OUN                     | Obere Unstrut                      | 1.020                    | 55,6     | 11,5   | 1.040 | 847    | 3,56        | 1.070  | 780   | 3.730   | 25                |
| SAL_OWE                     | Obere Weiße Elster / Eger          | 1.720                    | 77,1     | 18,4   | 1.890 | 1.330  | 6,94        | 1.680  | 1.300 | 6.190   | 32,7              |
| SAL_OWE_SN                  | Sächsische Weiße Elster / Eger     | 2.390                    | 84,5     | 36,4   | 2.890 | 1.910  | 9,15        | 2.590  | 2.190 | 8.740   | 37,3              |
| SAL_SAL                     | Saale/Obere Saale                  | 4.760                    | 117      | 39,1   | 5.170 | 3.100  | 10,5        | 5.460  | 2.900 | 13.000  | 63,5              |
| SAL_SCH                     | Schwarza                           | 700                      | 27,6     | 10,5   | 1.520 | 929    | 2,72        | 1.340  | 1.050 | 4.140   | 13,5              |
| SAL_SEL                     | Selke                              | 340                      | 15,6     | 150  | 371   | 346    | 1,29        | 433    | 348   | 1.810   | 11,3              |
| SAL_SEW                     | Saale von Weiße Elster bis Wipper  | 1.040                    | 66,9     | 442  | 866   | 4.930  | 12          | 1.760  | 7.990 | 220.000 | 52,2              |
| SAL_SIE                     | Saale von Ilm bis Weiße Elster     | 1.150                    | 70,7     | 15,8   | 651   | 1.040  | 5,78        | 2.090  | 827   | 12.800  | 51,3              |
| SAL_SWI                     | Saale von Wipper bis Mündung       | 1.060                    | 41,4     | 10,8   | 1.740 | 722    | 6,29        | 888    | 706   | 3.610   | 36,8              |
| SAL_UNS                     | Mittlere und Untere Unstrut        | 1.990                    | 141      | 24,6   | 2.300 | 1.900  | 8,25        | 2.260  | 1.850 | 8.610   | 59,3              |
| SAL_UWE                     | Untere Weiße Elster / Pleiße       | 1.810                    | 90       | 20,6   | 1.020 | 1.310  | 8,59        | 1.360  | 937   | 6.830   | 44,6              |
| SAL_UWE_SN                  | Sächsische Weiße Elster / Pleiße   | 2.670                    | 127      | 53,3   | 1.170 | 3.000  | 13,3        | 2.070  | 1.480 | 18.000  | 95,8              |
| SAL_WIS                     | Wipper                             | 349                      | 23,3     | 9,85   | 551   | 553    | 1,71        | 597    | 522   | 4950    | 16,2              |
| SAL_WIU                     | Bode/Wipper                        | 785                      | 45       | 8,6  | 471   | 566    | 2,86        | 668    | 562   | 2..540  | 18,2              |
| STH                         | Stettiner Haff                     | 2.370                    | 86       | 54,2   | 1.020 | 2.690  | 17,2        | 2.170  | 1.180 | 13.100  | 214               |
| STR_KOG                     | Kossau / Oldenburger Graben        | 1.580                    | 60,5     | 20,2   | 582   | 1.400  | 7,14        | 1.460  | 561   | 7.250   | 55,9              |
| STR_SLE                     | Schlei                             | 2.660                    | 74,7     | 21,8   | 609   | 1.570  | 7,42        | 1.880  | 537   | 6.490   | 45,2              |
| STR_STEP                    | Stepenitz                          | 956                      | 23,6     | 11,2   | 367   | 525    | 4,62        | 822    | 193   | 2.320   | 13,7              |

| Kennung<br>Planungs-einheit | Name Planungseinheit                            | Nährstoff-Einträge [t/a] |          | Schadstoff-Einträge (Schwermetalle, PAK <sub>16</sub> ) [kg/a] |       |        |             |        |       |        |                   |
|-----------------------------|---|--------------------------|----------|--|-------|--------|-------------|--------|-------|--------|-------------------|
|                             |   | Stickstoff               | Phosphor | Cadmium  | Chrom | Kupfer | Quecksilber | Nickel | Blei  | Zink   | PAK <sub>16</sub> |
| STR_SWE                     | Schwentine                                      | 739                      | 30,3     | 9,57   | 217   | 654    | 2,8         | 671    | 305   | 3.130  | 48,2              |
| STR_TRA                     | Trave   | 1.890                    | 86,3     | 21,9   | 590   | 2.040  | 6,77        | 1.750  | 776   | 10.700 | 89,5              |
| TEL_HAD                     | Hadeln  | 865                      | 46       | 7,97   | 154   | 493    | 2,44        | 674    | 169   | 2.270  | 22,3              |
| TEL_IES                     | Ilmenau/Estee/Seeve                             | 2.660                    | 174      | 38   | 754   | 2.730  | 10,8        | 3.250  | 1.250 | 13.400 | 121               |
| TEL_KAB                     | Krückau-Alster-Bille                            | 2.520                    | 120      | 40,4   | 894   | 4.310  | 14,6        | 2.530  | 1.560 | 29.100 | 192               |
| TEL_LAS                     | Lühe/Aue-Schwinge                               | 976                      | 52,1     | 9,94   | 506   | 645    | 3,17        | 817    | 259   | 3.030  | 30,3              |
| TEL_NOK                     | Nord-Ostsee-Kanal                               | 3.290                    | 133      | 33,7   | 937   | 2.020  | 12,7        | 3.050  | 618   | 8.930  | 86                |
| TEL_OST                     | Oste  | 2.250                    | 99,6     | 19,7   | 407   | 1.040  | 6,46        | 1.750  | 329   | 4.410  | 33,1              |
| TEL_STR                     | Stör  | 3.470                    | 131      | 37,3   | 980   | 1.930  | 14,5        | 2.780  | 632   | 8.500  | 59,8              |
| TEL_TES                     | Tideelbestrom                                   | 2.770                    | 138      | 15,9   | 226   | 2.470  | 2,41        | 1.870  | 342   | 11.400 | 77,3              |
| TWE_PE02                    | Unterweser                                      | 6.010                    | 256      | 51,5   | 4.050 | 3.870  | 15,9        | 4.080  | 1.250 | 19.900 | 158               |
| TWE_PE03                    | Hunte   | 3.190                    | 146      | 25,7   | 534   | 1.730  | 7,01        | 2.140  | 860   | 7.730  | 82,1              |
| TWE_PE04                    | Weser/Ochtum                                    | 1.260                    | 54,8     | 12,5   | 276   | 1.150  | 3,6         | 953    | 502   | 6.800  | 50                |
| TWE_PE05                    | Wümme   | 2.670                    | 197      | 26,5   | 441   | 1.960  | 7,39        | 2.390  | 716   | 10.100 | 74,1              |
| UM_PE01                     | Mainzuflüsse von Gemünden bis Kahl              | 2.820                    | 141      | 30,8   | 1.180 | 1.900  | 6,59        | 2.700  | 1.680 | 9.100  | 84,8              |
| UM_PE02                     | Fränkische Saale                                | 2.520                    | 140      | 29,9   | 2.460 | 1.780  | 6,67        | 3.030  | 2.310 | 7.870  | 42,2              |
| UM_PE03                     | Mainzuflüsse von Volkach bis<br>Gemünden/Tauber | 4.280                    | 265      | 56   | 4.880 | 3.460  | 12,9        | 5.540  | 4.600 | 15.900 | 113               |
| UM_PE04                     | Mainzuflüsse von Bamberg bis Volkach            | 1.230                    | 70       | 13,6   | 1.060 | 923    | 3,29        | 1.290  | 897   | 3.960  | 43,7              |
| UOD                         | Untere Oder                                     | 1.340                    | 114      | 34,1   | 509   | 1.580  | 8,01        | 1.830  | 797   | 6.960  | 108               |
| WB_PE01                     | Berounka  | 56,1                     | 1,27     | 0,615  | 44,4  | 36,8   | 0,15        | 68,8   | 62,1  | 176    | 0,505             |
| WER_PE01                    | untere Werra                                    | 3.410                    | 173      | 34,5   | 2.210 | 4.470  | 9,49        | 3.850  | 2.790 | 16.100 | 61                |
| WER_PE02                    | Hörsel  | 1.400                    | 53,8     | 13,5   | 1.020 | 962    | 4,04        | 1.350  | 757   | 4.260  | 28,6              |
| WER_PE03                    | Obere Werra                                     | 2.810                    | 153      | 33,2   | 2.000 | 2.150  | 9,42        | 2.870  | 1.940 | 9.390  | 58,7              |
| WES_PE01                    | Große Aue                                       | 1.360                    | 74,1     | 12,8   | 332   | 741    | 3,54        | 1.130  | 359   | 3.230  | 22,2              |
| WES_PE02                    | Weser/Meerbach                                  | 2.420                    | 112      | 26,7   | 656   | 1.800  | 7,89        | 1.970  | 1.030 | 8.690  | 133               |
| WES_PE03                    | Werre   | 3.350                    | 191      | 40,3   | 1.700 | 3.080  | 10,1        | 3.130  | 1.900 | 16.800 | 117               |
| WES_PE04                    | Weser/Emmer                                     | 2.000                    | 131      | 30,1   | 2.130 | 1.910  | 7,97        | 2.280  | 1.880 | 8.610  | 76,9              |

| Kennung<br>Planungs-einheit | Name Planungseinheit | Nährstoff-Einträge [t/a] |          | Schadstoff-Einträge (Schwermetalle, PAK <sub>16</sub> ) [kg/a] |       |        |             |        |       |        |                   |
|-----------------------------|----------------------|--------------------------|----------|--|-------|--------|-------------|--------|-------|--------|-------------------|
|                             |                      | Stickstoff               | Phosphor | Cadmium  | Chrom | Kupfer | Quecksilber | Nickel | Blei  | Zink   | PAK <sub>16</sub> |
| WES_PE05                    | Weser/Nethe          | 2.740                    | 144      | 32,5   | 1.980 | 2.010  | 8,19        | 2.890  | 2.210 | 9.200  | 74,8              |
| WM_PE01                     | Obere Moldau         | 111                      | 1,72     | 1,65   | 28,7  | 63     | 0,381       | 166    | 164   | 468    | 1,3               |
| WP_KGO                      | Küstengebiet Ost     | 3.630                    | 155      | 51,6   | 1.180 | 2.800  | 17,8        | 3.840  | 1.050 | 13.100 | 115               |
| WP_KGW                      | Küstengebiet West    | 1.390                    | 54,3     | 17,3   | 516   | 946    | 6,67        | 1.340  | 377   | 4.320  | 29,2              |
| WP_PEE                      | Peene                | 3.350                    | 93,1     | 46,1   | 1.180 | 2.220  | 17,6        | 3.230  | 754   | 10.400 | 120               |
| WP_WAR                      | Warnow               | 3.120                    | 140      | 40,8   | 1.000 | 2.650  | 13,8        | 3.110  | 1.020 | 14.100 | 112               |

## **10.7 Wirkung von ausgewählten Maßnahmen auf die Verminderung des Überschusses der Stickstoff-Flächenbilanz 2009-2011**

