

TEXTE

41/2017

# Entwicklung medienübergreifender Analysemodelle zur räumlichen Darstellung von Gefährdungspotenzialen der Umwelt und Gesundheit

Endbericht



TEXTE 41/2017

Umweltforschungsplan des  
Bundesministeriums für Umwelt,  
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Forschungskennzahl 3713 61 100  
UBA-FB 002406

## **Entwicklung medienübergreifender Analysemodelle zur räumlichen Darstellung von Gefährdungspotenzialen der Umwelt und Gesundheit**

von

Stefan von Andrian-Werburg, Konstanze Schönthaler  
Bosch & Partner GmbH, München

in Zusammenarbeit mit



Dr. Heino Rudolf, Silke Richter  
M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH, Dresden

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:**

Bosch & Partner GmbH,  
Pettenkoferstraße 24  
80336 München

**Abschlussdatum:**

August 2016

**Redaktion:**

Fachgebiet I 1.5 Nationale und internationale Umweltberichterstattung  
Dr. Alexander Neuberger, Nadine Huss

Publikationen als pdf:

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

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, Mai 2017

Das diesem Bericht zu Grunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit unter der Forschungskennzahl 3713 61 100 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

## Kurzbeschreibung

Für die Umweltberichterstattung des Umweltbundesamtes ergibt sich aufgrund der Vielzahl und ansteigenden Komplexität von aktuellen Umweltproblemen zunehmend die Notwendigkeit, neue, raumbezogene Instrumente zu entwickeln und einzusetzen, die auch medienübergreifende Umweltzusammenhänge erfassen und Gebiete mit Umwelt- und Gesundheitsgefährdungen räumlich verorten können. Im Rahmen des Vorhabens „Entwicklung medienübergreifender Analysemodelle zur räumlichen Darstellung von Gefährdungspotenzialen der Umwelt und Gesundheit“ wurden eine methodische Vorgehensweise und Instrumente erarbeitet, um die Umweltberichterstattung im Hinblick auf dieses Erfordernis zu unterstützen.

Die Basis der Vorgehensweise bildet das generalisierte Modellkonzept. Dieses stellt die Bausteine bereit, um themenspezifische, d. h. auf bestimmte Umweltprobleme zugeschnittene Analysemodelle zu erstellen, mit denen sich die Ursache-Wirkungsverknüpfungen von Umweltproblemen und -konflikten detailliert strukturieren und grafisch in Ursache-Wirkungsketten abbilden lassen. Ein Analysemodell ist in erster Linie ein gedankliches, auf Expertenwissen basierendes Konstrukt. Das im Vorhaben entwickelte Umsetzungskonzept beschreibt, wie die Analysemodelle auf der Grundlage systematischer Recherchen nach geeigneten Datenquellen einerseits sowie nach quantitativ oder qualitativ beschriebenen Ursache-Wirkungsbeziehungen andererseits mit Hilfe von Geografischen Informationssystemen strukturiert in themenadäquate Visualisierungen umgesetzt werden können. Neben dem inhaltlichen wurde ein DV-technisches Umsetzungskonzept entwickelt mit dem Ziel, die fachlich erarbeiteten Analysemodelle in Datenmodelle zu überführen. Die Datenmodelle werden als Grundlage für ein nach Ursache-Wirkungsbeziehungen strukturiertes Datenmanagementsystem angewendet. Innerhalb des Vorhabens wurde hierfür eine eigene, auf der envVision-Technologie basierende Software-Anwendung entwickelt und zum Einsatz gebracht.

## Abstract

In view of the great number and increasing complexity of current environmental problems, it is becoming more and more essential for the environmental reporting carried out by the Federal Environment Agency (UBA) to develop and use new tools which can handle cross-media content regarding environmental relationships so that risks or hazards regarding health or the environment can be placed in a spatial context. To meet these requirements, a methodical approach and the relevant tools were developed within the project 'Development of cross-media analysis models for spatial representation of hazard/risk potentials in terms of health and the environment' with the aim to support environmental reporting.

This approach is underpinned by a generalised modelling concept. This concept provides the modules required for the creation of analytical models tailored to fit specific environmental problems in order to visualise any links between cause and effect characterising environmental problems and conflicts, thus producing cause-and-effect chains in a well-structured and graphically detailed manner. An analytical model is primarily a theoretical construct based on expert knowledge. The implementation concept developed in this project describes the way in which the analytical model – on the basis of systematic research, not only for adequate data sources but also for cause-and-effect interactions described either quantitatively or qualitatively – can be transferred into geographical visualisations in an appropriate and structured manner, with the aid of Geographic Information Systems (GIS). In addition to the content-related concept, an IT implementation concept was developed with the aim to convert the analytical models produced into data models. The data models are used as a basis for a data management system structured according to cause-and-effect relationships. An appropriate data management software application based on envVision technology was developed in the project.

5

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 4.4.2.2 | Geografische Informationssysteme (GIS) für das Datenmanagement                                      | 65  |
| 4.4.3   | Beschreibung der Modellierungsmethoden .....  | 66  |
| 4.4.3.1 | UML-Klassendiagramme  | 66  |
| 4.4.3.2 | envVisieren   | 68  |
| 4.4.4   | Vom Analysemodell zum Klassendiagramm .....   | 69  |
| 4.4.4.1 | Raum- / Objektbezug   | 70  |
| 4.4.4.2 | Umweltprozess   | 72  |
| 4.4.4.3 | Steckbrief  | 73  |
| 4.4.5   | DV-technische Umsetzung mit envVision .....   | 75  |
| 4.4.5.1 | Strukturdiagramm  | 75  |
| 4.4.5.2 | Anwendungsdiagramm  | 77  |
| 4.4.5.3 | envVision-Applikation   | 78  |
| 5       | Erprobung des methodischen Ansatzes im Praxistest.....  | 81  |
| 5.1     | Modellgegenstand „Gesundheitsgefährdung durch Lärm, Luftschadstoffe und Hitze“ .....                | 82  |
| 5.1.1   | Vorstellung des Modellgegenstands.....  | 82  |
| 5.1.1.1 | Relevanz  | 82  |
| 5.1.1.2 | Ursache-Wirkungsbeziehungen   | 82  |
| 5.1.2   | Analysemodell .....   | 84  |
| 5.1.3   | Visualisierung .....  | 90  |
| 5.1.3.1 | Datengrundlage  | 90  |
| 5.1.3.2 | Erzeugte Visualisierungen   | 90  |
| 5.1.4   | Herausforderungen und Lösungen .....  | 91  |
| 5.1.4.1 | Inhaltliche Herausforderungen   | 91  |
| 5.1.4.2 | DV-technische Herausforderungen   | 94  |
| 5.1.5   | Fazit .....   | 95  |
| 5.1.5.1 | Einschränkungen   | 95  |
| 5.1.5.2 | Weiterentwicklungsmöglichkeiten und Forschungsbedarf:   | 97  |
| 5.2     | Modellgegenstand „Verlust wertvoller landwirtschaftlicher Böden durch Flächeninanspruchnahme“ ..... | 99  |
| 5.2.1   | Vorstellung des Modellgegenstands.....  | 99  |
| 5.2.1.1 | Relevanz  | 99  |
| 5.2.1.2 | Ursache-Wirkungsbeziehungen   | 100 |
| 5.2.2   | Analysemodell .....   | 101 |
| 5.2.3   | Visualisierung .....  | 103 |
| 5.2.3.1 | Datengrundlage  | 103 |



|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 5.2.3.2 | Erzeugte Visualisierungen   | 103 |
| 5.2.4   | Herausforderungen und Lösungen .....                                    | 104 |
| 5.2.4.1 | Inhaltliche Herausforderungen   | 104 |
| 5.2.4.2 | DV-technische-Herausforderungen   | 106 |
| 5.2.5   | Fazit .....   | 108 |
| 5.2.5.1 | Einschränkungen   | 108 |
| 5.2.5.2 | Weiterentwicklungsmöglichkeiten   | 109 |
| 5.3     | Modellgegenstand „Grünlandumbruch“ .....                                | 110 |
| 5.3.1   | Vorstellung des Modellgegenstands .....                                 | 110 |
| 5.3.1.1 | Relevanz  | 110 |
| 5.3.1.2 | Ursache-Wirkungsbeziehungen:  | 110 |
| 5.3.2   | Analysemodell .....   | 112 |
| 5.3.3   | Visualisierung .....  | 114 |
| 5.3.3.1 | Datengrundlage  | 114 |
| 5.3.3.2 | Erzeugte Visualisierungen   | 114 |
| 5.3.4   | Herausforderungen und Lösungen .....                                    | 115 |
| 5.3.4.1 | Inhaltliche Herausforderungen   | 115 |
| 5.3.4.2 | DV-technische Herausforderungen   | 116 |
| 5.3.5   | Fazit .....   | 116 |
| 5.3.5.1 | Einschränkungen   | 116 |
| 5.3.5.2 | Weiterentwicklungsmöglichkeiten   | 116 |
| 5.4     | Software-Applikation .....  | 117 |
| 5.4.1   | Systementwurf .....   | 117 |
| 5.4.1.1 | Systemkomponenten   | 117 |
| 5.4.1.2 | Funktionsweise des Systems  | 118 |
| 5.4.2   | Testphase im Umweltbundesamt .....                                      | 119 |
| 5.4.2.1 | Installation und Bereitstellung des Testsystems                         | 119 |
| 5.4.2.2 | Test der Prototypen   | 119 |
| 5.4.2.3 | Ergebnisse  | 120 |
| 6       | Anwendungsmöglichkeiten .....   | 122 |
| 6.1     | Überblick zur Umweltberichterstattung im Umweltbundesamt .....          | 122 |
| 6.1.1   | Daten zur Umwelt .....  | 122 |
| 6.1.2   | Kernindikatorensystem .....   | 124 |
| 6.1.3   | Interaktive Karten- und Datendienste .....                              | 125 |
| 6.1.4   | Fazit .....   | 128 |
| 6.2     | Anwendungsmöglichkeiten der entwickelten Konzepte und Instrumente ..... | 130 |



|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 6.2.1   | Anwendungsmöglichkeiten der fachlichen Modellierung .....     | 130 |
| 6.2.1.1 | Analysemodelle .....  | 130 |
| 6.2.1.2 | Visualisierungen .....  | 131 |
| 6.2.2   | Anwendungsmöglichkeiten der DV-technischen Modellierung ..... | 133 |
| 6.2.2.1 | Ursache-Wirkungsbezogenes Datenmanagement .....               | 133 |
| 6.3     | Anforderungen für den Einsatz des Modellkonzepts .....        | 134 |
| 6.3.1   | Strukturelle Anforderungen .....                              | 134 |
| 6.3.2   | Datenbezogene Erfordernisse.....                              | 136 |
| 6.3.2.1 | Erforderliche Datenqualität .....                             | 136 |
| 6.3.2.2 | Erfordernisse für Datenbeschaffung und -haltung .....         | 137 |
| 6.4     | Perspektiven für die weitere Nutzung des Modellkonzepts.....  | 137 |
| 6.4.1   | Thematische Weiterentwicklungsmöglichkeiten.....              | 137 |
| 6.4.2   | Weiterentwicklung der Visualisierung .....                    | 137 |
| 6.4.3   | Weiterentwicklung des Datenmanagements.....                   | 138 |
| 7       | Quellenverzeichnis.....                                       | 139 |