# **Wirkung von ausgewählten Maßnahmen auf die Verminderung des Überschusses der Stickstoff-Flächenbilanz 2009-2011**

Abschlussbericht an das  
**Karlsruhe Institut für Technologie (KIT)**  
**Institut für Wasser und Gewässerentwicklung**

Im Rahmen des F+E-Projekts des Umweltbundesamtes  
*Effizienz von Maßnahmen zur Reduktion von Stoffeinträgen unter WRRL mit  
Hilfe des Bilanzierungsmodells MONERIS (Kurztitel: Maßnahmeneffizienz)*

## **Auftragnehmer**

Gesellschaft für Boden- und Gewässerschutz e.V., Wettenberg

## **Bearbeitung**

Martin Bach  
Laura Klement

Justus-Liebig-Universität Gießen  
Institut für Landschaftsökologie und Ressourcenmanagement  
Heinrich-Buff-Ring 26  
35392 Gießen  
martin.bach@umwelt.uni-giessen.de

März 2015

## Inhaltsverzeichnis

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1.    | Aufgabenstellung .....  | 1  |
| 2.    | Ausgangssituation .....   | 2  |
| 2.1   | Methodischer Ansatz .....   | 2  |
| 2.2   | N-Bilanzierung für konventionelle und ökologische Landwirtschaft in<br>Deutschland – IST 2010 ..... | 3  |
| 2.2.1 | Bodennutzung und Viehbestand .....  | 3  |
| 2.2.2 | Hektarerträge .....   | 4  |
| 2.2.3 | N-Bilanzierung - weitere Modifikationen .....   | 6  |
| 2.2.4 | N-Überschuss der konventionellen und ökologischen Landwirtschaft in<br>Deutschland 2010 .....       | 7  |
| 3.    | Maßnahme "10 % / 20 % ökologische Landwirtschaft" .....   | 8  |
| 3.1   | Umsetzung .....   | 8  |
| 3.2   | N-Überschuss mit der Maßnahme „10 % / 20 % Öko-Landbau“ .....                                       | 12 |
| 4.    | Maßnahme "Optimierung N-Management" .....   | 13 |
| 4.1   | Umsetzung .....   | 13 |
| 4.2   | N-Überschuss mit der Maßnahme „Optimierung N-Management“ .....                                      | 17 |
| 5.    | Maßnahme "Beschränkung des Viehbesatzes bei Neubauten auf 1,8 GV/ha“ .....                          | 18 |
| 6.    | Fazit .....   | 19 |
| 7.    | Literatur .....   | 21 |

## **Verzeichnis der Abkürzungen**

|         |   |
|---------|---|
| AB      | Ackerbau-Betrieb  |
| BMEL    | Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft        |
| BWA     | Betriebswirtschaftliche Ausrichtung                       |
| FB      | Futterbau-Betrieb (Milcherzeugung, Rindermast)            |
| FDZ     | Forschungsdatenzentrum der Statistischen Ämter der Länder |
| GV      | Großvieh(einheiten)                                       |
| LF      | Landwirtschaftliche genutzte Fläche                       |
| LZ 2010 | Landwirtschaftszählung 2010                               |
| MV      | Mecklenburg-Vorpommern                                    |
| N       | Stickstoff  |
| NI      | Niedersachsen   |
| SH      | Schleswig-Holstein  |
| VB      | Verbund-Betrieb   |
| VE      | Veredelungs-Betrieb (Schweine-, Geflügel-Produktion)      |
| UBA     | Umweltbundesamt   |

# 1. Aufgabenstellung

In der laufenden Diskussion im Zusammenhang mit der Meeres-Strategie-Rahmenrichtlinie (2008/56/EG) und im Rahmen der Arbeit des Arbeitskreises „Stoffeintragsmodellierung“ sind für den landwirtschaftlichen Bereich drei strategische Maßnahmen ausgewählt worden, deren Wirkungen mit dem Modellinstrument MoRE abgebildet werden sollen:

- I) Ausweitung des Anteils der ökologisch bewirtschafteten Flächen auf 10 % bzw. 20 % der Landwirtschaftsfläche (Kurzbezeichnung „Öko-Landbau“).
- II) Optimierung des betrieblichen Stickstoffdüngungs-Managements (Kurzbezeichnung „Optimierung N-Management“).

Die Maßnahmen „Öko-Landbau“ und „Optimierung N-Management“ werden als Kern eines Maßnahmenpakets „Landwirtschaft“ im Modellwerkzeug MoRE (Modelling of Regionalized Emissions) implementiert. Die Wirkung dieser Maßnahmen wird im Modell MoRE regional differenziert abgebildet über die Veränderung der Modelleingangsgröße **„Überschuss N-Flächenbilanz“**.

Für die dritte Maßnahme

- III) Beschränkung des Viehbesatzes von Landwirtschaftsbetrieben bei der Neuanlage von (genehmigungspflichtigen) Stallbauten auf 1,8 Großvieheinheiten/ha (Kurzbezeichnung „GV-Beschränkung“).

wurde nur eine qualitative Bewertung vorgenommen (Erläuterung s. Kapitel 5).

Der vorliegende Bericht beschreibt die Methodik sowie die Ergebnisse, wie die Maßnahmen I) und II) im Ansatz von Bach (2014) zur Berechnung von Stickstoff-Flächenbilanzen für die Landwirtschaft in Deutschland umgesetzt und dargestellt werden. Die Wirkung der beiden Maßnahmen wird für drei regionale Gliederungen berechnet:

- Deutschland insgesamt,
- Bundesländer Mecklenburg-Vorpommern (MV), Niedersachsen (NI) und Schleswig-Holstein (SH) zusammengenommen (als Anrainerländer der Nord- und Ostsee),
- Kreise und kreisfreie Städte (bzw. Kreisregionen).

Als Referenzsituation dient jeweils der N-Überschuss im Mittel der Jahre 2009 bis 2011.

Hinweis: In den nachfolgenden Tabellen werden i.d.R. die Ergebnisse für die Ebene Deutschland insgesamt ausführlich wiedergegeben. Für die drei Bundesländer Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen und Schleswig-Holstein (jew. zusammengefasst) unterscheiden sich die Werte der N-Bilanzglieder gegenüber Deutschland insgesamt nur relativ wenig, aus Gründen der Lesbarkeit wird daher für diese Regionalgliederung nur jeweils der N-Überschuss als zentrales Ergebnis angegeben. Für die regionale Gliederung Kreise und kreisfreien Städte wurde das Ergebnis zum N-Überschuss dem Auftraggeber als Datei zur Verfügung gestellt, auf eine Darstellung wird im hier vorliegenden Bericht jedoch verzichtet. Alle Ergebnisse können bei Bedarf als Excel-Tabellen von den Bearbeitern bezogen werden.

Anmerkung: Im folgenden Text werden aus Gründen der Lesbarkeit m.o.w. durchgängig die Begriffe N-Überschuss, N-Bilanz oder N-Bilanzüberschuss verwendet. Diese Begriffe stellen eine Verkürzung dar, präziser müsste stets von der Stickstoff-Flächenbilanz und deren Über-

schuss (Saldo) gesprochen werden. Falls auf andere Bilanzeinheiten (Gesamt-, Hoftor-, Stall- oder Biogas-Bilanz) Bezug genommen wird, dann werden diese Bilanzeinheiten immer explizit genannt.

## 2. Ausgangssituation

### 2.1 Methodischer Ansatz

Die Wirkung der Maßnahmen „Ausweitung Öko-Landbau“ und „Optimierung N-Management“ auf den Überschuss der N-Flächenbilanz in Deutschland können prinzipiell mit zwei unterschiedlichen Ansätzen abgebildet werden.

a) Ansatz *Regionshof*: Die Anbauflächen und die Viehbestände innerhalb einer territorialen Bilanzeinheit (Bundesgebiet, Bundesländer, Kreise und kreisfreie Städte) werden wie ein einziger, großer Landwirtschaftsbetrieb betrachtet, der die gesamte LF der regionalen Einheit bewirtschaftet. Für die Abbildung von Maßnahmen wird dieser Regionshof dann aufgeteilt werden in denjenigen Teil der Bodennutzung und des Viehbestandes, der konventionell bewirtschaftet wird, und einen ökologischen Teil. Für beide Teile werden anschließend N-Flächenbilanzen berechnet, wobei die N-Bilanzierung für den Öko-Landbau entsprechend den Anbaurichtlinien für ökologische Landwirtschaft zu modifizieren ist.

Für die Maßnahmen 10 % bzw. 20 % Öko-LF wird dann der ökologisch bewirtschaftete Flächenanteil und Viehbestand in einer regionalen Einheit entsprechend ausgedehnt auf Kosten der konventionellen Landwirtschaft. Für die Maßnahme Optimierung N-Management wird die N-Düngerzufuhr zur konventionell bewirtschafteten LF vermindert. Anschließend werden erneut die N-Überschüsse für beide Teile berechnet und flächengewichtet gemittelt. Die Differenz zum Ausgangswert des mittleren N-Überschuss in der IST-Situation 2010 bildet dann jeweils die Wirkung einer Maßnahme ab.

b) Ansatz *Einzelbetriebe*: Zunächst wird auf der einzelbetrieblichen Ebene die Differenz des N-Überschusses zwischen konventionell und ökologisch wirtschaftenden Betrieben der gleichen Betriebsstruktur, gekennzeichnet durch die Betriebswirtschaftliche Ausrichtung (BWA: Ackerbau-, Futterbau-, Veredelung-, Verbund-Betriebe) und den Viehbesatz, berechnet. Dann wird angenommen, dass in jeder Betriebsstruktur-Klasse ein bestimmter Anteil an Betrieben auf Öko-Landbau umstellt, so dass hochgerechnet für Deutschland insgesamt das Ziel von 10 % bzw. 20 % Öko-LF erreicht ist. Die Verminderungen des N-Überschusses in den Einzelbetrieben werden anschließend aggregiert zur Zielaussage, der Änderung des N-Überschusses in Deutschland insgesamt.

Der Ansatz b) erfordert jedoch bestimmte Voraussetzungen: (i) Der N-Flächenbilanzüberschuss muss für Landwirtschaftsbetriebe in Abhängigkeit von der Betriebsstruktur (BWA und Viehbesatz) berechnet werden. Diese Berechnungen können nur im Datenbestand der Landwirtschaftszählung 2010 (LZ 2010) durchgeführt werden, wofür aber bislang kein geprüfter Ansatz vorhanden ist (Anmerkung: dieses Berechnungsverfahren wird derzeit gerade entwickelt, das Ergebnis ist jedoch offen und wird frühestens in 2015 verfügbar sein). (ii) Für die Maßnahme „Öko-Landbau“ wurde außerdem eine Literaturrecherche durchgeführt, die gezeigt hat, dass nur sehr wenige Praxisergebnisse zum Unterschied des N-Überschusses zwischen konventionellen und ökologischen Betrieben mit gleicher Betriebsstruktur (sog. Systemvergleiche) in Deutschland vorliegen. Diese Ergebnisse sind zudem relativ heterogen

und erlauben keine generalisierten, quantitativen Aussagen zur Änderung des N-Überschuss bei Umstellung auf ökologische Landwirtschaft, so dass auch ein „up-scaling“ von der einzelbetrieblichen Ebene auf das Bundesgebiet oder für einzelne Bundesländer sehr unsicher wäre.

Die Umsetzung der Maßnahmen „10 % Öko-LF“ bzw. „20 % Öko-LF“ sowie „Optimierung N-Management“ wird daher nach Ansatz a) durchgeführt.

## **2.2 N-Bilanzierung für konventionelle und ökologische Landwirtschaft in Deutschland – IST-Situation 2010**

### **2.2.1 Bodennutzung und Viehbestand**

Ausgangspunkt der Maßnahmen ist die Berechnung von Stickstoff-Flächenbilanzen für Deutschland insgesamt nach der Methodik von Bach (2014) mit der Bodennutzung und dem Viehbestand im Bezugsjahr 2010.

In Bach (2014) werden dazu die Angaben zur Bodennutzung und zum Viehbestand aus den entsprechenden Fachserien des Statistischen Bundesamtes herangezogen (s. Tab 2 in Bach 2014). In den Fachserien des Statistischen Bundesamtes ([www.destatis.de](http://www.destatis.de)) wird ökologische Landwirtschaft jedoch nicht gesondert ausgewiesen. Für die Aufteilung der Anbauflächen und des Viehbestand nach konventioneller und ökologischer Bewirtschaftung wurde daher die Landwirtschaftszählung 2010 ausgewertet (alle diesbezüglichen Berechnungen und Auswertungen erfolgten mit freundlicher Unterstützung durch das Forschungsdatenzentrum der Statistischen Ämter der Länder, FDZ, Standort Kiel, Ansprechpartner Dr. Alexander Vogel).

In der LZ 2010 wird mit dem Merkmal C0501 erfasst, ob ein Betrieb „dem Kontrollverfahren zum Ökologischen Landbau nach der Verordnung (EG) Nr. 834/2007“ unterliegt (ja/nein) (Statistische Ämter der Länder, 2012). Für alle weiteren Auswertungen werden als „Öko-Betriebe“ diejenigen Betriebe bzw. deren Anbauflächen und Tierbestände verstanden, die diese Frage mit „ja“ beantwortet haben. Tab. 1 gibt die Aufteilung der Bodennutzung und Viehbestände nach LZ 2010 im Bundesgebiet wieder.

In der LZ 2010 sind 299.134 Landwirtschaftsbetriebe erfasst. Darunter befinden sich 16.521 (entsprechend 5,5 %) Öko-Betriebe (im Sinne der EG-Verordnung 834/2007), die in Deutschland rd. 5,9 % der Landwirtschaftsfläche bewirtschaften und rd. 4,4 % des Viehbestands halten.

Es ist anzumerken, dass sich die Flächennutzungsstruktur der Öko-Betriebe in Deutschland von der durchschnittlichen Nutzungsverteilung der konv. Betriebe signifikant unterscheidet: auf die Öko-Betriebe entfallen nur 3,6 % der Ackerfläche, aber fast 11 % des Dauergrünlands. Im Getreideanbau werden wesentlich häufiger die weniger anspruchsvollen Getreidearten Roggen und Hafer angebaut, Raps und Zuckerrüben nehmen nur einen sehr geringen Anteil der Anbaufläche ein. Charakteristisch für den Öko-Landbau ist der hohe Anteil an Leguminosen (in Tab. 1 „Hülsenfrüchte“ sowie die Kategorie „Pflanzen zur Grünernte insgesamt“, i.e. Klee, Klee gras und Luzerne, abzüglich Silomais). Weiterhin treten bei den Öko-Betriebe überproportional hohe Flächenanteile im Anbau von Dauerkulturen (Obst, Weinbau) sowie Gemüse auf.

Die Viehhaltung der Öko-Betriebe konzentriert sich auf die Rinderhaltung, Schweineproduktion findet nur in sehr geringem Umfang statt. Daneben ist ein überproportionaler Anteil der Legehennenhaltung in Öko-Betriebe festzustellen, was auf die relativ hohe Nachfrage der Verbraucher nach biologisch produzierten Hühnereiern zurückzuführen sein dürfte.

**Tab. 1:** Bodennutzung und Viehbestand nach konventioneller und ökologischer Landwirtschaft in Deutschland in 2010 (n. Landwirtschaftszählung 2010)

| Kategorien für die N-Bilanzierung |     | IST-Situation 2010 |                    |                  |
|-----------------------------------|-----|--------------------|--------------------|------------------|
|                                   |     | Insgesamt          | Konv. Betriebe (%) | Öko-Betriebe (%) |
| <b>Bodennutzung</b>               |     | <b>Flächen</b>     |                    |                  |
| Landw. gen. Fläche (LF) ges.      | ha  | 16.704.000         | 94,1%              | 5,9%             |
| Ackerland (insgesamt)             | ha  | 11.846.700         | 96,4%              | 3,6%             |
| Dauergrünland                     | ha  | 4.654.700          | 89,1%              | 10,9%            |
| Dauerkulturen                     | ha  | 198.800            | 92,8%              | 7,2%             |
| - dar. Rebland                    | ha  | 99.907             | 94,8%              | 5,2%             |
| Getreide                          | ha  | 6.587.500          | 96,5%              | 3,5%             |
| - dar. Weizen                     | ha  | 3.297.700          | 97,6%              | 2,4%             |
| - Roggen (incl. Menggetreide)     | ha  | 627.100            | 89,9%              | 10,1%            |
| - Gerste insgesamt                | ha  | 1.641.400          | 98,4%              | 1,6%             |
| - Hafer                           | ha  | 141.400            | 84,0%              | 16,0%            |
| - Triticale                       | ha  | 397.500            | 94,0%              | 6,0%             |
| - Körnermais und CCM              | ha  | 466.600            | 98,3%              | 1,7%             |
| Kartoffeln                        | ha  | 254.400            | 96,5%              | 3,5%             |
| Zuckerrüben                       | ha  | 364.100            | 99,5%              | 0,5%             |
| Pflanzen zur Grünernte ges.       | ha  | 2.571.000          | 94,4%              | 5,6%             |
| - dar: Silomais                   | ha  | 1.828.900          | 99,2%              | 0,8%             |
| Ölfrüchte insges.                 | ha  | 1.502.300          | 99,3%              | 0,7%             |
| - dar.: Winterraps                | ha  | 1.457.300          | 99,6%              | 0,4%             |
| Hülsenfrüchte                     | ha  | 100.700            | 69,2%              | 30,8%            |
| Gemüse                            | ha  | 130.900            | 90,5%              | 9,5%             |
| <b>Tierhaltung</b>                |     | <b>Viehbestand</b> |                    |                  |
| Großvieheinheiten insges.         | GV  | 12.988.177         | 95,6%              | 4,4%             |
| Rinder insges.                    | St. | 12.534.507         | 95,0%              | 5,0%             |
| - dar. Milchkühe                  | St. | 4.164.789          | 96,6%              | 3,4%             |
| Schweine insges.                  | St. | 27.571.352         | 99,3%              | 0,7%             |
| - dar. Mastschweine (>50 kg)      | St. | 11.173.300         | 99,3%              | 0,7%             |
| - dar. Zuchtsauen                 | St. | 2.364.812          | 99,2%              | 0,8%             |
| Schafe insges.                    | St. | 2.088.541          | 87,6%              | 12,4%            |
| Legehennen (>1/2 J.)              | St. | 35.278.999         | 92,0%              | 8,0%             |

### 2.2.2 Hektarerträge

In der Landwirtschaftszählung werden keine Hektarerträge erhoben. Ausgangspunkt sind die Ertragsangaben des Statistischen Bundesamts im Mittel der Jahre 2009 bis 2011 (drei Jahre zum Ausgleich saisonaler Schwankungen). Die Angaben sind jedoch nicht nach konventioneller und ökologischer Landwirtschaft differenziert.

Als Datenquelle zum unterschiedlichen Ertragsniveau im konventionellen und im ökologischen Anbau von Feldfrüchten wurden daher die Daten des Testbetriebsnetzes des BMEL herangezogen (BMEL, versch. Jahre). Nach Stand der Kenntnis umfasst das Testbetriebsnetz die größte Zahl von Ertragsangaben und stellt eine annähernd repräsentative Stichprobe aus der Grundgesamtheit aller (konventionellen und ökologischen) Landwirtschaftsbetriebe dar. Die Testbetriebsdaten weisen die mittleren Hektarerträge im Durchschnitt aller Testnetzbetriebe aus für die Kulturarten

- Getreide
- Weizen
- Gerste
- Raps
- Kartoffeln
- Zuckerrüben.

Für die Wirtschaftsjahre 2008/09, 2009/10 und 2010/11 wurde für die aufgeführten Kulturen das Verhältnis der Hektarerträge aller Haupterwerbs-Betriebe zu den Öko-Haupterwerbsbetrieben berechnet und für die drei Jahre gemittelt (Sp. 3 in Tab. 2). Mit diesem Verhältnis wurde dann im nächsten Schritt aus den Hektarerträgen nach der Ernteerhebung des Statistischen Bundesamts (Mittel 2009 – 2011; Sp. 2 in Tab. 2) für Deutschland insgesamt die Hektarerträge im Öko-Landbau (Sp. 4 in Tab. 2) berechnet. Anschließend wurden die Hektarerträge für den konventionelle Landbau so variiert, dass die Erntemengen der jeweiligen Kulturart in der Summe für Deutschland insgesamt

= Fläche<sub>konv</sub> \* Ertrag<sub>konv</sub> + Fläche<sub>öko</sub> \* Ertrag<sub>öko</sub> mit dem Ausgangswert überein stimmen (Werte hier nicht dargestellt).

**Tab. 2:** Hektar-Erträge der Landwirtschaft in Deutschland insgesamt (Durchschnitt 2009 – 2011; n. Statist. Bundesamt) und berechnete Erträge im ökologischen Anbau

| Kultur       | Hektar-Ertrag<br>Mittel DE<br>(2009-2011) <sup>a</sup><br>dt/ha | Ertrag<br>Öko-Betriebe<br>rel. zum Mittel DE<br>% | Hektar-Ertrag<br>Mittel Öko-<br>Betriebe<br>(berechnet) <sup>d</sup><br>dt/ha |
|--------------|---|---|---|
| 1            | 2   | 3   | 4   |
| Winterweizen | 73,8  | 45,6% <sup>b</sup>                                | 33,7  |
| Roggen       | 48,1  | 42,8% <sup>b</sup>                                | 20,6  |
| Wintergerste | 64,3  | 50,7% <sup>b</sup>                                | 32,6  |
| Hafer        | 45,6  | 42,8% <sup>b</sup>                                | 19,5  |
| Triticale    | 56,4  | 42,8% <sup>b</sup>                                | 24,2  |
| Kartoffeln   | 434,9   | 56,8% <sup>b</sup>                                | 247,0   |
| Zuckerrüben  | 640,2   | 78,5% <sup>b</sup>                                | 502,6   |
| Winterraps   | 37,1  | 60,3% <sup>b</sup>                                | 22,4  |
| Silomais     | 438,3   | 70,0% <sup>c</sup>                                | 306,8   |

a) n. Statist. Bundesamt: Hektarerträge ausgewählter landwirtschaftlicher Feldfrüchte

b) ermittelt aus den Angaben des Testbetriebsnetzes; Datenquellen: Statistik BFT-1100000-20???.xls; (?? steht für die Jahre 09, 10, 11) für alle Haupterwerbsbetriebe; Statistik BFT-1300000-20???.xls für die ökolog. Haupterwerbsbetriebe, download s. BMEL (versch. J.); für Hafer, Roggen und Triticale wurde der mittlere Wert für Getreide verwendet

c) geschätzt n. Literaturangaben

d) Hektar-Ertrag Öko-Betriebe = Hektar-Ertrag Mittel DE \* Ertrag Öko-Betriebe rel. zum Mittel DE

Für Grünfütterpflanzen (Grünland, Silomais, sonstiges Grünfütter) werden im Testbetriebsnetz keine Hektarerträge erfasst. Der Wert von 70 % relativem Ertrag in Öko-Betrieben wurde daher aus Literaturangaben geschätzt (de Ponti et al. 2010; Seufert et al. 2012; Mäder et al. 2013).