## Anlagen

|          |   |
|----------|---|
| Anlage 1 | Dokumentation der Analysemodelle  |
| Anlage 2 | Visualisierungen zu den drei prototypisch bearbeiteten Modellgegenständen |
| Anlage 3 | Handbuch zur Programmbedienung  |
| Anlage 4 | Handbuch zur Fachadministration   |
| Anlage 5 | Handbuch zu den Programminhalten (Regelwerk)                              |
| Anlage 6 | Datenmodelle: UML-Klassendiagramme als vsd-Datei für MS-Visio             |

## Abbildungsverzeichnis

|               |   |    |
|---------------|---|----|
| Abbildung 1:  | Modellkonzept und wesentliche Schritte der Modellierung.....                              | 14 |
| Abbildung 2:  | Modelling concept and essential modelling stages.....                                     | 21 |
| Abbildung 3:  | Modellkonzept und wesentliche Schritte der Modellierung.....                              | 32 |
| Abbildung 4:  | Wirkungsbeziehung .....   | 34 |
| Abbildung 5:  | Wirkungskette (ebd.) .....  | 34 |
| Abbildung 6:  | Wirkungsnetz .....  | 34 |
| Abbildung 7:  | Modellierungskonzept des Vulnerabilitätsnetzwerks .....                                   | 35 |
| Abbildung 8:  | Generalisiertes Modellkonzept – Flussdiagramm und verwendete<br>Komponenten .....         | 36 |
| Abbildung 9:  | Generalisiertes Modellkonzept – Beispiele für Betrachtungsobjekte                         | 37 |
| Abbildung 10: | Generalisiertes Modellkonzept – Beispiele für Ziel-<br>Betrachtungsobjekte .....          | 37 |
| Abbildung 11: | Generalisiertes Modellkonzept – Beispiele für Folgewirkungen bzw.<br>Risiken.....         | 38 |
| Abbildung 12: | Generalisiertes Modellkonzept – Beziehung von Prozessen und<br>Betrachtungsobjekten ..... | 38 |
| Abbildung 13: | Generalisiertes Modellkonzept – Beispiele für Prozesse .....                              | 38 |
| Abbildung 14: | Generalisiertes Modellkonzept – Beispiele für<br>Beschreibungsgrößen .....                | 39 |
| Abbildung 15: | Beispiel Analysemodell „Verlust wertvoller Böden durch<br>Flächeninanspruchnahme“ .....   | 42 |
| Abbildung 16: | Beispiel für die Dokumentation eines Betrachtungsobjekts .....                            | 44 |
| Abbildung 17: | Grundwasserstände.....  | 47 |
| Abbildung 18: | Nitratbelastung des Grundwassers .....  | 48 |
| Abbildung 19: | Flächeninanspruchnahme .....  | 48 |
| Abbildung 20: | Nationalparke in Deutschland .....  | 49 |
| Abbildung 21: | Mehrfachbelastung durch Lärm, Luft, Bioklima,<br>Freiflächenversorgung.....               | 49 |
| Abbildung 22: | Ursachen für Nitratbelastung des Grundwassers.....  | 50 |
| Abbildung 23: | Verlust landwirtschaftlicher Flächen durch Überbauung.....                                | 50 |
| Abbildung 24: | Bauliche Nutzung in Hochwassergefahrengebieten.....                                       | 51 |
| Abbildung 25: | Grünlandumbruch und Wassergewinnungsgebiete.....  | 51 |
| Abbildung 26: | Anbaurisiko der Fichte 1971-2000.....   | 52 |
| Abbildung 27: | Potenzielle Winderosionsgefährdung .....  | 52 |
| Abbildung 28: | Beispiel für die Dokumentation der Visualisierungsmöglichkeiten....                       | 55 |

|               |   |     |
|---------------|---|-----|
| Abbildung 29: | Workflow zum Prüfen einer Wertüberschreitung mit Vektordaten als Input.....   | 64  |
| Abbildung 30: | Workflow zum Prüfen einer Wertüberschreitung mit Rasterdaten als Input.....   | 65  |
| Abbildung 31: | Modellierungsmethodik – „Objektvernetzung“ .....  | 69  |
| Abbildung 32: | Vom Analysemodell zum Datenmodell .....   | 70  |
| Abbildung 33: | Raum- / Objektbezug .....   | 70  |
| Abbildung 34: | Umweltprozess .....   | 72  |
| Abbildung 35: | Steckbrief.....   | 74  |
| Abbildung 36: | Strukturdiagramm .....  | 76  |
| Abbildung 37: | Anwendungsdiagramm am Beispiel des Analysemodells „Gesundheitsgefährdung durch Lärm, Luftschadstoffe und Hitze“ ...   | 78  |
| Abbildung 38: | envVision-WebApplikation: Hauptmenü .....   | 79  |
| Abbildung 39: | envVision-WebApplikation: Beispiel für eine Erfassungsmaske.....  | 80  |
| Abbildung 40: | Analysemodell „Gesundheitsgefährdung durch Lärm, Luftschadstoffe und Hitze“ .....   | 86  |
| Abbildung 41: | Analysemodell „Gesundheitsgefährdung durch Lärm, Luftschadstoffe und Hitze“ – Teilmodell Lärm .....   | 87  |
| Abbildung 42: | Analysemodell „Gesundheitsgefährdung durch Lärm, Luftschadstoffe und Hitze“ – Teilmodell Luftschadstoffe .....  | 88  |
| Abbildung 43: | Analysemodell „Gesundheitsgefährdung durch Lärm, Luftschadstoffe und Hitze“ – Teilmodell Hitze .....  | 89  |
| Abbildung 44: | Legende für die Häufigkeit der Überschreitung des Tagesmittelwerts von 50 µg/m <sup>3</sup> für Feinstaub PM <sub>10</sub> im Kartendienst „Luftschadstoffbelastung in Deutschland“ ..... | 93  |
| Abbildung 45: | Benutzeroberfläche des GIS-Tools zur Gesamtlärberechnung .....  | 95  |
| Abbildung 46: | Tägliche Veränderung der Bodennutzung seit 1993 .....   | 101 |
| Abbildung 47: | Analysemodell „Verlust wertvoller landwirtschaftlicher Böden durch Flächeninanspruchnahme“ .....  | 102 |
| Abbildung 48: | Analysemodell „Grünlandumbruch“ .....   | 113 |
| Abbildung 49: | Systemarchitektur envVision im Umweltbundesamt.....   | 117 |
| Abbildung 50: | Systemkomponenten.....  | 118 |
| Abbildung 51: | Daten zur Umwelt – Screenshot der Online-Version .....  | 123 |
| Abbildung 52: | Kernindikatorensystem KIS – Beispiel für einen vorläufigen Kernindikator .....  | 125 |
| Abbildung 53: | Karten- und Datendienst „Aktuelle Luftdaten“ .....  | 126 |
| Abbildung 54: | GISU-Catalog .....  | 127 |
| Abbildung 55: | GISU Map-Applikation, Beispiel CLL Überschreitung Stickstoff.....   | 128 |

## Tabellenverzeichnis

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| Tabelle 1:  | Dokumentationsstruktur des Analysemodells – Inhalte .....  | 43  |
| Tabelle 2:  | Beschreibung von Daten in der Dokumentation des Analysemodells   | 46  |
| Tabelle 3:  | Dokumentationsstruktur der Visualisierungsmöglichkeiten .....  | 54  |
| Tabelle 4:  | Überlagerung .....   | 59  |
| Tabelle 5:  | Transformation .....   | 60  |
| Tabelle 6:  | Bewertung .....  | 62  |
| Tabelle 7:  | Visualisierung.....  | 63  |
| Tabelle 8:  | Begriffe der Modellierung allgemein.....   | 66  |
| Tabelle 9:  | Begriffe für die Modellierung von Verbindungen und<br>Objekthierarchien .....  | 67  |
| Tabelle 10: | In die Expertenkonsultation eingebundene Fachgebiete des UBA ....  | 81  |
| Tabelle 11: | Verwendete Daten für die Visualisierung des Modellgegenstands<br>„Gesundheitsgefährdung durch Lärm, Luftschadstoffe und Hitze“ ...                     | 90  |
| Tabelle 12: | Visualisierungen zum Modellgegenstand „Gesundheitsgefährdung<br>durch Lärm, Luftschadstoffe und Hitze“ .....   | 90  |
| Tabelle 13: | Wertschwellen für die Visualisierung des Modellgegenstands<br>„Gesundheitsgefährdung durch Lärm, Luftschadstoffe und Hitze“ ...                        | 92  |
| Tabelle 14: | Verwendete Daten für die Visualisierung des Modellgegenstands<br>„Verlust wertvoller landwirtschaftlicher Böden durch<br>Flächeninanspruchnahme“ ..... | 103 |
| Tabelle 15: | Visualisierungen zum Modellgegenstand „Verlust wertvoller<br>landwirtschaftlicher Böden durch Flächeninanspruchnahme“ .....                            | 103 |
| Tabelle 16: | Ackerbauliches Ertragspotenzial nach dem Müncheberger Soil Quality<br>Rating .....   | 105 |
| Tabelle 17: | Umgang mit Unregelmäßigkeiten der Flächennutzungsstatistik .....   | 107 |
| Tabelle 18: | Verwendete Daten für die Visualisierung des Modellgegenstands<br>„Grünlandumbruch“ .....   | 114 |
| Tabelle 19: | Visualisierungen zum Modellgegenstand „Grünlandumbruch“ .....  | 114 |
| Tabelle 20: | Verwendung von räumlichen Visualisierungen in den Daten zur<br>Umwelt .....  | 124 |
| Tabelle 21: | Berücksichtigte Datentypen und Beispiele.....  | 133 |