### **2.2.3 N-Bilanzierung - weitere Modifikationen**

Für die Berechnung der N-Flächenbilanzen, separat für konventionelle und ökologische Landwirtschaft, wurden folgende weitere Einstellungen bzw. Modifikationen der Bilanzierung vorgenommen.

Die Koeffizienten zu

- N-Gehalte bzw. N-Mengen im Erntegut (Ernteabfuhr)
- N-Ausscheidung mit tierischen Exkrementen
- Gasförmige N-verluste aus Wirtschaftsdünger (Lagerung und Ausbringung)
- N-Fixierung mit Leguminosen

wurden für beide Bilanzen identisch gehalten.

Auf die ökologische LF wird definitionsgemäß kein Mineraldünger aufgebracht.

Der Bedarfskoeffizient zur Schätzung der Mineraldünger-Zufuhr wurde für die Bilanzierung der konventionellen LF so eingestellt, dass die gesamte Mineraldünger-Absatzmenge (Mittel 2009 – 2011) auf die konventionelle LF ausgebracht wird.

Die N-Zufuhr mit Kompost und Klärschlamm wird ebenfalls ausschließlich der konventionellen LF zugerechnet.

Die durchschnittliche jährliche Milchleistung im Öko-Landbau wurde, ausgehend von den Angaben des Testbetriebsnetzes, analog zu den Hektarerträgen ermittelt und beträgt (Mittel Wj. 2008/09 bis 2010/11) 5728 kg/Kuh gegenüber 7009 kg/Kuh in den konventionellen Betrieben.

## 2.2.4 N-Überschuss der konventionellen und ökologischen Landwirtschaft in Deutschland 2010

Mit den vorstehend beschriebenen Modifikationen wurde der N-Überschuss getrennt für die konventionelle und die ökologische LF berechnet (Tab. 3).

**Tab. 3:** Bilanzglieder und Überschuss der Stickstoff-Flächenbilanz der Landwirtschaft in Deutschland 2010 und in den drei Bundesländern Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen und Schleswig Holstein (nur Angabe zum N-Überschuss), getrennt nach konventionell und ökologisch bewirtschafteter Landwirtschaftsfläche

| N-Bilanzglieder                       | Tonnen N                         |                  |               | Bezogen auf LF                            |                        |                      |
|---------------------------------------|----------------------------------|------------------|---------------|---|------------------------|----------------------|
|                                       | DE<br>gesamt <sup>a</sup><br>t N | Konv. LF<br>t N  | Öko-LF<br>t N | DE ge-<br>samt <sup>a</sup><br>kg N/ha LF | Konv. LF<br>kg N/ha LF | Öko-LF<br>kg N/ha LF |
| <b>Zufuhr</b>                         |                                  |                  |               |   |                        |                      |
| Mineraldünger                         | 1.601.233                        | 1.601.233        | 0             | 95,9                                      | 101,8                  | 0,0                  |
| Wirtschaftsdünger                     | 883.014                          | 845.917          | 37.096        | 52,9                                      | 53,8                   | 37,8                 |
| Biologische N-Bindung                 | 218.111                          | 192.090          | 26.021        | 13,1                                      | 12,2                   | 25,8                 |
| Organ. Düngemittel <sup>d</sup>       | 56.093                           | 56.093           | 0             | 3,4                                       | 3,6                    | 0,0                  |
| Saat- und Pflanzgut                   | 23.332                           | 22.563           | 771           | 1,4                                       | 1,4                    | 0,8                  |
| Atmosphär. N-Deposition               | 400.896                          | 377.356          | 23.540        | 24,0                                      | 24,0                   | 24,0                 |
| <b>Summe Zufuhr</b>                   | <b>3.182.678</b>                 | <b>3.095.252</b> | <b>87.428</b> | <b>190,7</b>                              | <b>196,9</b>           | <b>88,4</b>          |
| <b>Abfuhr</b>                         |                                  |                  |               |   |                        |                      |
| Verkaufsfrüchte                       | 1.130.676                        | 1.112.155        | 17.856        | 123,2 <sup>b</sup>                        | 124,6 <sup>b</sup>     | 70,4 <sup>b</sup>    |
| Raufutter <sup>e</sup>                | 911.427                          | 852.596          | 58.831        | 126,1 <sup>c</sup>                        | 129,7 <sup>c</sup>     | 90,0 <sup>c</sup>    |
| <b>Summe Abfuhr<sup>f</sup></b>       | <b>2.048.952</b>                 | <b>1.971.066</b> | <b>77.221</b> | <b>122,7</b>                              | <b>125,4</b>           | <b>76,7</b>          |
| <b>Überschuss</b>                     |                                  |                  |               |   |                        |                      |
| ----- Deutschland insgesamt -----     |                                  |                  |               |   |                        |                      |
| <b>N-Überschuss (Saldo)</b>           | <b>1.133.726</b>                 | <b>1.124.186</b> | <b>10.207</b> | <b>68,0</b>                               | <b>71,5</b>            | <b>11,7</b>          |
| ----- Küstenländer (MV, NI, SH) ----- |                                  |                  |               |   |                        |                      |
| <b>N-Überschuss (Saldo)</b>           | <b>364.156</b>                   | <b>361.227</b>   | <b>2.929</b>  | <b>73,0</b>                               | <b>77,0</b>            | <b>12,7</b>          |

a) Berechnet nach Bach (2014); geringfügige Differenzen zur Summe der Bilanzglieder konv. + ökologisch bei einigen Bilanzgliedern sind methodisch bedingt

b) kg N/ha Anbaufläche Verkaufsfrüchte (Getreide, Raps, Zuckerrüben, Kartoffeln)

c) kg N/ha Anbaufläche Raufutter

d) Kompost, Klärschlamm, Tiermehl

e) Grünland, Grünfütterpflanzen (Anbau auf dem Ackerland), Erntereste

f) incl. Abfuhr Dauerkulturen

### 3. Maßnahme "10 % / 20 % Ökologische Landwirtschaft"

#### 3.1 Umsetzung

##### Definition Maßnahme:

Der Anteil landwirtschaftlich genutzter Flächen (LF), die ökologisch bewirtschaftet werden, erhöht sich im Bundesgebiet von 5,9 % (Stand 2010) auf 10 % bzw. auf 20 % der LF.

Die Maßnahme wurde im Berechnungsschema der N-Bilanzierung wie folgt umgesetzt.

##### **Öko-Landbau**

Die Angaben zur *Bodennutzung* und zu *Viehbeständen* im Öko-Landbau in 2010 wurden mit dem Skalierungsfaktor 1,703 (für Maßnahme „10 % Öko-LF“) bzw. 3,406 (für Maßnahme „20 % Öko-LF“, s. Tab. 4) für die betreffende Maßnahme multipliziert. Damit ergeben sich im ersten Schritt die Mengengerüste zu Bodennutzung und Viehbeständen des Öko-Landbaus in der Maßnahme „10 % Öko-LF“ bzw. „20 % Öko-LF“ für alle regionalen Gliederungen.

##### **Konv. Landbau**

Im zweiten Schritt sind die Bodennutzung und die Viehbestände des konv. Landbaus an die Ausdehnung des Öko-Landbaus wie folgt rechnerisch anzupassen.

*Bodennutzung:* Von den Angaben zur Bodennutzung insgesamt in 2010 wurden die Bodennutzungsflächen des Öko-Landbaus in den Maßnahmen „10 % Öko-LF“ bzw. „20 % Öko-LF“ abgezogen. Die Differenz entspricht dann der Bodennutzung mit konventionellem Landbau in der Maßnahme „10 % Öko-LF“ bzw. „20 % Öko-LF“.

*Viehbestand:* Es wird davon ausgegangen, dass sich bei Umsetzung der Maßnahmen „10 % Öko-LF“ bzw. „20 % Öko-LF“ der Viehbestand der konv. Landwirtschaft im gleichen Verhältnis wie die konv. LF reduziert. Mit dieser Annahme berechnet sich der Skalierungsfaktor für den konv. Viehbestand aus dem Verhältnis der konv. LF zu 90,0 % / 94,13 % = 0,956 für Maßnahme „10 % Öko-LF“ (s. Tab. 4, letzte Zeile)

**Tab. 4:** Ermittlung der Anteile ökologisch und konventionell bewirtschafteter Landwirtschaftsflächen in den Maßnahmen „10 % Öko-LF“ und „20 % Öko-LF“

|   | IST 2010 | Maßnahmen                   |                             |
|---|----------|-----------------------------|-----------------------------|
|   |          | 10 % Öko-LF                 | 20 % Öko-LF                 |
| <b>Ökologisch</b> bewirtschaftete Landwirtschaftsfläche - Anteil    | 5,87 %   | 10,0 %                      | 20,0 %                      |
| <b>Skalierungsfaktor</b> Bodennutzung und Viehbestand Öko-Landbau   | ---      | 1,703                       | 3,406                       |
| <b>Konventionell</b> bewirtschaftete Landwirtschaftsfläche - Anteil | 94,13 %  | 90,0 %                      | 80,0 %                      |
| Ermittlung konv. Bodennutzung                                       | ---      | IST 2010 minus Öko-LF (10%) | IST 2010 minus Öko-LF (20%) |
| Skalierungsfaktor konv. Viehbestand                                 | ---      | 0,956                       | 0,850                       |

Mit andern Worten: es wird in den Maßnahmen *nicht* davon ausgegangen, dass von den derzeit konventionell bewirtschafteten Bodennutzungen respektive Tierbeständen jeweils der gleiche *Anteil* auf Öko-Landbau umgestellt wird. Die Maßnahme „Ausweitung des Öko-Landbaus“ wird im N-Bilanzschema vielmehr so abgebildet, dass die Struktur der Bodennutzung (s. Tab. 5) und der Viehhaltung (Tab. 6) in den *Öko-Betrieben* in 2010 als *konstant* angenommen wird und alle Flächenangaben bzw. Tierzahlen des Öko-Landbaus mit einem einheitlichen Skalierungsfaktor multipliziert werden. Die Veränderungen der Flächennutzung der konv. Landwirtschaft ergibt sich dann als Differenzgröße, d.h. der Gesamtumfang der Landwirtschaftsfläche in Deutschland ändert sich nicht.

In der Viehhaltung kommt es bei diesem Vorgehen dagegen zu einer Änderung der Viehbestände insgesamt (konv. und ökolog. zusammen; s. Tab. 6). Der Gesamtbestand an Milchkühen bspw. reduziert sich bei der Maßnahme „10 % Öko-LF“ auf rund 98 % und für „20 % Öko-LF“ auf rund 94 % des IST-Bestands in 2010, die Anzahl der Schweine vermindert sich auf 96 % respektive 87 % des Ausgangsbestands. Diese Rückgänge sind auf die geringeren Viehdichten in Öko-Betrieben zurückzuführen.

Die *Hektar-Erträge* für den konv. und den Öko-Landbau der IST-Situation 2010 wurden für die Maßnahmen nicht verändert.

**Tab. 5:** Bodennutzung der konventionellen und der ökologisch wirtschaftenden Betriebe in Deutschland im Jahr 2010 (n. Landwirtschaftszählung 2010) und Verteilung mit den Maßnahmen „10 % Öko-Landbau“ und „20 % Öko-Landbau“

| " Bodennutzung                | IST-Situation 2010           |  |  | Maßnahme 10 % Öko-LF                     |  | Maßnahme 20 % Öko-LF                     |  |
|-------------------------------|------------------------------|--|--|--|--|--|--|
|                               | Flächen<br>insgesamt<br>(ha) | Konv. Betriebe<br>(% von<br>gesamt 2010) | Öko-Betriebe<br>(% von<br>gesamt 2010) | Konv. Betriebe<br>(% von<br>gesamt 2010) | Öko-Betriebe<br>(% von<br>gesamt 2010) | Konv. Betriebe<br>(% von<br>gesamt 2010) | Öko-Betriebe<br>(% von<br>gesamt 2010) |
| Landw. gen. Fläche (LF) ges.  | 16.704.000                   | 94,1%                                    | 5,9%                                   | 90,0%                                    | <b>10,0%</b>                           | 80,0%                                    | <b>20,0%</b>                           |
| Ackerland (insgesamt)         | 11.846.700                   | 96,4%                                    | 3,6%                                   | 93,9%                                    | 6,1%                                   | 87,7%                                    | 12,3%                                  |
| Dauergrünland                 | 4.654.700                    | 89,1%                                    | 10,9%                                  | 81,4%                                    | 18,6%                                  | 62,7%                                    | 37,3%                                  |
| Dauerkulturen                 | 198.800                      | 92,8%                                    | 7,2%                                   | 87,7%                                    | 12,3%                                  | 75,4%                                    | 24,6%                                  |
| - dar. Rebland                | 99.900                       | 94,8%                                    | 5,2%                                   | 91,2%                                    | 8,8%                                   | 82,4%                                    | 17,6%                                  |
| Getreide                      | 6.587.500                    | 96,5%                                    | 3,5%                                   | 94,0%                                    | 6,0%                                   | 88,3%                                    | 12,0%                                  |
| - dar. Weizen                 | 3.297.700                    | 97,6%                                    | 2,4%                                   | 95,9%                                    | 4,1%                                   | 91,8%                                    | 8,2%                                   |
| - Roggen (incl. Menggetreide) | 627.100                      | 89,9%                                    | 10,1%                                  | 82,8%                                    | 17,2%                                  | 65,6%                                    | 34,4%                                  |
| - Gerste insgesamt            | 1.641.400                    | 98,4%                                    | 1,6%                                   | 97,3%                                    | 2,7%                                   | 94,6%                                    | 5,4%                                   |
| - Hafer                       | 141.400                      | 84,0%                                    | 16,0%                                  | 72,7%                                    | 27,3%                                  | 45,4%                                    | 54,6%                                  |
| - Triticale                   | 397.500                      | 94,0%                                    | 6,0%                                   | 89,9%                                    | 10,1%                                  | 79,7%                                    | 20,3%                                  |
| - Körnermais und CCM          | 466.600                      | 98,3%                                    | 1,7%                                   | 97,2%                                    | 2,8%                                   | 94,4%                                    | 5,6%                                   |
| Kartoffeln                    | 254.400                      | 96,5%                                    | 3,5%                                   | 94,1%                                    | 5,9%                                   | 88,2%                                    | 11,8%                                  |
| Zuckerrüben                   | 364.100                      | 99,5%                                    | 0,5%                                   | 99,2%                                    | 0,8%                                   | 98,3%                                    | 1,7%                                   |
| Pflanzen zur Grünernte ges.   | 2.571.000                    | 94,4%                                    | 5,6%                                   | 90,4%                                    | 9,6%                                   | 80,9%                                    | 19,1%                                  |
| - dar: Silomais               | 1.828.900                    | 99,2%                                    | 0,8%                                   | 98,6%                                    | 1,4%                                   | 97,2%                                    | 2,8%                                   |
| Ölfrüchte insges.             | 1.502.300                    | 99,3%                                    | 0,7%                                   | 98,7%                                    | 1,3%                                   | 97,5%                                    | 2,5%                                   |
| - dar.: Winterraps            | 1.457.300                    | 99,6%                                    | 0,4%                                   | 99,3%                                    | 0,7%                                   | 98,5%                                    | 1,5%                                   |
| Hülsenfrüchte                 | 100.700                      | 69,2%                                    | 30,8%                                  | 47,5%                                    | 52,5%                                  | 0,0%                                     | 100,0%                                 |
| Gemüse                        | 130.900                      | 90,5%                                    | 9,5%                                   | 83,8%                                    | 16,2%                                  | 67,5%                                    | 32,5%                                  |

**Tab. 6:** Viehbestände der konventionellen und der ökologisch wirtschaftenden Betriebe in Deutschland im Jahr 2010 (n. Landwirtschaftszählung 2010) und Verteilung mit den Maßnahmen „10 % Öko-Landbau“ und „20 % Öko-Landbau“

| Viehbestand                  | IST-Situation 2010              |                                    |                                  | Maßnahme 10 % Öko-LF               |                                  | Maßnahme 20 % Öko-LF               |                                  |
|------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
|                              | Bestand insgesamt (GV bzw. St.) | Konv. Betriebe (% von gesamt 2010) | Öko-Betriebe (% von gesamt 2010) | Konv. Betriebe (% von gesamt 2010) | Öko-Betriebe (% von gesamt 2010) | Konv. Betriebe (% von gesamt 2010) | Öko-Betriebe (% von gesamt 2010) |
| Großvieheinheiten insges.    | 12.988.177 <sup>a</sup>         | 95,6%                              | 4,4%                             | 91,4%                              | 7,5%                             | 81,3%                              | 15,0%                            |
| Rinder insges.               | 12.534.507                      | 95,0%                              | 5,0%                             | 90,8%                              | 8,5%                             | 80,7%                              | 17,1%                            |
| - dar. Milchkühe             | 4.164.789                       | 96,6%                              | 3,4%                             | 92,4%                              | 5,8%                             | 82,1%                              | 11,5%                            |
| Schweine insges.             | 27.571.352                      | 99,3%                              | 0,7%                             | 94,9%                              | 1,2%                             | 84,4%                              | 2,4%                             |
| - dar. Mastschweine (>50 kg) | 11.173.300                      | 99,3%                              | 0,7%                             | 94,9%                              | 1,2%                             | 84,4%                              | 2,4%                             |
| - dar. Zuchtsauen            | 2.364.812                       | 99,2%                              | 0,8%                             | 94,8%                              | 1,4%                             | 84,3%                              | 2,8%                             |
| Schafe insges.               | 2.088.541                       | 87,6%                              | 12,4%                            | 83,8%                              | 21,1%                            | 74,4%                              | 42,2%                            |
| Legehennen (>1/2 J.)         | 35.278.999                      | 92,0%                              | 8,0%                             | 88,0%                              | 13,6%                            | 78,2%                              | 27,3%                            |

<sup>a)</sup> Großvieheinheiten: in GV; alle übrigen Angaben in Tierzahl

### 3.2 N-Überschuss mit der Maßnahme „10 % / 20 % Öko-Landbau“

Mit der Verteilung der Flächennutzung und der Viehbestände auf konventionelle und ökologische Landwirtschaft nach den Tab. 5 und 6 sowie den Ansätzen und Koeffizienten zur N-Bilanzierung nach Kap 2.2 berechnen sich schließlich die N-Bilanzen für die Maßnahmen „Öko-Landbau“ wie in Tab. 7 dargestellt.

**Tab. 7:** N-Bilanzglieder und N-Überschuss in Deutschland und in den drei Bundesländern Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen und Schleswig Holstein (nur Angabe zum N-Überschuss) in der Ausgangssituation (IST 2010) und mit den Maßnahmen „10 % Öko-LF“ und „20 % Öko-LF“

|   | IST 2010         |               | 10 % Öko-LF      |                    | 20 % Öko-LF      |                    |
|---|------------------|---------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|
|   | Konv. LF         | Ökol. LF      | Konv. LF         | Ökol. LF           | Konv. LF         | Ökol. LF           |
|   | t N              | t N           | t N              | t N                | t N              | t N                |
| Mineraldünger   | 1.601.233        | 0             | 1.539.928        | 0                  | 1.392.950        | 0                  |
| Wirtschaftsdünger   | 845.917          | 37.096        | 808.819          | 63.175             | 718.950          | 126.350            |
| Biologische N-Bindung                                     | 192.090          | 26.021        | 173.797          | 44.314             | 130.378          | 88.627             |
| Organ. Düngemittel  | 56.093           | 0             | 56.093           | 0                  | 56.093           | 0                  |
| Saat- und Pflanzgut                                       | 22.563           | 771           | 22.022           | 1.313              | 20.720           | 2.626              |
| Atmosphär. N-Deposition                                   | 377.356          | 23.540        | 360.806          | 40.090             | 320.717          | 80.179             |
| <b>Summe Zufuhr</b>                                       | <b>3.095.252</b> | <b>87.428</b> | <b>2.961.466</b> | <b>148.891</b>     | <b>2.639.808</b> | <b>297.783</b>     |
| Verkaufsfrüchte   | 1.112.155        | 17.856        | 1.088.681        | 30.410             | 1.033.909        | 60.820             |
| Rauhfutter <sup>e</sup>                                   | 648.574          | 58.083        | 588.007          | 98.915             | 441.310          | 197.830            |
| <b>Summe Abfuhr<sup>f</sup></b>                           | <b>1.971.066</b> | <b>77.221</b> | <b>1.885.587</b> | <b>131.509</b>     | <b>1.680.633</b> | <b>263.018</b>     |
| <b>N-Überschuss</b>                                       | <b>1.124.186</b> | <b>10.207</b> | <b>1.075.879</b> | <b>17.382</b>      | <b>959.175</b>   | <b>34.765</b>      |
| <b>Summen konv. + ökolog. LF zusammen und Veränderung</b> |                  |               |                  |                    |                  |                    |
|   | IST 2010         |               | 10 % Öko-LF      |                    | 20 % Öko-LF      |                    |
| ----- Deutschland insgesamt -----                         |                  |               |                  |                    |                  |                    |
|   | t N              |               | t N              | Diff. <sup>a</sup> | t N              | Diff. <sup>a</sup> |
| Summe Zufuhr  | 3.182.680        |               | 3.110.358        | -2,3%              | 2.937.591        | -7,7%              |
| Summe Abfuhr  | 2.048.287        |               | 2.017.096        | -1,5%              | 1.943.651        | -5,1%              |
| <b>Summe Überschuss</b>                                   | <b>1.134.393</b> |               | <b>1.093.262</b> | <b>-3,6%</b>       | <b>993.940</b>   | <b>-12,4%</b>      |
|   | kg N/ha LF       |               | kg N/ha LF       |                    | kg N/ha LF       |                    |
| Zufuhr  | 190,5            |               | 186,2            |                    | 175,9            |                    |
| Abfuhr  | 122,7            |               | 120,8            |                    | 116,4            |                    |
| <b>Überschuss</b>   | <b>68,0</b>      |               | <b>65,4</b>      |                    | <b>59,5</b>      |                    |
| ----- Küstenländer (MV, NI, SH) -----                     |                  |               |                  |                    |                  |                    |
| <b>Überschuss</b>   | <b>73,0</b>      |               | <b>71,7</b>      | <b>-1,8%</b>       | <b>65,8</b>      | <b>-10,0%</b>      |