## Abkürzungsverzeichnis

|                  |   |
|------------------|---|
| <b>BayLfStaD</b> | Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung                     |
| <b>BBSR</b>      | Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung                             |
| <b>BfN</b>       | Bundesamt für Naturschutz   |
| <b>BGR</b>       | Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe                             |
| <b>BiB</b>       | Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung                                      |
| <b>BKG</b>       | Bundesamt für Kartographie und Geodäsie                                       |
| <b>BLR</b>       | Bundesanstalt für Landeskunde und Raumforschung                               |
| <b>BMF</b>       | Bundesfinanzministerium   |
| <b>BMVI</b>      | Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur                      |
| <b>CLC</b>       | CORINE Land Cover   |
| <b>DV</b>        | Datenverarbeitung   |
| <b>DzU</b>       | Daten zur Umwelt  |
| <b>DWD</b>       | Deutscher Wetterdienst  |
| <b>DBFZ</b>      | Deutsches Biomasseforschungszentrum   |
| <b>EA</b>        | Environment Agency Great Britain  |
| <b>EEA</b>       | Europäische Umweltagentur   |
| <b>FKZ</b>       | Forschungskennzahl  |
| <b>FNR</b>       | Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.                                      |
| <b>FuE</b>       | Forschung und Entwicklung   |
| <b>GIS</b>       | Geografisches Informationssystem  |
| <b>GISU</b>      | Geographisches Informationssystem Umwelt                                      |
| <b>HRL</b>       | High Resolution Layer   |
| <b>KBU</b>       | Kommission Bodenschutz des Umweltbundesamtes                                  |
| <b>KIS</b>       | Kernindikatorensystem   |
| <b>LCC</b>       | Land Cover Changes  |
| <b>LfU</b>       | Bayerisches Landesamt für Umwelt  |
| <b>MKF / MMU</b> | Mindestkartierfläche / Minimum Mapping Unit                                   |
| <b>NLWKN</b>     | Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz |
| <b>SQR</b>       | Soil Quality Rating   |
| <b>SRU</b>       | Sachverständigenrat für Umweltfragen  |
| <b>StBA</b>      | Statistisches Bundesamt   |
| <b>UBA</b>       | Umweltbundesamt   |
| <b>UML</b>       | Unified Modeling Language   |

## Zusammenfassung

### Zielsetzung

Zentrales Anliegen des Vorhabens war es, eine Vorgehensweise sowie Instrumente und Konzepte zu entwickeln, um medienübergreifende Umweltprobleme und -konflikte und deren Ursache-Wirkungszusammenhänge systematisch zu analysieren und räumlich konkrete Visualisierungen für die Umweltberichterstattung des Umweltbundesamtes (UBA) zu entwickeln. Diese Analysen und Visualisierungen sollen angesichts der Vielzahl von aktuellen Umweltproblemen und der zunehmenden Komplexität von Umweltbeziehungen dazu dienen, die bisherigen Inhalte der Umweltberichterstattung, die zu meist auf medial oder sektoral angelegten Erhebungen beruhen, zu ergänzen und damit zu einem besseren Verständnis von Umweltproblemen und Umweltproblemzusammenhängen sowie deren räumlicher Ausprägung beizutragen. Die zu entwickelnden Instrumente und Konzepte sollten dabei sowohl die fachliche Analyse unterstützen als auch ein Umsetzungskonzept umfassen, das darlegt, wie sich aus der fachlichen Analyse heraus auf der Grundlage geeigneter Geo-Daten und mit Hilfe von Geographischen Informationssystemen (GIS) systematisch aussagekräftige, reproduzierbare bzw. fortführbare Visualisierungen erzeugen lassen. Dabei gilt es, die in der wissenschaftlichen Analyse der Wirkungszusammenhänge als besonders relevant identifizierten Einflussfaktoren anhand vorhandener Geo-Daten so zu verarbeiten, dass die Intensität von Umweltproblemen bzw. -konflikten raumbezogen visualisiert werden kann. Das Umsetzungskonzept sollte zudem die Möglichkeit bieten, verwendete und erzeugte Rauminformationen systematisch mithilfe eines Datenmanagementsystems zu pflegen und dadurch deren dauerhafte Nutzbarkeit zu sichern.

### Anlass

Ausgangspunkt des Vorhabens war die Feststellung, dass die bisherige Umweltberichterstattung hinsichtlich der Berücksichtigung medienübergreifender Ansätze und räumlicher Strukturen und Prozesse eingeschränkt ist. Die wesentliche Komponente der aktuellen Umweltberichterstattung des UBA im engeren Sinn sind derzeit die „Daten zur Umwelt“ (DzU). In den DzU werden wissenschaftliche Themenbeiträge der verschiedenen Fachgebiete des UBA zum einen im Internet bereitgestellt, zum anderen werden ausgewählte Ergebnisse in regelmäßigen Abständen in Form von Printveröffentlichungen herausgegeben, zuletzt die Daten zur Umwelt 2015 (UBA 2015). Ein zweiter wichtiger Bestandteil ist aktuell noch in der Entwicklungs- bzw. Umsetzungsphase: Das Kernindikatorensystem (KIS) wird für alle Umweltthemen der DZU zentrale Indikatoren definieren, die regelmäßig fortgeschrieben werden und über die zukünftig kontinuierlich berichtet werden wird. Dritter Bestandteil der Umweltberichterstattung sind die bestehenden interaktiven Karten- und Datendienste. Hierzu gehört zum einen der Karten- und Datendienst „Aktuelle Luftdaten“, in dem räumliche Informationen aus dem Luftschadstoff-Monitoring des Bundes und der Länder veröffentlicht werden. Zum anderen ist das Geographische Informationssystem Umwelt (GISU) Teil der Umweltberichterstattung: Hier werden Internet-gestützt den INSPIRE-Vorgaben entsprechende räumliche Informationen bereitgestellt.

In diesen verschiedenen Komponenten der Umweltberichterstattung werden – mit Ausnahme des KIS – bereits heute vielfältige Informationen zu einem breiten umweltpolitischen Themenspektrum der Öffentlichkeit präsentiert. Dennoch werden die Möglichkeiten der Umweltberichterstattung, auch von Seiten des UBA, u. a. aufgrund der folgenden Umstände als teilweise beschränkt wahrgenommen:

- ▶ Die Bewertung der Umweltsituation erfolgt bislang vorwiegend auf der Grundlage medialer oder sektoraler Beobachtungs- und Bewertungsinstrumente, z. B. zu einzelnen Umweltschutzgütern oder Umweltproblemen.
- ▶ Informationen für die Umweltberichterstattung liegen oftmals nur als qualitative Beschreibungen vor oder sind z. B. als Umweltindikatoren räumlich und auch zeitlich z. T. hoch aggregiert.

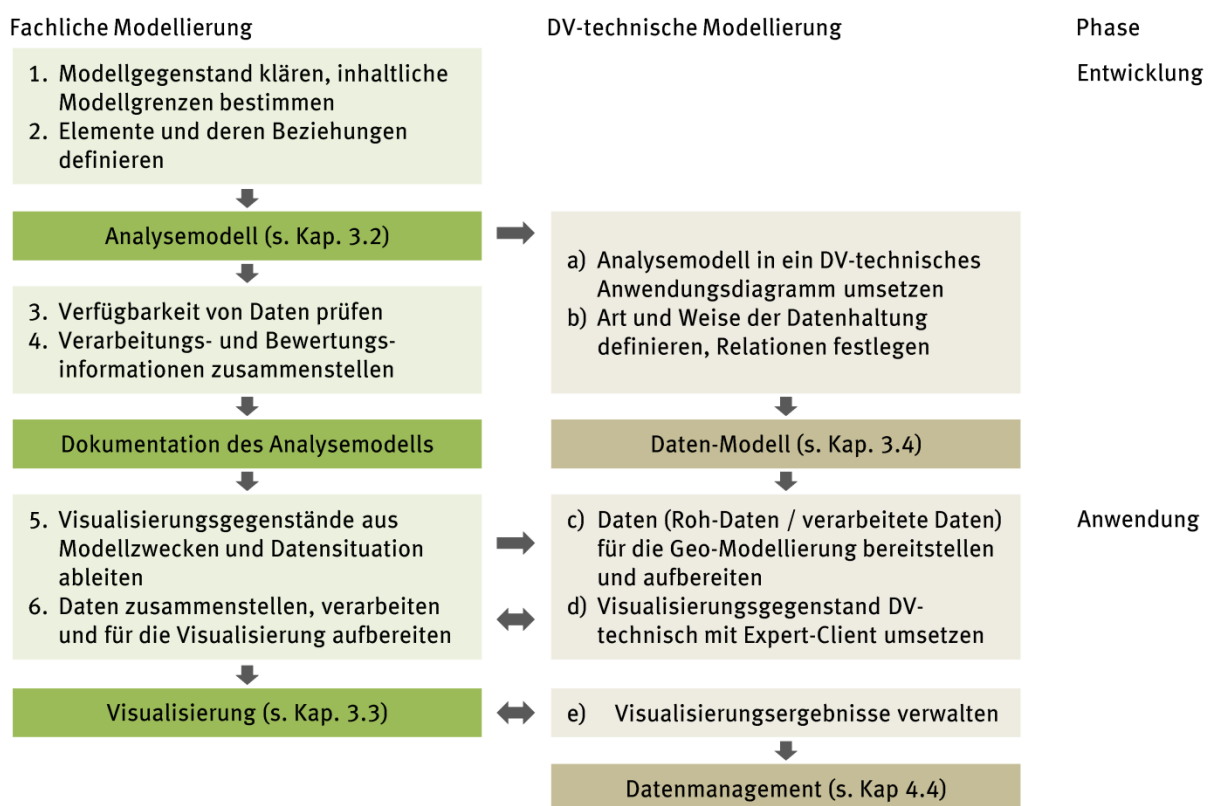
- ▶ Räumliche Visualisierungen werden einerseits bislang nur in wenigen Themenfeldern im Bereich der Umweltberichterstattung des UBA eingesetzt und beinhalten dort jeweils nur auf ein Schutzgut bzw. einen Sektor bezogene Inhalte. Andererseits sind bestehende Präsentationen vorhandener Geo-Daten nicht systematisch mit den fachlichen Inhalten verlinkt.
- ▶ Bislang in der Umweltberichterstattung verwendete Visualisierungen beruhen z. T. auf den Ergebnissen einzelner Forschungsvorhaben und nicht auf kontinuierlichen Datenquellen. Die Visualisierungen können in diesen Fällen nicht fortgeschrieben werden und veralten; zeitliche Entwicklungen zu Umweltproblemen oder -konflikten können nicht visualisiert werden.
- ▶ Die Umweltberichterstattung baut auf Beiträgen aus den Fachgebieten des UBA, deren Erkenntnissen und zumindest teilweise auch auf deren Datenbeständen auf. Ein harmonisiertes Datenmanagement der in die Umweltberichterstattung einfließenden Daten erfolgt bisher nicht.

## Konzeptionelle Ergebnisse

### 1.1.1.1.1.1 Vorgehensweise zur Modellierung

Mit Blick auf diese Befunde wurde im Vorhaben eine kohärente Vorgehensweise für die Modellierung ausgearbeitet und in Zusammenarbeit mit Experten aus dem UBA im Rahmen eines Praxistests auf den Prüfstand gestellt. Die Vorgehensweise umfasst den Prozess von der Erstellung eines fachlichen Analysemodells bis zur Ableitung und Darstellung der dazugehörigen Visualisierungen sowie die Transformation des Analysemodells in ein DV-technisches Modell. Das Modellkonzept (s. Abbildung 1) beschreibt die Vorgehensweise für die Modellierung.

Abbildung 1: Modellkonzept und wesentliche Schritte der Modellierung



Quelle: Bosch & Partner GmbH, eigene Darstellung



Die Vorgehensweise wurde für drei ausgewählte Beispielthemen im Rahmen eines Praxistests angewendet, um sicherzustellen, dass der Prozess auf den verschiedenen Ebenen des Modellansatzes strukturiert durchgeführt werden kann und die verschiedenen Instrumente und Konzepte sinnvoll ineinander greifen. Die Bearbeitung der drei Beispielthemen

- ▶ „Gesundheitsgefährdung durch Lärm, Luftschadstoffe und Hitze“,
- ▶ „Verlust wertvoller landwirtschaftlicher Böden durch Flächeninanspruchnahme“ sowie
- ▶ „Grünlandumbruch“

erfolgte in Abstimmung mit Experten aus verschiedenen Fachgebieten des UBA.

Wesentliche Anforderung für die Entwicklung der Vorgehensweise war es, einen für unterschiedliche Umweltprobleme und -konflikte adaptierbaren Ansatz zu entwickeln. Sowohl für die fachliche Analyse als auch für die DV-technische Umsetzung galt es daher, eine abstrakte Struktur zu entwickeln, in der sich medienübergreifende Zusammenhänge und Ursache-Wirkungsbeziehungen zunächst analysieren und dann auch mit Geo-Daten darstellen sowie diesbezügliche Geo-Daten verarbeiten und verwalten lassen. Konzept und Instrumente müssen den Nutzer also in die Lage versetzen,

- ▶ den Wissensstand bzw. das Expertenwissen zu unterschiedlichen Umweltproblemen und -konflikten medienübergreifend und unter Berücksichtigung von Ursache-Wirkungsbeziehungen zu dokumentieren und so aufzubereiten, dass sie als Grundlage für die Formulierung eines zu bearbeitenden Modellgegenstands und für die Modellierung verwendet werden können,
- ▶ Ursache-Wirkungsbeziehungen zwischen verschiedenen Umweltobjekten gleichermaßen medienübergreifend und themenspezifisch darzustellen,
- ▶ zwischen Umweltobjekten ablaufende Umweltprozesse einschließlich der sie beeinflussenden Faktoren zu erfassen und zu beschreiben,
- ▶ relevante Parameter und mögliche Datenquellen zu Umweltobjekten und Umweltprozessen systematisch zu ermitteln und zu bewerten,
- ▶ vorhandene Daten und bekannte Bewertungs- und Verarbeitungsalgorithmen strukturiert abzulegen und mit einem systematischen Zugang bereitzustellen sowie
- ▶ Visualisierungsmöglichkeiten für unterschiedliche Modellgegenstände ziel- und zweckgerichtet zu entwickeln und auszuarbeiten.

Unter Berücksichtigung dieser Anforderungen wurden die im Folgenden beschriebenen Konzepte und Instrumente entwickelt. Dabei wurde insbesondere auch darauf geachtet, dass der fachliche und der DV-technische Modellierungsansatz strukturell und begrifflich kompatibel ausgearbeitet wurden.

#### *1.1.1.1.2 Generalisiertes Modellkonzept*

Das generalisierte Modellkonzept bietet eine übertragbare Grundstruktur mit flexibel einsetzbaren Elementen. Es kann themen- und medienübergreifend für die abstrakte Darstellung von Umweltproblemen bzw. -konflikten in sogenannten Analysemodellen angewendet werden. Die wichtigsten Komponenten des generalisierten Modellkonzepts sind:

- ▶ Betrachtungsobjekte: Betrachtungsobjekte sind Umweltschutzgüter oder Umweltnutzungen, die Ausgangs- und / oder Endpunkt von umweltbezogenen Prozessen sind. Betrachtet wird die im Zusammenhang mit dem spezifischen Modellgegenstand relevante Eigenschaft des Betrachtungsobjekts (z. B. struktureller Gewässerzustand) und nicht das Betrachtungsobjekt insgesamt (z. B. Oberflächengewässer). Die Ausprägung der relevanten Eigenschaft von Betrachtungsobjekten kann ggf. mit Beobachtungsgrößen beschrieben werden; das sind durch Beobachtung oder Messung ermittelte Größen, die in einer ausreichenden zeitlichen und räumlichen Auflösung zur Verfügung stehen, um die Eigenschaften zu charakterisieren (z. B. statistische Daten zur ackerbaulich genutzten Fläche).

Für Modellierungen ist jeweils ein Ziel-Betrachtungsobjekt zu bestimmen, das als zentrales (Umwelt-)problem erkannt worden ist und die Modellierung letztendlich motiviert hat.

- Prozesse: Zwischen den Betrachtungsobjekten finden Prozesse statt. Sie stellen Beziehungen zwischen Betrachtungsobjekten dar und werden beschrieben über Veränderungen der Ausprägung bestimmter Eigenschaften der Betrachtungsobjekte. Z. B. wird die Verlagerung von Schadstoffen durch die Abnahme der Konzentration auf der einen und deren Zunahme auf der anderen Seite beschrieben.

Für die Abbildung der Prozesse können eine oder mehrere Größen angegeben werden, die den jeweiligen Prozess wesentlich in seiner Stärke sowie seiner räumlichen und zeitlichen Ausdehnung beeinflussen – sogenannte Beschreibungsgrößen (z. B. Bodentyp).

#### 1.1.1.1.1.3 Analysemodelle

Analysemodelle werden mit den Komponenten des generalisierten Modellkonzepts für ausgewählte Umweltprobleme bzw. -konflikte (Modellgegenstände) erstellt und bilden dessen spezifische Ursache-Wirkungsbeziehungen ab, die letztendlich dessen räumlich unterschiedliche Ausprägungen bedingen. Die Komponenten des Analysemodells sind als Grundlage für weitere Arbeitsschritte ausführlich hinsichtlich der verfügbaren Daten, ggf. bestehender Bewertungsansätze oder Auswertungsmethoden zu dokumentieren.

#### 1.1.1.1.1.4 Visualisierungskonzept

Als Grundlage für die systematische Ableitung von Visualisierungsmöglichkeiten aus dem Analysemodell werden drei für räumliche Analysen grundlegende Modellzwecke verwendet:

- „Beschreiben“: Darstellung von vorliegenden Mess- oder Beobachtungsergebnissen zu Umweltzuständen (z. B. Gewässerstrukturgüte), Umweltproblemen (z. B. Feinstaub-Konzentration in der Luft) oder ursachenseitigen Belastungsfaktoren (z. B. Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung),
- „Erklären“: Räumliche Überlagerung oder Verschneidung von Belastungsfaktoren (z. B. Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsfläche sowie der Fläche für den Silomaisanbau) und von Umweltzuständen (z. B. Entwicklung der Grünlandfläche), um ggf. bestehende Korrelationen zu identifizieren,
- „Risiken / Konflikte identifizieren“: Erkennen von Räumen mit dem Risiko nachteiliger Umweltveränderungen / -einflüsse oder mit Nutzungskonflikten, sofern Korrelationen zwischen Ursache und Wirkungen bzw. Belastung (z. B. Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsfläche) und Umweltzustand (z. B. Böden mit hohem Ertragspotenzial) bekannt sind.

Aufbauend auf den zu den Analysemodellen dokumentierten Datenquellen werden die für die einzelnen Modellgegenstände darstellbaren Visualisierungsgegenstände systematisch zusammengestellt. Ausgewählte Visualisierungsgegenstände mit einer erwartungsgemäß hohen Aussagekraft werden mithilfe einer GIS-Software, z. B. ArcGIS, dargestellt.

#### 1.1.1.1.1.5 DV-technisches Umsetzungskonzept

Die DV-technische Modellierung erfolgt objektorientiert. Sie hat sowohl die zur Verfügung stehenden Daten hinsichtlich ihrer Qualität und spezifischen Charakteristika als auch die mit diesen Daten umzusetzenden Funktionen im Blick. Das DV-technische Umsetzungskonzept umfasst zwei wesentliche Komponenten:

- Verarbeitungsfunktionen im GIS: Für die Umsetzung der verschiedenen Modellzwecke, d. h. die Verarbeitung bzw. Visualisierung von Geo-Daten, können jeweils definierte Sets an vorhandenen

ArcGIS Tools Verwendung finden. Für die vereinfachte Bearbeitung wiederkehrender datentechnischer Aufgabenstellungen können die GIS-Prozeduren zudem in Workflows zusammengestellt und implementiert werden.

- Datenmanagement im GIS: Das entwickelte Datenmanagement erlaubt es, Visualisierungen einschließlich der ihnen zugrundeliegenden verwendeten bzw. verarbeiteten Geo-Daten strukturiert nach Umweltprozessen und deren Ursache-Wirkungsbeziehungen zu verwalten. Hierfür wurden folgende konzeptionelle methodische Ansätze entwickelt und eingesetzt:
  1. direkte Ableitung von UML-Klassendiagrammen aus dem Analysemodell und damit Darstellung von Ursache-Wirkungsbeziehungen im Datenmodell,
  2. zweistufige Modellierung (envVisieren) mit einem themenübergreifend anwendbaren Strukturdiagramm und einem Anwendungsdiagramm, das die DV-technische Umsetzung konkreter Analysemodelle beschreibt,
  3. Automatismen zur Ableitung der envVision-Applikation aus dem Datenmodell, das das Datenmanagement in ArcGIS neu organisiert.