a) Rückgang bei der Maßnahme gegenüber IST-Situation 2010

Die Ausweitung des Ökolandbaus von derzeit 5,9 % auf 10 % der LF hätte demnach einen Rückgang des N-Flächenbilanzüberschuss von rd. 68 kg N/ha LF auf rd. 65 kg N/ha LF (-3,6 %) zur Folge. Eine Ausdehnung auf 20 % der LF, was ungefähr einer Verdreifachung gegenüber der aktuellen Situation entspräche, würde den N-Überschuss der Landwirtschaft in Deutschland insgesamt um ca. 12,4 % auf rd. 60 kg N/ha LF reduzieren. Für die Küstenländer fällt der Rückgang mit -1,8 % bzw. -10,0 % etwas geringer aus. Die Werte der N-Bilanzglieder bezogen auf die LF respektive der spezifische N-Überschuss für jede der beiden Wirtschaftsformen (s. Tab. 3) ändern sich mit dem Maßnahmen praktisch nicht und werden daher hier nicht erneut wiedergegeben.

## **4. Maßnahme "Optimierung N-Management"**

### **4.1 Umsetzung**

#### Definition Maßnahme:

Alle konventionellen Landwirtschaftsbetriebe im Bundesgebiet wirtschaften in Bezug auf ihr N-Düngungsmanagement nach „bester verfügbarer Technik“ („best practice“). Für die Umsetzung dieser Vorgabe stehen der Landwirtschaft zahlreiche Einzelmaßnahmen zur Verfügung wie beispielsweise die Verbesserung der N-Ausnutzung aus Wirtschaftsdüngern durch größere Lagerkapazitäten und verlustarme Ausbringungstechnik, bessere N-Bedarfsplanung, Zwischenfruchtanbau, Precision Farming, Einsatz von Nitrifikationshemmern, CULTAN-Düngung usw. Eine ausführliche Beschreibung von einzelnen Maßnahmen geben unter anderem Osterburg et al. (2007).

Welche dieser Maßnahmen in welcher Kombination und individuellen Ausgestaltung für einen gegebenen Betrieb jeweils am besten geeignet sind, kann nicht generell beurteilt werden, sondern hängt maßgeblich unter anderem von der betriebswirtschaftlichen Ausrichtung des betreffenden Landwirtschaftsbetriebes und seinen spezifischen Rahmenbedingungen (Boden, Klima, Produktionsprogramm, technische und personelle Ausstattung usw.) ab. Die konkrete Ausgestaltung einer Optimierung des N-Managements wird ist als Aufgabe der Beratungsträger vor Ort zu sehen, die mit den regionalen Produktionsstrukturen der Landwirtschaft vertraut sind und auf der Basis von betriebsspezifischen Daten entsprechende Optimierungsvorschläge erarbeiten können. Der Versuch einer weitergehenden Konkretisierung würde den hier zur Verfügung stehenden Rahmen bei weitem sprengen. Für einzelne Aktivitäten, die Bestandteil eines optimierten N-Managements bilden können, werden von Osterburg und Techen (2012) Größenordnungen der Wirkung auf N-Salden bzw. N-Emissionen in angegeben (ohne regionale Differenzierung).

Die Maßnahme „Optimierung N-Management“ wurde im Berechnungsschema der N-Bilanzierung über die Änderung von drei Annahmen bzw. umgesetzt:

- i) Die gasförmigen N-Verluste aus den tierischen Exkrementen werden um 20 % vermindert.
- ii) Die N-Zufuhr mit Wirtschaftsdüngern auf den N-Gesamtbedarf der Kulturen wird höher angerechnet (60 % gegenüber 40 % des N in Wirtschaftsdüngern), d.h. der Mineraldüngerbedarf vermindert sich um diese Menge.

- iii) Der sogenannte „Bedarfsfaktors“ in der Kalkulation der Höhe der N-Mineraldüngung wird um rd. 10 % reduziert, was einer besseren Ausnutzung des N aus der Düngung insgesamt (Mineral- und Wirtschaftsdünger) entspricht.

In Tab. 8 ist die Umsetzung der Maßnahmen in der Übersicht zusammengestellt. Die Verteilung der Bodennutzung und des Viehbestands auf konventionelle und ökologische Landwirtschaft werden bei der Maßnahme „Optimierung N-Management“ nicht verändert und entsprechen somit der Ausgangssituation 2010. Die Maßnahmen zur Optimierung betreffen ausschließlich die konventionelle Landwirtschaft; für den Öko-Landbau wird unterstellt, dass die Betriebe aufgrund der spezifischen Knappheit des Nährstoffs Stickstoff ihr N-Management bereits jetzt (annähernd) optimal betreiben.

Weiterhin werden die Hektar-Erträge für den konv. Landbau und den Öko-Landbau der IST-Situation 2010 bei der Maßnahme nicht verändert. Das bedeutet, für die Maßnahme wird angenommen, dass die Verminderung der N-Düngerzufuhr, die aus der Optimierung des N-Managements resultiert, *keinen* Einfluss auf das Ertragsniveau hat.

**Tab. 8:** Umsetzung der Maßnahme „Optimierung N-Management“ im Berechnungsansatz der N-Bilanzierung (nur konventionelle Landwirtschaft)

| Koeffizient   | IST 2010           | Maßnahme N-Optimierung |                            |
|---|--------------------|------------------------|----------------------------|
|   | Wert               | Wert                   | entspricht Verbesserung um |
| Gasförmige N-Verluste aus der Viehhaltung, gewogenes Mittel aller Tiere <sup>a</sup>  | 29,1%              | 23,3 %                 | +20 %                      |
| Anrechnung des Wirtschaftsdünger-N auf den Gesamtbedarf der Pflanzen <sup>b</sup>     | 40 %               | 60 %                   | +50 %                      |
| Bedarfsfaktor; Mehrbedarf der N-Düngerzufuhr gegenüber der N-Ernteabfuhr <sup>c</sup> | 1,062 <sup>d</sup> | 0,955                  | +10 %                      |

a) Ausgangswerte der einzelnen Tierkategorien s. Bach (2014), Tab. 6, Teil „Gasförmige N-Emissionen Viehbestand (N-Verlust in % der N-Ausscheidung)“

b) Anrechnungsfaktor\_1 in Bach (2014), Gleichung [3]

c) Bedarfsfaktor = N-Düngungsbedarf Pflanzen / Ernteabfuhr; s. Bach (2014), Gleichung [2]

d) Wert stimmt nicht mit Angabe aus Bach (2014) überein, da in der hier durchgeführten Berechnung für die konv. Betriebe separat ermittelt.

Die Annahme einer um 20 % verringerten gasförmigen N-Emission (Stall-, Lagerungs- und Ausbringungsverluste) hat eine dementsprechend höhere N-Zufuhr mit Wirtschaftsdünger zur Folge (rd. 915.400 t N gegenüber 845.900 t N in der Ausgangssituation). Dem gegenüber stehen ein insgesamt reduzierter Gesamtbedarf der Pflanzen sowie die höhere Anrechnung des N in Wirtschaftsdünger auf den N-Gesamtbedarf. Daraus resultiert eine Verminderung der N-Mineraldüngung um rd. 26 % von 1.601.200 t N (IST 2010) auf 1.179.400 t N bei optimiertem N-Management. Die Summe der N-Zufuhren vermindert sich dadurch von 3.095.200 t N auf 2.743.000 t N, der N-Überschuss sinkt entsprechend von 1.124.200 t N auf 771.900 t N. Tab. 9 zeigt die Veränderungen der N-Bilanzgrößen bezogen auf die konventionelle LF.

**Tab. 9:** Veränderung der N-Bilanzgrößen bei der Maßnahme „Optimierung N-Management“ für die konventionelle Landwirtschaftsfläche

| <b>N-Bilanzgröße</b><br>(konventionelle LF) | <b>IST 2010</b> | <b>N-Optimierung</b> |               |
|---|-----------------|----------------------|---------------|
|   | kg N/ ha LF     | kg N/ha LF           | Diff.         |
| <b>----- Deutschland insgesamt -----</b>    |                 |                      |               |
| Mineraldünger                               | 101,8           | 75,0                 | -26,3%        |
| Wirtschaftsdünger                           | 53,8            | 58,2                 | 8,2%          |
| Biologische N-Bindung                       | 12,2            | 12,2                 | 0,0%          |
| Organ. Düngemittel <sup>d</sup>             | 3,6             | 3,6                  | 0,0%          |
| Saat- und Pflanzgut                         | 1,4             | 1,4                  | 0,0%          |
| Atmosphär. N-Deposition                     | 24,0            | 24,0                 | 0,0%          |
| <b>Zufuhr insgesamt</b>                     | <b>196,9</b>    | <b>174,5</b>         | <b>-11,4%</b> |
| Abfuhr insgesamt                            | 125,4           | 125,4                | 0,0%          |
| <b>N-Überschuss</b>                         | <b>71,5</b>     | <b>49,1</b>          | <b>-31,3%</b> |
| <b>----- Küstenländer (MV,NI, SH) -----</b> |                 |                      |               |
| <b>N-Überschuss</b>                         | <b>77,0</b>     | <b>52,2</b>          | <b>-31,8%</b> |

### Überprüfung der Annahmen zur Optimierung des N-Managements

Die Verminderung der N-Mineraldüngung ist die zentrale Ansatzstelle, wenn es um eine Reduzierung der N-Zufuhr insgesamt in die Landwirtschaft geht. Mit den Annahmen der Tab. 8 zur Umsetzung der Maßnahme „Optimierung N-Management“ berechnet sich im Ergebnis der N-Bilanzierung für die konventionelle LF ein Rückgang der N-Mineraldüngung von rd. 102 auf 75 kg N/ha LF, das heißt um -26 % (s. Tab. 9, grau unterlegt). Es ist kritisch zu hinterfragen - insbesondere auch im Hinblick auf Diskussion der Maßnahme mit Vertretern der Landwirtschaft – ob dieser berechnete Rückgang um rund ein Viertel realistisch erscheint.

Für diese Frage wurden die Daten des Testbetriebsnetzes des BMEL zur Höhe der N-Mineraldüngung ausgewertet (mit freundlicher Unterstützung durch das BMEL Ref. 123; Ansprechpartner Dr. Appel, Hr. Buhrmester). Der Datenbestand der Testbetriebe für die Wirtschaftsjahre 2008/09, 2009/10 und 2010/11 wurde zunächst selektiert nach den Kriterien

- nur konventionelle Betriebe >5 ha LF
- Viehbesatz <10 GV/ha LF
- ohne Sonderkultur- und Gemüsebaubetriebe
- 20 < N-Mineraldüngung < 300 kg N/ha LF.