#### 1.1.1.1.1.6 Web-Applikation envVision für ein nachhaltiges Datenmanagement):

Es wurde eine flexibel für unterschiedliche Umweltthemen einsetzbare Software-Applikation entwickelt, mit deren Hilfe sich Geo-Daten strukturiert nach Ursache-Wirkungsbeziehungen verwalten lassen. Die Applikation wurde mithilfe der envVision-Technologie erstellt. Diese ermöglicht es, Struktur- und Anwendungsdiagramme direkt in kompilierbaren Programmcode zu überführen und daraus ein Programm mit allen Basisfunktionalitäten der Datenverarbeitung und -verwaltung zu erzeugen: Speichern, Selektieren, Verändern, Verbinden, Löschen, Einhalten der Datenkonventionen, Anbieten von Wertebereichslisten u. a. Die Struktur- und Anwendungsdiagramme für die im Vorhaben entwickelte Applikation wurden direkt aus den fachlichen Analysemodellen der bearbeiteten Beispielthemen erstellt. Das bedeutet, die von fachlicher Seite ermittelten Ursache-Wirkungszusammenhänge können direkt in die Struktur des Datenmanagementsystems überführt werden. Für den Umgang mit der Applikation wurden Handbücher für unterschiedliche Nutzergruppen erarbeitet.

### Ergebnisse des Praxistests

In einem Praxistest wurden alle Schritte des Modellierungsprozesses von der Entwicklung des Analysemodells über die Erstellung von Visualisierungen bis zur DV-technische Umsetzung bezüglich ihrer Umsetzbarkeit für drei ausgewählte Themenstellungen erprobt:

- „Gesundheitsgefährdung durch Lärm, Luftschadstoffe und Hitze“,
- „Verlust wertvoller landwirtschaftlicher Böden durch Flächeninanspruchnahme“ und
- „Grünlandumbruch“

Als Ergebnisse des Praxistests wurden zu den drei Beispielthemen in Abstimmung mit Experten des UBA folgende Produkte vorgelegt:

#### 1.1.1.1.1.7 Analysemodelle

Die Ursache-Wirkungsbeziehungen der Beispielthemen wurden in Form von Wirkungsketten bzw. Wirkungsnetzen auf einer abstrakten Ebene abgebildet. Die Abbildung schließt Hinweise auf relevante Parameter ein, die Grundlage z. B. für die Recherche von Datenquellen und letztlich auch für die Entwicklung von Visualisierungen sind. Die Informationen zu den für die Visualisierung relevanten Bestandteilen der Analysemodelle wurden ausführlich dokumentiert. Auf dieser Basis wurden Optionen für die Umsetzung der Modellzwecke „Beschreiben“, „Erklären“ und „Risiken / Konflikte identifizieren“ als Visualisierungen abgeleitet und ebenfalls dokumentiert.

#### 1.1.1.1.1.8 Visualisierungen

In Abstimmung mit den Experten des UBA wurden ausgewählte Visualisierungsoptionen mit ArcGIS realisiert. Insgesamt wurden für das Beispielthema „Gesundheitsgefährdung durch Lärm, Luftschadstoffe und Hitze“ 17, für das Thema „Verlust wertvoller landwirtschaftlicher Böden durch Flächeninanspruchnahme“ zehn und für das Thema „Grünlandumbruch“ sieben Visualisierungen in Form von Karten umgesetzt. Die Umsetzung umfasste dabei neben der GIS-technischen Bearbeitung in ArcGIS, in deren Rahmen stellenweise eigene Workflows für die Bearbeitung wiederkehrender Aufgaben erstellt wurden, auch die Datenakquise und die i. d. R. Excel-basierte Auswertung und Verarbeitung der statistischen bzw. Monitoring-Daten.

#### *1.1.1.1.1.9 DV-technische Umsetzung*

Als DV-technische Umsetzung, realisiert mithilfe der Software-Systeme ArcGIS und envVision, wurde zum einen ein envVision WebClient auf Basis der Analysemodelle zu den Beispielthemen erzeugt. Der WebClient dient dem Management der verwendeten bzw. verarbeiteten Geo-Daten einschließlich der erzeugten Visualisierungen in einer Struktur, die entlang der im Analysemodell beschriebenen Umweltprozesse und deren Ursache-Wirkungsbeziehungen ausgestaltet ist. Die Ursache-Wirkungsbeziehungen können über die Definition von Objektverbindungen im System erfasst werden. Zum anderen wurde ein envVision-AddIn für ArcGIS erstellt, das die notwendigen Funktionalitäten für die Datenverarbeitung und die Datenverwaltung anbietet.

Nach Abschluss der Testphase wurden die Ergebnisse des Vorhabens im Rahmen eines Fachgesprächs mit Teilnehmern aus dem UBA vorgestellt und diskutiert.

### **Anwendungsmöglichkeiten**

Die Instrumente und Konzepte, die im Modellkonzept enthalten sind, setzen an unterschiedlichen Punkten an, die von der theoretischen Analyse von Umweltproblemen (Analysemodell) über das auf Ursache-Wirkungsbeziehungen ausgerichtete Datenmanagement (DV-technisches Modell) bis zur räumlichen Visualisierung von Umweltproblemen und -konflikten reichen. Für die Umweltberichterstattung des UBA werden im Wesentlichen die im Folgenden beschriebenen Anwendungsmöglichkeiten gesehen.

#### *1.1.1.1.1.10 Analysemodell*

Das Analysemodell und die dazugehörige Dokumentation werden eingesetzt, um Umweltprobleme als Modellgegenstand aufzubereiten und hinsichtlich der relevanten Ursache-Wirkungszusammenhänge systematisch zu strukturieren, zu dokumentieren und darzustellen. Die Dokumentation schließt dabei wesentlich den aktuellen Wissensstand zur Themenstellung sowie zur Datensituation ein. Die Analysemodelle und ihre jeweilige Dokumentation können als Grundlage für den UBA-internen Austausch mit den für ein (medienübergreifendes) Umweltproblem relevanten Experten dienen. Des Weiteren können sie Grundlage für eine systematische und im Austausch mit den UBA-Experten durchzuführende Recherche nach Datenquellen und geeigneten Daten sowie nach Bewertungsansätzen bzw. Ursache-Wirkungsalgorithmen sein.

#### *1.1.1.1.1.11 Visualisierungen*

Auf der Basis der Analysemodelle und der jeweiligen Dokumentation kann mit dem Wissen um die verfügbaren Daten und deren Interpretation systematisch abgeleitet werden, welche Visualisierungen zu einem Thema anhand der bestehenden Daten erzeugt werden können und wie diese Visualisierungen GIS-gestützt themenadäquat gestaltet werden können (z. B. unter Bezug auf gesetzliche Grenzwerte etc.). Die Visualisierungen selbst können für unterschiedliche Verwendungszwecke eingesetzt werden. Ihre primäre Aufgabe ist es, die Umweltberichterstattung des UBA durch die räumliche Darstellung medienübergreifender Umweltthemen zu ergänzen und somit deren Kommunikationsfunktion zu unterstützen. Dabei können die Visualisierungen auch ein Ausgangspunkt für Überlegungen

sein, die Rolle von Visualisierungen in der UBA-Umweltberichterstattung weiterzuentwickeln, u. a. indem bereits bestehende (interaktive) Angebote räumlicher Daten in die Berichterstattung stärker integriert werden und gezielt zusätzliche Angebote für medienübergreifende Umweltthemen entwickelt werden. Neben der nach außen gerichteten Kommunikationsfunktion können die Visualisierungen auch für interne Aufgaben der Umweltberichterstattung genutzt werden. Die ggf. auch komplexeren Visualisierungen können z. B. innerhalb des UBA als Instrument für räumliche Analyse verwendet werden, um die textlichen Fachbeiträge zur Umweltberichterstattung um eine räumlich differenzierende Interpretation zu ergänzen. Zudem können die aus dem Ursache-Wirkungszusammenhang abgeleiteten Visualisierungen auch dazu dienen, politische und planerische Entscheidungsprozesse zu unterstützen, z. B. durch die Auseinandersetzung mit Gefährdungen bzw. Risiken.

#### *1.1.1.1.12 DV-technische Umsetzung*

Das im Rahmen des Vorhabens entwickelte Datenmodell kann als Grundlage für ein Datenmanagementsystem dienen, dessen strukturgebendes Organisationsprinzip die fachlich durch die Analysemodelle definierten Ursache-Wirkungsbeziehungen sind. Dieses Datenmanagementsystem könnte als Basis dienen, um eine Plattform sowohl für die UBA-interne Datenverwaltung und -bereitstellung als auch für die externe Datenbereitstellung zu entwickeln. Das Datenmanagement kann dabei Sachdaten, Geo-Daten und Visualisierungen gleichermaßen einbeziehen. Die im Rahmen des Vorhabens entwickelte Systematisierung von GIS-Tools sowie die ausgearbeiteten Workflows können die GIS-Analysen für die Umweltberichterstattung des UBA unterstützen.

### **Perspektiven**

Insgesamt wurde im Rahmen des Vorhabens deutlich, dass es sowohl fachlich-inhaltlich als auch strukturell konkrete Einsatzmöglichkeiten für die erarbeiteten Instrumente und Konzept gibt. Weitere medienübergreifende Themenfelder, in denen die Vorgehensweise zum Einsatz kommen könnte, sind z. B. Eintrags- und Wirkungspfade von Stickstoff, der Eintrag von Chemikalien in die Umwelt oder das Themenfeld der Klimafolgenanpassung. Viel Potenzial wird vor allem dem Einsatz von Visualisierungen für die Umweltberichterstattung beigemessen. Im Zentrum steht dabei die verstärkte Nutzung digitaler Online-Angebote, z. B. durch die Verwendung interaktiver Kartenformate, die dem Nutzer sowohl inhaltlich als auch räumlich Möglichkeiten bieten, Visualisierungen nach seinem konkreten Bedarf zu erzeugen und dabei auf unterschiedliche Datenquellen zugreifen zu können. Für das Datenmanagement werden Perspektiven sowohl in der internen als auch in der externen Bereitstellung von Daten und daraus erzeugten Visualisierungen gesehen. Intern besteht die Möglichkeit, ein harmonisiertes Datenmanagement aufzubauen, in dem Datensätze konsequent nur einmalig verarbeitet oder erstellt werden, sie dann aber mehrfach und von unterschiedlichen Nutzern für ihre individuellen Bedürfnisse genutzt werden können, indem z. B. regelmäßig harmonisierte Datensätze (z. B. zur Bevölkerungsdichte) zentral erzeugt und zugänglich gemacht werden. Ein harmonisiertes Datenmanagement könnte auch die Basis bieten, um das UBA perspektivisch zur zentralen Plattform für die Veröffentlichung bzw. Bereitstellung von Umweltdaten für Nutzer in Wirtschaft, Wissenschaft und Forschung oder für die interessierte Öffentlichkeit zu entwickeln.

## Summary

### Objectives

The central purpose of this project was to develop tools and concepts for a systematic analysis of cross-media environmental problems, conflicts and relevant cause-and-effect relationships, and for their spatially explicit visualisation for the UBA's environmental reporting. In view of the great number of current environmental problems and the increasing complexity of environmental relationships, these analyses and visualisations are intended to supplement previous contents of UBA's environmental reporting based mostly on the coverage of specific media or sectors, thus contributing to a better understanding of environmental problems and related interactions and of their spatial characteristics. The intention was that the tools and concepts to be developed would support the theme-specific analysis as well as incorporate an implementation concept, which would demonstrate the way in which it is possible to produce expressive, reproducible and updatable visualisations with the aid of Geographic Information Systems (GIS). This requires processing the emerging effects, identified by the scientific analysis of cause-and-effect relationships as particularly relevant impacting factors, so that, by use of available geo data, the intensity of environmental problems and/or conflicts can be visualised in a spatially explicit way. Besides, the implementation concept was intended to allow the systematic management of applied and produced spatial information with the aid of a data management system, thus ensuring the sustained usability of data.

### Catalyst

The project was triggered by the realisation that previous environmental reporting was somewhat restricted as far as the consideration of cross-media approaches or spatial structures and processes are concerned. The principal component of the UBA's current environmental reporting is entitled 'Data on the Environment' ('Daten zur Umwelt' – DzU). Basically, the DzU makes information available via the internet, on scientific subjects from a variety of UBA sectors. Furthermore, the UBA publishes in printed form, at regular intervals, selected findings such as latterly the 'Daten zur Umwelt' (environmental data) (UBA 2015). A second important component is currently still being developed for subsequent implementation. The Core Indicator System ('Kernindikatorensystem' - KIS) will core indicators for all environmental subjects covered by the DzU. These indicators will be updated at regular intervals and will be reported on continuously in future. The third component of environmental reporting consists in the extant interactive mapping and data services. This includes the mapping and data service entitled 'Aktuelle Luftdaten' (current air data) which is used for publishing spatial information collected by monitoring air pollutants at Federal and State level. Another essential part of environmental reporting is the Environment Geographical Information System (GISU): Its function is to provide, with the aid of the internet, spatial information in line with INSPIRE requirements.

With exception of the KIS, these components of environmental reporting are already used regularly for presenting to the public a diverse range of information on a wide spectrum of themes relevant to environmental policy. Nevertheless, there is a general perception shared by the UBA that, for reasons including those given below, the opportunities of environmental reporting remain somewhat restricted:

- ▶ So far the environment has been assessed on the basis of media- or sector-related monitoring and assessment tools, used e. g. for individual environmental protection assets or environmental problems.
- ▶ Information for environmental reporting is often available only in terms of qualitative descriptions or it is highly aggregated spatially and temporally e.g. in terms of environmental indicators.



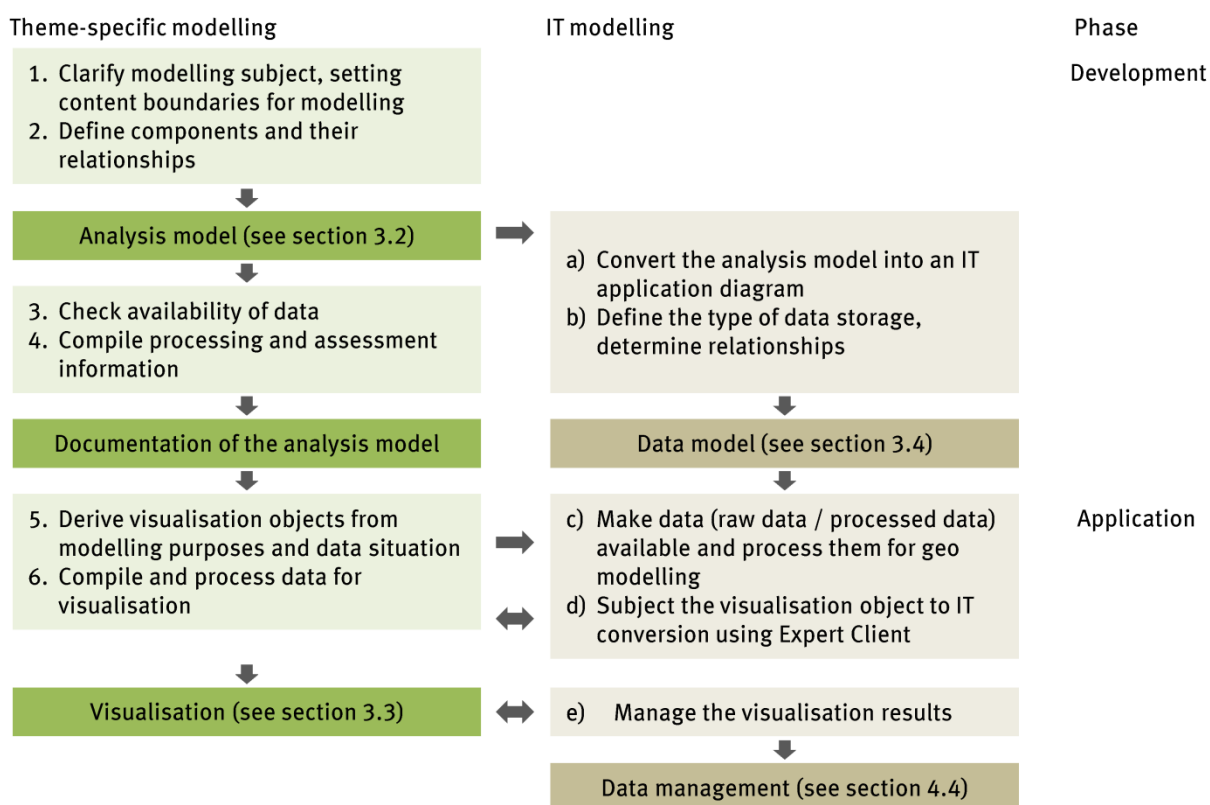
- ▶ Hitherto, spatial visualisations have been used only for a few themes in UBA's environmental reporting and are restricted to covering content regarding a specific protected asset or a specific sector. Besides, current presentations of existing geo data are not linked systematically with relevant theme-specific content.
- ▶ Visualisations used in environmental reporting have so far been based partly on the findings of individual research projects rather than continuously updated data sources. In these cases, it is not possible to update the visualisations thus making them obsolete; temporal developments with regard to environmental problems or conflicts cannot be visualised.
- ▶ Environmental reporting is founded on contributions from the UBA's technical fields, their relevant findings and at least partly also on their relevant data records. So far, it has not been possible to harmonise the management of all data fed into environmental reporting.

## Conceptual Outcomes

### 1.1.1.1.13 Approach to Modelling

In the light of these findings, this project adopted a coherent approach for modelling. This approach was put to the test in a practical trial in consultation with experts from UBA. The approach includes the whole process – from the creation of a theme-specific analysis model, to the derivation and representation of pertaining visualisations, as well as to the transformation of the analysis model into an IT model. The modelling procedure is described in the modelling concept (see Abbildung 2).

Abbildung 2: Modelling concept and essential modelling stages



Source: Bosch & Partner GmbH's own representation



The approach was applied in a practical test to three selected sample themes in order to ensure that it is possible to carry out the process in a structured way at the different levels contained in the modelling approach and to ensure that the tools and concepts concerned interact expediently. The three sample themes entitled

- ▶ „Health hazards due to noise, air pollutants and heat“
- ▶ „Loss of valuable agricultural soils through land use“ and
- ▶ „Ploughing up grassland“

were subjected to the test in consultation with experts from various UBA sectors.

It was considered an essential requirement to develop an approach that can be adapted to various environmental problems and conflicts. It was therefore necessary to develop an abstract structure, both for the theme-specific analysis and for IT conversion, which would allow the analysis of cross-media contexts and cause-effect-relationships, followed by representation in terms of geo data, which would subsequently allow geo data processing and management. In other words, the concept and tools must allow users to:

- ▶ document the state of knowledge, i. e. the knowledge of experts on various environmental problems and conflicts in a cross-media manner, taking full account of cause-and-effect relationships, thus allowing processing in a way that makes it possible to use the findings as a basis for formulating a modelling object and for modelling;
- ▶ to create a representation of cause-and-effect relationships between various environmental objects in an appropriate cross-media and theme-specific manner;
- ▶ ascertain and describe environmental processes taking place between environmental objects including the factors by which they are influenced;
- ▶ to determine and assess systematically any relevant parameters and potential data sources regarding environmental objects and environmental processes;
- ▶ to file the extant data as well as the given assessment and processing algorithms in a structured manner and to make them available by means of a methodical procedure; and
- ▶ to develop potential visualisations for various modelling objects in a targeted and purposeful manner.

Taking into account these requirements, the concepts and tools described below were developed. This was done with particular care to ensure that the theme-specific and IT modelling approach are designed in a structurally and conceptually compatible manner.

#### *1.1.1.1.14 Generalised Modelling Concept*

The generalised modelling concept offers a transferable basic structure, which consists of components that allow flexible usage. The model can be used across themes and media in so-called analysis models for the abstract representation of environmental problems and conflicts. The most important components of the generalised modelling concept are as follows:

- ▶ **Objects for observation:** Objects for observation are defined as environment protection assets or forms of use of the environment, which constitute either start or end points of environmentally relevant processes. The observation focuses on the relevant feature of the object to be observed (e.g. the structural condition of a water body) rather than the overall object for observation (such as surface waters). The character of the relevant feature of objects for observation may where applicable be described by observation variables. These are detected by either observation or measuring and need to be available in sufficient temporal and spatial detail for characterising the features in question (such as statistical data on areas of land under cultivation).

For the purpose of modelling, it is necessary to determine a targeted object for observation which has been recognised as a core (environmental) problem thus providing the impetus for modelling.

- **Processes:** There are processes that take place between objects for observation. Processes are causal relationships between objects for observation, and are described in terms of changes in the character of specific features of the object for observation. For example, the relocation of pollutants is described in terms of the reduction in concentration in one site and its increase in the other.

In order to represent the processes concerned, it is possible to state either one or several variables, which exert significant influence on the intensity of the process and its spatial and temporal extent. These variables are termed descriptive variables (e. g. soil type).

#### *1.1.1.1.15 Analysis Models*

Analysis models are produced using components of the generalised modelling concept for selected environmental problems or conflicts (modelling objects). They illustrate the relevant cause-and-effect relationships, which ultimately determine the spatially differing characteristics. The components of the analysis model provide the foundation for subsequent work phases and must therefore be documented in detail with regard to available data and, where applicable, extant assessment approaches or assessment methods.