Es verblieben 6037 Angaben. Im Datensatz der Testbetriebe wird nicht die Naturalmenge der Düngemittel erfasst, sondern nur der monetäre „Materialaufwand Düngemittel (€)“. Mittels der Koeffizienten 0,71; 0,80 und 0,70 kg N pro € Materialaufwand Düngemittel wurde der monetäre Aufwand in „kg N-Düngung“ in den drei Wirtschaftsjahren umgerechnet.

Für diese rund 6000 Angaben wurden schließlich die Quartilswerte der N-Düngung der Haupterwerbsbetriebe ermittelt (Tab. 10, alle drei Wirtschaftsjahre zusammengefasst betrachtet).

**Tab. 10:** Median, 25- und 75-Perzentil des N-Mineraldünger-aufwand der Haupterwerbsbetriebe in Deutschlands nach Auswertung Testbetriebsdaten BMEL (Wirtschaftsjahre 2008/09 bis 2010/11)

| Quartil       | Mineraldünger-aufwand |                    |
|---------------|-----------------------|--------------------|
|               | kg N/ha LF            | relativ zum Median |
| 75. Perzentil | 171,8                 | 129 %              |
| Median        | 133,0                 | 100 %              |
| 25. Perzentil | 97,7                  | 74 %               |

Die Auswertung zeigt, dass der für die Maßnahme „Optimierung N-Management“ berechnete Rückgang um -26 % genau der Differenz zwischen dem Median und dem 25-Perzentil (oberes Quartil, grau unterlegt in Tab. 10) der ausgewerteten Haupterwerbsbetriebe entspricht. Dieser Unterschied von -26 % im Mineraldünger-aufwand zwischen dem Mittel aller Betriebe und dem besten Viertel kann dahingehend interpretiert werden, dass offensichtlich bereits unter den derzeitigen Produktionsbedingungen in der Landwirtschaft in Deutschland ein Optimierungsspielraum in dieser Größenordnung vorhanden ist. Der Mineraldünger-aufwand des besten Viertels der Betriebe liefert das Benchmarking, wie hoch (bzw. niedrig) eine N-Mineraldüngung nach „best practice“ offensichtlich liegt. Als Orientierungswert für die übrigen Betriebe kann der Wert als Vorgabe für ein N-Düngungsmanagement dienen, das mit verfügbarer Technologie und ohne wirtschaftliche Einbußen von den meisten Betrieben realisiert werden kann.

In einer Analyse verschiedener agrarstatistischer Datenquellen kommen Osterburg und Techen (2012) zur gleichen Schlussfolgerung.

„Die hohe Streuung der N-Zufuhr pro Hektar über Mineraldünger und das Auftreten dieses Phänomens in allen betrachteten Betriebsgruppen zeigt, dass es noch Effizienzreserven für die Einsparung von Mineraldünger-N geben dürfte, denn innerhalb der Gruppen gibt es regelmäßig Betriebe, die unter sonst ähnlichen Bedingungen mit einer wesentlich geringeren N-Zufuhr über Mineraldünger auskommen als andere Betriebe der gleichen Gruppe. Die Einsparpotentiale sind dabei breit über alle Betriebsstrukturen verteilt und unabhängig von der Produktionsintensität, die durch die N-Abfuhr (Ertragshöhe) und die N-Zufuhr über organische Düngemittel (Viehbesatzdichte) reflektiert wird.“ (Osterburg und Techen, 2012, S. 196)

Die absolute Höhe der N-Mineraldüngung von 133 kg N/ha LF im Mittel der Testbetriebe differiert allerdings deutlich zur N-Mineraldüngung von rd. 102 kg N/ha LF, berechnet für die N-Bilanz der konv. LF. Diese Diskrepanz ist unter anderem auf drei Ursachen zurückzuführen: (i) Im Testbetriebsnetz werden nur Haupterwerbsbetriebe ausgewertet, deren Produktionsintensität tendenziell höher ist als diejenige der (nicht erfassten) Nebenbetriebe. (ii) Der Median der N-Düngungsmengen der Testbetriebe entspricht nicht notwendigerweise dem gewichteten Mittelwert der Landwirtschaft insgesamt: für diese Größe müsste für jeden Betrieb (oder für Klassen von Betrieben) ein Skalierungsfaktor angegeben werden, mit dessen Hilfe ein LF-gewichteter, Flächen-repräsentativer Mittelwert für Deutschland berechnet werden könnte. (iii) Die Koeffizienten zur Umrechnung von „Materialaufwand Düngemittel (€)“ in N-Menge Dünger (kg N) sind zu niedrig angesetzt, was jedoch auf die relativen Unterschiede zwischen Median und 25-Perzentil keinen Einfluss hätte.

## 4.2 N-Überschuss mit der Maßnahme „Optimierung N-Management“

Ausgehend von der N-Bilanzierung für die IST-Situation 2010 (Tab. 3) sowie den Modifikationen der Koeffizienten zur N-Bilanzierung nach Kap 4.1 berechnet sich die N-Bilanz für die Maßnahme „Optimierung N-Management“ wie folgt (Tab. 11).

**Tab. 11:** N-Bilanzglieder und N-Überschuss in Deutschland und in den drei Bundesländern Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen und Schleswig Holstein (nur Angabe zum N-Überschuss) in der Ausgangssituation (IST 2010) und bei der Maßnahme „Optimierung N-Management“

| N-Bilanzgröße   | IST 2010         |               | Optimierung N-Management    |               |
|---|------------------|---------------|-----------------------------|---------------|
|   | Konv. LF         | Ökol. LF      | Konv. LF <sup>a</sup>       | Ökol. LF      |
|   | t N              | t N           | t N                         | t N           |
| Mineraldünger   | 1.601.233        | 0             | 1.179.430                   | 0             |
| Wirtschaftsdünger   | 845.917          | 37.096        | 915.443                     | 37.096        |
| Biologische N-Bindung                                     | 192.090          | 26.021        | 192.090                     | 26.021        |
| Organ. Düngemittel <sup>d</sup>                           | 56.093           | 0             | 56.093                      | 0             |
| Saat- und Pflanzgut                                       | 22.563           | 771           | 22.563                      | 771           |
| Atmosphär. N-Deposition                                   | 377.356          | 23.540        | 377.356                     | 23.540        |
| <b>Summe Zufuhr</b>                                       | <b>3.095.252</b> | <b>87.428</b> | <b>2.742.974</b>            | <b>87.428</b> |
| Verkaufsfrüchte   | 1.112.155        | 17.856        | 1.112.155                   | 17.856        |
| Rauhfutter <sup>e</sup>                                   | 648.574          | 58.083        | 648.574                     | 58.083        |
| <b>Summe Abfuhr<sup>f</sup></b>                           | <b>1.971.066</b> | <b>77.221</b> | <b>1.971.066</b>            | <b>77.221</b> |
| <b>N-Überschuss</b>                                       | <b>1.124.186</b> | <b>10.207</b> | <b>771.909</b>              | <b>10.207</b> |
| <b>Summen konv. + ökolog. LF zusammen und Veränderung</b> |                  |               |                             |               |
| <b>----- Deutschland insges. -----</b>                    |                  |               |                             |               |
|   | t N              |               | t N      Diff. <sup>b</sup> |               |
| Summe Zufuhr  | 3.182.680        |               | 2.830.403    -11,1 %        |               |
| Summe Abfuhr  | 2.048.287        |               | 2.048.287    0,0 %          |               |
| <b>Summe Überschuss</b>                                   | <b>1.134.393</b> |               | <b>782.115    -31,1 %</b>   |               |
|   | kg N/ha LF       |               | kg N/ha LF                  |               |
| Zufuhr  | 190,7            |               | 169,4                       |               |
| Abfuhr  | 122,7            |               | 122,6                       |               |
| <b>Überschuss</b>   | <b>68,0</b>      |               | <b>46,9</b>                 |               |
| <b>----- Küstenländer (MV, NI, SH) -----</b>              |                  |               |                             |               |
| <b>Überschuss</b>   | <b>73,0</b>      |               | <b>50,7    -31,5%</b>       |               |

a) Maßnahme betrifft nur die konventionelle Landwirtschaft

b) Rückgang mit der Maßnahme gegenüber IST-Situation 2010

Der Rückgang des N-Überschuss (konventionelle und ökologische LF) beträgt für Deutschland insgesamt und in den drei Küstenländern mit -31,1 % bzw. -31,5 % nahezu ein Drittel. Diese Verminderung ist praktisch identisch mit dem Rückgang des Überschuss der konventionellen LF von -31,3 %. Darin spiegelt sich der sehr geringe Anteil des N-Überschuss des Öko-Landbaus von nur 0,9 % am gesamten N-Überschuss der Landwirtschaft (in der IST-Situation 2010) wider.

## 5. Maßnahme "Beschränkung des Viehbesatzes bei Neubauten auf 1,8 GV/ha"

Vom Arbeitskreis „Stoffeintragsmodellierung“ wurde als dritte strategische Maßnahme eine Beschränkung des Viehbesatzes von Landwirtschaftsbetrieben bei der Neuanlage von (genehmigungspflichtigen) Stallbauten auf 1,8 Großvieheinheiten/ha (Kurzbezeichnung „GV-Beschränkung“) vorgeschlagen. Diese Maßnahme wird nachfolgend qualitativ beurteilt.

Es existiert derzeit eine nicht unbeträchtliche Zahl von viehhaltenden Betrieben, insbesondere in der Geflügelhaltung, die über keine betriebseigene Landwirtschaftsfläche verfügen. Über Abnahmeverträge mit anderen Landwirtschaftsbetrieben und Flächennachweise zur Verbringung ihres Wirtschaftsdüngers werden von diesen Betrieben die gesetzlichen Anforderungen unter anderem der Gülleverordnung erfüllt. Der Viehbesatz eines Betriebes stellt offenkundig kein geeignetes Maß dar, um das Emissionspotenzial reaktiver N-Verbindungen zu bewerten und ggf. zur Grundlage einer gesetzlichen Restriktion zu machen. Diese Aussage gilt für alle Betriebe bzw. Ställe; Stallneubauten stellen dabei nur eine Teilmenge dar. Den Autoren erscheint eine generelle Begrenzung (Deckelung) des Viehbesatzes, d.h. der Anzahl gehaltener Tiere bezogen auf die LF eines Betriebes (Eigenland und Pacht), aus rechtlichen und politischen Gründen nur schwer durchsetzbar.

Die Maßnahme III) zielt im Kern darauf ab, die Ausbringung von Wirtschaftsdünger pro Hektar LF zu beschränken. Bereits jetzt dürfen die Betriebe nach Düngeverordnung nicht mehr als 170 kg N/ha mit tierischen Wirtschaftsdüngern ausbringen; daneben darf der Saldo des betrieblichen Nährstoffvergleichs für Stickstoff den Kontrollwert der Düngeverordnung von 60 kg N/ha LF (im dreijährigen Durchschnitt) nicht überschreiten. In der Praxis wird die Einhaltung dieser Begrenzungen durch den Transfer von Wirtschaftsdüngern zwischen abgebenden und aufnehmenden Betrieben realisiert (über so genannte „Güllebörsen“). Der Umfang dieses Nährstofftransfers wurde jetzt erstmalig in Nährstoffberichten zumindest für die Länder Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen erfasst (LK Niedersachsen 2013, LK NRW 2014; für Schleswig-Holstein in Vorbereitung).