#### *1.1.1.1.16 Visualisation Concept*

Visualisation options are derived systematically from the analysis model based on three principal modelling purposes for spatial analysis:

- „Describe“: Presentation of extant measurement or observation results regarding environmental conditions (e. g. structural quality of water body), presentation of environmental problems (e. g. particulate concentration in the air) or causal burdens caused by exogenous factors (e. g. urbanisation and development of traffic impacts);
- „Explain“: Spatial superposition or intersection of burdening factors (e. g. expansion of urbanisation and traffic areas as well as uptake of land for maize cultivation for silage) and of environmental conditions (e. g. development of grassland areas) in order to identify, where applicable, existing correlations;
- „Identify Risks/Conflicts“: Recognising spaces which bear the risk of detrimental changes in the environment / or other negative impacts or changes which have the potential for conflicts of use where correlations between cause and effect or burden are known (e. g. expansion of urbanisation and traffic impacts) and the environmental condition (e. g. soils with high yield potential).

Based on the data sources documented for the analysis models, suitable visualisation objects are compiled for the individual modelling objects. Selected visualisation objects that are expected to be particularly expressive are visualised by means of GIS software such as ArcGIS.

#### *1.1.1.1.17 The Concept of IT implementation*

IT modelling is carried out in an object-based manner. Modelling is focused on the quality and specific characteristics of available data as well as the functions to be implemented. The concept of IT implementation is made up of two essential components:

- **Processing functions in GIS:** For the implementation of different modelling purposes, i. e. for the processing or visualisation of geo data, it is possible to use defined sets of existing ArcGIS Tools. In order to simplify the processing of repetitive tasks relating to data, it is furthermore possible to assemble the GIS procedures in workflows for implementation.

- Data Management in GIS: Data management is designed in a way as to allow management of visualisations complete with the underlying geo data used or processed in line with the defined structure in terms of environmental processes and their cause-and-effect relationships. To this end, the following conceptual methodical approaches were developed and employed:
  1. direct derivation of UML class diagrams from the analysis model thus producing visualisation of cause-and-effect relationships.
  2. two-phase modelling (envVisieren) based on a structural diagram which can be used across themes, and with an application diagram which describes the IT implementation of actual analysis models.
  3. Automatic processes for the derivation of the envVision application from the data model to reorganise the data management in ArcGIS.

#### *1.1.1.1.18 Web Application envVision for Sustainable Data Management:*

A flexible software application was designed which is suitable for use in connection with a variety of environmental themes to achieve structured management of geo data according to cause-and-effect relationships. The application was developed with the aid of envVision technology. This makes it possible to translate structural and application diagrams directly into compilable program codes thus producing a program which contains all basic functionalities of data processing and management: storage, selection, editing, linking, deleting, maintaining data conventions, offering lists of value ranges etc. The structural and application diagrams for the application developed in the course of this project were created directly from the theme-specific analysis models of the sample themes processed. This means that the cause-and-effect relationships determined in the theme-specific analysis can be transferred directly into the structure of the data management system. Instruction manuals for using the application were developed for a variety of user groups.

### **Outcomes of the Practical Test**

A practical trial was used to test all stages of the modelling process – from developing the analysis model to producing visualisations, to IT implementation – in order to examine their implementability for three selected themes:

- „Health hazards due to noise, air pollutants and heat“,
- „Loss of valuable agricultural soils through land use“ and
- „Ploughing up grassland“

As a consequence of the practical test and in consultation with UBA experts, the following products were proposed for the three sample themes:

#### *1.1.1.1.19 Analysis models*

The cause-and-effect relationships of the sample themes were visualised on an abstract level in the form of functional chains or functional networks. The illustration includes the indication of relevant parameters which form the basis of, for example, research into data sources and ultimately also of the development of visualisations. The information on the components of the analysis model relevant to visualisation was documented in detail. On this basis, options were derived and documented in terms of visualisation in order to achieve the modelling purposes entitled „Describe“, „Explain“ and „Identify risks / conflicts“.

#### *1.1.1.1.20 Visualisations*

In consultation with UBA experts, selected visualisation options were implemented with the aid of ArcGIS. The total of visualisations in mapped form for the sample theme „Health hazards due to noise, air pollution and heat“ was seventeen (17), for the sample theme „Loss of valuable agricultural soils

through land use“ ten (10), and for the theme „Ploughing up grassland“ the total of visualisations was seven (7). GIS processing in ArcGIS was in some respects concerned with aggregated workflows for processing repetitive tasks; but the implementation also covered data acquisition and typically Excel-based evaluation and processing of statistical and/or monitoring data.

#### *1.1.1.1.1.21 IT Implementation*

On one hand, the IT implementation was carried out for the sample themes with the aid of the software system ArcGIS and envVision by creating an envVision WebClient on the basis of the analysis models. The WebClient is used for managing the utilised or processed geo data along with the visualisations produced, in a structure that is in line with the environmental processes and cause-and-effect relationships described in the analysis models. It is possible to include the cause-and-effect relationships in the system by defining the object relationships. On the other hand, an envVision Add-in was created for ArcGIS, which provides the required functionalities for data processing and data management.

Upon conclusion of the test phase, the outcomes of the project were presented and discussed with UBA in a technical meeting.

### **Range of Applications**

The tools and concepts incorporated in the modelling concept function at a variety of levels, which range from the theoretical analysis of environmental problems (analysis model) to the data management (IT model) for cause-and-effect relationships and to the spatial visualisation of environmental problems and conflicts. It is envisioned that, in essence, the UBA's environmental reporting might address the range of applications described below.

#### *1.1.1.1.1.22 Analysis Model*

The analysis model and pertaining documentation are used in order to process the environmental problems in terms of modelling objects, and in order to structure, document and visualise them systematically with regard to the relevant cause-and-effect relationships. An essential feature of this documentation process is that it will include the current state of knowledge of the issues concerned and of the data situation. The analysis models and pertaining documentation can be used as a basis for the UBA's internal communication with experts specialising in a (cross-media) environmental problem. In communication with UBA experts, they can, in addition, form the basis of a systematic search for data sources and appropriate data as well as assessment approaches and/or cause-and-effect algorithms.

#### *1.1.1.1.1.23 Visualisations*

On the basis of the analysis models and pertaining documentation, it is possible to derive – in the light of knowledge on the data available and its interpretation – which visualisations can be created using the existing data, and how these visualisations can be created based on GIS in a manner that is appropriate for the themes in question (for example with reference to legal threshold values etc.). The visualisations can, in turn, be used for various applications. Their primary function is to supplement the UBA's environmental reporting by means of spatial representation of cross-media environmental themes, thus supporting the UBA's communication remit. At the same time, visualisations can also serve as points of departure for reflections on how to progress and advance the role of visualisations within the framework of the UBA's environmental reporting. This could be done, for instance, by integrating, more strongly than hitherto, any pre-existing (interactive) offerings of spatial data into the reporting process, and by developing additional targeted offerings aimed at cross-media environmental themes. In addition to the function of communicating externally, visualisations can also be used for internal tasks in environmental reporting. Even in cases where visualisations are particularly complex,

they can be used internally by the UBA as a tool for spatial analysis, thus serving to complement graphically any textual contributions to environmental reporting. Furthermore, any visualisations derived from a cause-and-effect relationship can be used to support decision-making in a political or planning context, for example by addressing hazards or risks.

#### *1.1.1.1.24 IT Implementation*

The data model developed for this project can be used as a foundation for a data management system whose principle of structural organisation consists in cause-and-effect relationships defined by means of the theme-specific analysis models. This data management system might be used as a basis for developing a platform for the UBA's internal data management and data provision as well as for the external communication of data. In this process, data management might include statistical data, geo data and visualisations. The GIS analyses for UBA's environmental reporting can be supported by the systematisation of GIS tools developed for this project as well as by the workflows defined.

### **Perspectives**

Overall, the project demonstrated that both in terms of content and in a structural sense, there is clear potential for applications in which the tools and concept developed can be employed. There are other cross-media subject areas in which this approach might be adopted, such as entry and impact paths of nitrogen, the entry of chemicals into the environment or the complex issues of adaptation to climate change. Great potential is expected particularly for the use of visualisations in environmental reporting. In this context, the focus is on the intensified use of digital online offerings, e. g. through the use of interactive mapping formats which offer the user opportunities, both in terms of content and space, to create visualisations as and when required, thus providing access to various data sources. For the purpose of data management, it is possible to perceive opportunities both for internal and external provision of data and ensuing visualisations. From an internal perspective, there is a possibility to develop harmonised data management in which data records are consistently processed or created only once, although subsequently, the outcomes can be utilised by various users for their individual requirements. This means that, for instance, regularly harmonised data records (e. g. relating to population density) can be created and made available centrally. Harmonised data management might also form the basis of a perspective in which the UBA becomes the central platform for the publication of environmental data for users in economics, science and research or for interested members of the public.

## 2 Einführung

### 2.1 Ziele und Aufgabenstellung

Aufgrund der Vielzahl von aktuellen Umweltproblemen und der ansteigenden Komplexität von Umweltbeziehungen ergibt sich für die Umweltberichterstattung des Umweltbundesamtes (UBA) zunehmend die Notwendigkeit für die Entwicklung und den Einsatz von neuen, raumbezogenen Erkennungs- und Bewertungsinstrumenten, die auch medienübergreifende Umweltzusammenhänge erfassen und Risikogebiete für Umwelt- und Gesundheitsgefährdung räumlich verorten können. Dazu gilt es, die zugrundeliegenden Ursache-Wirkungsbeziehungen und soweit möglich die Interaktionen zwischen sich überlagernden Umweltproblemen oder Gefahrenquellen zu erfassen und die sich daraus ergebenden Umweltrisiken qualitativ und quantitativ abzuschätzen. Zentrales Anliegen ist es dabei, mit Hilfe einer räumlichen Visualisierung der wesentlichen Umweltprobleme und Konfliktrisiken zu einer Verbesserung der Umweltberichterstattung und der Umweltbeobachtung beizutragen, deren Hauptaufgaben u. a.:

- ▶ in der Erfassung und Bewertung des Zustands der Umwelt (Analysefunktion) und
- ▶ im frühzeitigen Erkennen und Bewerten von Risiken (Frühwarnfunktion)

liegen (s. auch SRU 2012: Pkt. 577).

Die bestehenden Umweltinformationssysteme des UBA wie das Kernindikatorensystem (KIS) oder die darauf z. T. aufbauenden Daten zur Umwelt (DzU), in denen wissenschaftliche Themenbeiträge der Fachseinheiten des UBA veröffentlicht werden, verwenden für die nicht-textliche Vermittlung und Illustration von Inhalten bisher überwiegend indikatorenbasierte Darstellungen. In Form von Diagrammen oder Tabellen präsentieren sie i. d. R. räumlich nicht differenzierte Daten für das gesamte Bundesgebiet. Diese Darstellungsformen sollen zunehmend durch räumlich höher aufgelöste Informationen ergänzt werden. Dabei soll auch deutlich werden, inwieweit sich Umweltprobleme und -risiken räumlich überlagern und infolgedessen besonderer Handlungs- und Steuerungsbedarf entsteht.