Es ist davon auszugehen, dass bei einer Senkung der Obergrenze für die Ausbringung von Wirtschaftsdünger die viehhaltenden Betriebe ihre Tierbestände nicht abbauen würden, sondern dass nur der Transfer von Wirtschaftsdünger ausgeweitet würde, um den erhöhten betrieblichen Wirtschaftsdünger-Überhang dann auf eine größere aufnehmende Landwirtschaftsfläche zu verteilen. Der N-Überschuss in Deutschland insgesamt würde dadurch aber nur in sehr geringem Umfang vermindert, da die Viehbestände insgesamt nicht abgebaut würden und das Düngungsmanagement sich nicht ändern würde. Es käme nur zu einer regionalen Umverteilung der N-Überschüsse (gleichmäßigere Verteilung in der Fläche), da mehr Wirtschaftsdünger zwischen Betrieben bzw. Regionen transportiert würde.

Im Rahmen der derzeit diskutierten Novellierung der Düngeverordnung wird von verschiedenen Seiten vorgeschlagen, die Begrenzung der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern auf 170 kg N/ha LF (im Betriebsdurchschnitt) auf die Ausbringung von *Gärresten aus Biogasanlagen* auszuweiten. Diese Maßnahme würde einen größeren Bereich von Regionen bzw. Betrieben betreffen. Solange allerdings zu abzuwarten ist, ob diese Maßnahme überhaupt bzw. in welcher konkreten Ausgestaltung eingeführt wird, wäre eine Darstellung ihrer möglichen Wirkungen hypothetisch.

## 6. Fazit

Als Beitrag zum Modellinstrument MoRE wurde für den landwirtschaftlichen Bereich die Wirkung der beiden strategischen Maßnahmen „Ausweitung des ökologischen Landbaus auf 10 % bzw. 20 % der LF“ sowie „Optimierung des N-Managements“ abgebildet. Dazu wurden zunächst die Maßnahmen inhaltlich umgesetzt in (i) Änderungen des Mengengerüsts der N-Bilanzierung (Bodennutzung, Viehbestand) für die Maßnahme „10 % bzw. 20 % Öko-Landbau“; (ii) für die Maßnahme „Optimierung N-Management“ wurden die Koeffizienten zur Ausnutzung des N aus Wirtschaftsdüngern sowie des N-Gesamtbedarfs der Kulturpflanzen modifiziert. Mit diesen Änderungen wurde anschließend der Überschuss der N-Flächenbilanz (Bezugsjahr 2010 bzw. Mittel 2009-2011) für Deutschland insgesamt, die drei Küstenanrainerländer (MV, NI und SH) sowie für die Kreise und kreisfreien Städte (nicht dargestellt) erneut berechnet. Als wesentliche Ergebnisse sind festzuhalten:

- Eine *Ausweitung des Öko-Landbaus* in Deutschland von derzeit rund 6 % auf 10 % bzw. 20 % der Landwirtschaftsfläche hätte, mit den hier getroffenen Annahmen, eine Verminderung des N-Überschusses der N-Flächenbilanz in Deutschland um -3,6 % bzw. -12,6 % zur Folge.
- Im Fall einer *Optimierung des Stickstoff-Managements* in den konventionellen Betrieben gemäß den Annahmen in Kapitel 4.1 könnte der N-Überschuss um rund -31 % reduziert werden.

Eine Optimierung des betrieblichen N-Managements bewirkt, im Vergleich zu einer Ausdehnung des Öko-Landbaus, offensichtlich eine wesentliche stärkere Verminderung des N-Überschusses und damit auch des Freisetzungspotenzials reaktiver N-Verbindungen aus der Landwirtschaft. Dieser Feststellung erklärt sich aus der wesentlich größeren Breitenwirkung einer Optimierung des N-Managements: diese Maßnahme betrifft die gesamte konventionelle Landwirtschaft, das heißt rund 94 % der LF und sogar 99 % des N-Überschusses insgesamt (i.e. Anteil des N-Überschusses der konv. Landwirtschaft am gesamten N-Überschuss, IST-Situation 2010). Weiterhin entfaltet diese Maßnahme eine umso stärkere Wirkung, je höher der Viehbesatz eines Betriebes (bzw. einer regionalen Gliederung) ist, da die Optimierung des N-Managements vor allem an der besseren Ausnutzung des N in Wirtschaftsdüngern ansetzt. Der regionale Rückgang wäre somit annähernd proportional zum Viehbesatz, das heißt die viehstarken Regionen in Deutschland würden von dieser Maßnahme am stärksten beeinflusst.

Die Umsetzung der Maßnahme „Ausdehnung Öko-Landbau“ würde dagegen nur 10 % bzw. 20 % der LF betreffen, auf den übrigen 90 % bzw. 80 % der LF tritt dabei aber keine Änderung ein. Weiterhin ist mit Blick auf die vorliegenden Erfahrungen davon auszugehen, dass tendenziell bevorzugt Betriebe in strukturschwächeren Regionen und/oder Betriebe mit einem geringen Viehbesatz für eine Umstellung auf ökologische Wirtschaftsweise in Betracht kommen. Auf die bekannten regionalen bzw. strukturellen Schwerpunkte der N-Problematik in der Landwirtschaft in Deutschland hätte diese Maßnahme daher mutmaßlich nur einen sehr geringen Einfluss.

Die hier vorgestellten Ansätze und ihre Ergebnisse können nur die Basis für eine erste, orientierende Bewertung von Maßnahmen zur Verminderung der Freisetzung reaktiven Stickstoffs aus der Landwirtschaft bilden. Damit soll vor allem die *Größenordnung* der Wirkung derartiger Maßnahmen auf der Ebene des Bundesgebietes (Landwirtschaft in Deutschland

insgesamt) aufzeigt und miteinander verglichen werden. Für die Ausgestaltung des rechtlichen und/oder finanziellen Rahmens agrarpolitischer Instrumente sind nach Meinung der Autoren ggf. vertiefte Untersuchungen erforderlich, insbesondere auch im Hinblick auf die räumliche Priorisierung von Maßnahmen.

Weiterhin ist anzumerken, dass die Datenbasis für die Berechnung der Maßnahme „10 % / 20 % Öko-Landbau“ für Kreise und kreisfreie Städte außerordentlich lückenhaft ist. Mit dieser räumlichen Auflösung sind statistische Angaben zum Öko-Landbau nur aus der Landwirtschaftszählung 2010 auszuwerten. Die Angaben zu Flächennutzung und Viehbeständen auf der regionalen Ebene Kreise/kreisfr. Städte gehen für die ökologischen Betriebe oftmals auf nur wenige Nennungen zurück, so dass aus Datenschutzgründen keine Zahlen veröffentlicht werden. Zur Berechnung des N-Überschuss für Regionalgliederung Kreise/kreisfr. Städte müssen diese Datenlücken dann mittels Interpolationsverfahren gefüllt werden, was möglicherweise nicht unbeträchtliche Unschärfen in der räumlichen Verteilung der Wirkung der Maßnahmen zur Folge hat. Aus diesem Grund wurde im vorliegenden Bericht auch auf eine Ergebnisdarstellung für Kreise und kreisfreie Städte verzichtet.

Schließlich ist für beide untersuchten Maßnahmen bzw. deren Ergebnisse darauf hinzuweisen, dass sie statische Randbedingungen verwenden, d.h. es werden keine Anpassungsreaktionen der Landwirtschaft berücksichtigt wie beispielsweise Verschiebungen in der Anbaustruktur oder in der Tierhaltung (Verteilung auf die Tierarten, Viehbesatzdichte). Mögliche Anpassungsreaktionen der Landwirtschaft auf geänderte Förderprogramme für Öko-Betriebe und/oder ein verändertes Nachfrageverhalten der Verbraucher nach Öko-Produkten – mit den damit einher gehenden Preisänderungen - können in einem einfachen N-Bilanzschema nicht erfasst werden. Die dadurch induzierten Änderungen in der Struktur der Bodennutzung und der Viehhaltung können nur mit Betriebs- bzw. Marktmodellen abgebildet werden, in die die Kosten und Preise sowie die Elastizitäten der anbaubestimmenden Faktoren eingehen. Ein derartiges Vorgehen war jedoch im Rahmen der hier durchgeführten Berechnungen nicht vorgesehen; weiterhin fehlen dafür (wie im Abschnitt 2.1 ausgeführt) bislang die methodischen Grundlagen, um die Ergebnissen für einzelne Betriebe bzw. Betriebstypen auf die Landwirtschaft in Deutschland insgesamt hochzurechnen.

## 7. Literatur

- Bach M, 2014. Berechnung von Stickstoff-Flächenbilanzen für die Landwirtschaft in Deutschland mit Regionalgliederung Kreise und kreisfreie Städte, Jahre 2003 bis 2011. Abschlussbericht (Auftraggeber: KIT Karlsruhe), Univ. Gießen, 44 S.
- BMEL (versch. J.). Archiv Testbetriebsnetz/Buchführungsergebnisse. Statistik und Berichte des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (download: <http://www.bmelv-statistik.de/de/service/publikationen-und-archive/archiv-testbetriebsnetz-buchfuehrungsergebnisse/>; access 10.10.2014)
- De Ponti T, Rijk B, van Ittersum MK, 2012. The crop yield gap between organic and conventional agriculture. *Agricultural Systems* 108, 1-9
- LK Niedersachsen, 2013. Nährstoffbericht in Bezug auf Wirtschaftsdünger für Niedersachsen 2012/13. Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Oldenburg, 187 S.
- LK NRW, 2014. Nährstoffbericht 2014 über Wirtschaftsdünger und andere organische Dünger für Nordrhein-Westfalen. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Münster, 157 S.
- Mäder P, Fliessbach A, Niggli U, Gunst L, Mayer J, 2013. Ertrag von Mais und Sojabohnen im biologischen und konventionellen Anbausystem des DOK-Versuchs. In: D. Neuhoof et al. (Hrsg.), *Ideal und Wirklichkeit - Perspektiven Ökologischer Landbewirtschaftung*. 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Tagungsband, Verlag Köster, Berlin, 52-53.
- Seufert V, Ramankutty N, Foley JA, 2012. Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature* 485, 229–232
- Statistische Ämter der Länder, 2012. Landwirtschaftszählung 2010 – Metadaten für die On-Site-Nutzung. Statistische Ämter der Länder, Forschungsdatenzentrum, Statistikamt Nord, Standort Kiel, 43 S.
- Osterburg B, Rühling I, Runge T, Schmidt T, Seidel K, Antony F, Gödecke B, 2007. Kosteneffiziente Maßnahmenkombinationen nach Wasserrahmenrichtlinie zur Nitratreduktion in der Landwirtschaft – Anhang. Abschlussbericht zum LAWA-Vorhaben Nr. AR 1.05, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig, und Ingenieurdienst Umweltsicherung (INGUS), 127 S.
- Osterburg B, Techen A, 2012. Evaluierung der Düngeverordnung – Ergebnisse und Optionen zur Weiterentwicklung. Abschlussbericht Bund-Länder-Arbeitsgruppe zur Evaluierung der Düngeverordnung. von Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Braunschweig, 265 S.