Aufgabe des FuE-Vorhabens „Entwicklung medienübergreifender Analysemodelle zur räumlichen Darstellung von Gefährdungspotenzialen der Umwelt und Gesundheit“ war es, Konzepte und Instrumente zu entwickeln, mit denen sich Umweltprobleme bzw. Konfliktrisiken systematisch analysieren und räumlich abbilden lassen. Dabei sollten auch medienübergreifende Zusammenhänge sowie Ursache-Wirkungsbeziehungen berücksichtigt werden. Zusätzlich zu den konzeptionellen Grundüberlegungen war ein Umsetzungskonzept zu entwickeln, das darlegt, wie die Analysen mit Hilfe von datenverarbeitungstechnischen (DV-technisch) Modellen und Geografischen Informationssystemen (GIS) systematisch durchgeführt und die Ergebnisse visualisiert werden können. An ausgewählten Beispielen sollte die Umsetzung der Konzepte und Instrumente erprobt werden.

Als wesentliche Grundlage sollte das Vorhaben bestehende methodische Ansätze im UBA einbeziehen und verfügbare Datenbestände (insbesondere auch von Geo-Daten) für weitere Zwecke der Umweltberichterstattung nutzbar machen.

### 2.2 Ergebnisse im Überblick

Gemäß den Zielen und der Aufgabenstellung wurde im Rahmen des Vorhabens kohärentes Modellkonzept entwickelt, dessen verschiedene Instrumente und Konzepte aufeinander aufbauen. Diese werden in den folgenden Abschnitten vorgestellt.

- ▶ Generalisiertes Modellkonzept (s. Kap. 3.1.1):  
Das generalisierte Modellkonzept wurde als übertragbare Grundstruktur mit flexibel einsetzbaren Elementen entwickelt. Es kann themen- und medienübergreifend für die abstrakte Darstellung von Umweltproblemen bzw. -konflikten in sogenannten Analysemodellen angewendet werden.



- ▶ **Analysemodelle (s. Kap. 3.2):**  
Für die drei zur Bearbeitung ausgewählten Umweltprobleme wurden nach den Vorgaben des generalisierten Modellkonzepts Analysemodelle entwickelt (s. Kap. 4). Sie bilden die spezifischen Ursache-Wirkungsbeziehungen des jeweiligen Umweltproblems, die letztendlich die räumlich unterschiedlichen Ausprägungen des Umweltproblems bedingen, ab. Die Komponenten des Analysemodells werden als Grundlage für weitere Arbeitsschritte ausführlich hinsichtlich der verfügbaren Daten, ggf. bestehender Bewertungsansätze oder Auswertungsmethoden dokumentiert.
- ▶ **Visualisierungskonzept (s. Kap. 3.3):**  
Ausgehend von einer Analyse bestehender Visualisierungen wurden deren wesentliche Funktionen im Kontext raumbezogener Analysen ermittelt. Mithilfe dieser im Vorhaben so bezeichneten Modellzwecke und aufbauend auf den im Zusammenhang mit der Dokumentation der Analysemodelle durchgeführten Datenrecherchen konnten die darstellbaren Visualisierungsgegenstände für die einzelnen Umweltprobleme systematisch erfasst werden. In einem weiteren Schritt wurden ausgewählte Visualisierungsgegenstände zu den drei Beispielthemen mithilfe der GIS-Software ArcMap 10.3 dargestellt.
- ▶ **DV-technisches Umsetzungskonzept (s. Kap. 3.4):**  
Die DV-technische Modellierung erfolgt objektorientiert im Zusammenspiel von Daten und Funktionen:
  - ▶ **Verarbeitungsfunktionen im GIS:** Ausgehend vom Visualisierungskonzept wurden die in ArcGIS bereitgestellten Tools bezüglich ihrer Verwendung für die ausgearbeiteten Modellzwecke untersucht. An prototypischen Beispielen wurde vorgestellt, wie eigene Tools mit eigenen Workflows (Algorithmen) implementiert werden können.
  - ▶ **Datenmanagement im GIS:** Es wurde eine Methodik ausgearbeitet, wie ein nachhaltiges Datenmanagement umgesetzt werden kann, das Visualisierungen einschließlich der ihnen zugrundeliegenden verwendeten bzw. verarbeiteten Geo-Daten nach Umweltprozessen und deren Ursache-Wirkungsbeziehungen verwaltet. Dazu wurden folgende konzeptionelle Ansätze entwickelt und eingesetzt:
    1. direkte Ableitung von UML-Klassendiagrammen aus dem Analysemodell und damit Darstellung von Ursache-Wirkungsbeziehungen im Datenmodell;
    2. zweistufige Modellierung (envVisieren) mit einem themenübergreifend anwendbaren Strukturdiagramm und einem Anwendungsdiagramm, das die DV-technische Umsetzung konkreter Analysemodelle beschreibt;
    3. Automatismen zur Ableitung der envVision-Applikation aus dem Datenmodell, das das Datenmanagement in ArcGIS neu organisiert.
- ▶ **Web-Applikation envVision für ein nachhaltiges Datenmanagement (s. Kap. 4.4):**  
Ausgehend von den konkreten Struktur- und Anwendungsdiagrammen für die beispielhaft zu bearbeitenden Themen wurde eine flexibel für unterschiedliche Umweltthemen einsetzbare Software-Applikation entwickelt, mit deren Hilfe sich Geo-Daten strukturiert nach Ursache-Wirkungsbeziehungen verwalten lassen. Für den Umgang mit der Applikation wurden Handbücher für unterschiedliche Nutzergruppen erarbeitet.

Die Instrumente und Konzepte sowie Anwendungs- und Weiterentwicklungsmöglichkeiten wurden zum einen themenbezogen im Rahmen einer Testphase in verschiedenen Expertengesprächen und zum anderen im Rahmen eines Fachgesprächs zum Vorhaben, das am 24.05.2016 im UBA Dessau stattfand, vorgestellt und diskutiert.



## 3 Grundlagen

### 3.1 Grundbegriffe

Dem Vorhaben liegt das Verständnis zugrunde, dass es sich bei einem **Modell** um ein vereinfachendes Abbild eines komplexeren Systems handelt, das sich aus unterschiedlichen Objekten zusammensetzt, die über Prozesse und wechselseitige Beziehungen verbunden sind. Mit der Modellbildung geht zwangsläufig eine Reduzierung der Komplexität des Systems einher. Als Gegenstand der Modellbildung wurden innerhalb des Vorhabens die „Umwelt“ bzw. ausgewählte Ausschnitte der „Umwelt“ in den Blick genommen, im weitesten Sinne Veränderungen von Eigenschaften der Umwelt. Gemäß den Vorhabenzielen, medienübergreifende Umweltprobleme und Umweltproblemzusammenhänge zu beschreiben und entlang der Wirkungskette inhaltlich und räumlich sichtbar zu machen, standen bei den Betrachtungen die Auswirkungen menschlichen Handelns auf die Umwelt und die verschiedenen Umweltmedien (einschließlich des Menschen und seiner Gesundheit) im Vordergrund.

Der Begriff Modell kann nach dem Verständnis des Vorhabens unterschiedliche Ausprägungen umfassen. Unter den Begriff fallen zum einen Ökosystem-Modelle, die verschiedene Umweltobjekte und die zwischen ihnen bestehenden Ursache-Wirkungsbeziehungen und ggf. auch deren Intensität in einer abstrakten Form erfassen und darstellen. Die innerhalb des Vorhabens entwickelten **Analysemodelle** werden als problemspezifische Ausschnitte des komplexen ökologischen Systems bzw. von Ökosystem-Modellen verstanden (die Entwicklung eines umfassenden Ökosystem-Modells war innerhalb des Vorhabens nicht beabsichtigt).

Ebenso fällt darunter der Begriff des **DV-technischen Modells**. DV-technische Modelle werden im Allgemeinen in zwei Ebenen ausgearbeitet: Zum einen dienen sie der Spezifikation, Konstruktion und Dokumentation von Software-Teilen und anderen Systemen. Als Standard hierfür hat sich in der Geoinformatik UML (Unified Modeling Language) durchgesetzt. UML ist eine grafische Modellierungssprache, die Bezeichner für die in der Modellierung wichtigen Begriffe definiert und mögliche Beziehungen zwischen diesen Begriffen festlegt. Es wird zwischen Strukturdiagrammen (z. B. Klassen-, Objektdiagramm) und Verhaltensdiagrammen (z. B. Anwendungsfall-, Zustandsdiagramm) unterschieden. Im Projekt wurden sogenannte **UML-Klassendiagramme** verwendet, die Klassen<sup>1</sup>, Schnittstellen sowie deren Beziehungen grafisch darstellen. Zum anderen dienen sie dazu, Programm-Algorithmen mithilfe einer Programmiersprache zu beschreiben. Die Programmiersprache enthält standardisierte Begriffe, die automatisch in ein computergestütztes Modell umgesetzt (kompiliert) werden können. Ein solches computergestütztes Modell (**Programm**) kann dabei die Erfüllung unterschiedlicher Funktionen vom Datenmanagement bis hin zur Simulation von Umweltzuständen ermöglichen. Eine wesentliche Anforderung innerhalb des Vorhabens war es, einen Ansatz zu entwickeln, um ein (ausschnittsweises) Ökosystem-Modell unter Berücksichtigung aller relevanten Umweltobjekte und Ursache-Wirkungsbeziehungen in ein DV-technisches Modell übertragen zu können.

Unter **Geo-Modell** wiederum wird ein räumlich definiertes Abbild der Wirklichkeit verstanden. Innerhalb des Vorhabens wird hierfür der Begriff **Visualisierung** verwendet. Eine Visualisierung bildet mithilfe von Geo-Daten Sachverhalte räumlich konkret ab, wobei der Detailgrad der Daten über die mögliche Genauigkeit der Darstellung entscheidet. Eine Visualisierung dient nach dem Verständnis des Vorhabens dazu, einzelne Komponenten eines abstrakten Analysemodells anhand geeigneter Geo-Daten räumlich darzustellen bzw. durch die Verarbeitung von Geo-Daten neue raumbezogene Informationen zu Komponenten eines Analysemodells zu erzeugen. Nach dem Verständnis des Vorhabens schließt

---

<sup>1</sup> Eine Klasse ist in der Objektorientierung ein abstrakter Oberbegriff für die Beschreibung der gemeinsamen Struktur und des gemeinsamen Verhaltens von Objekten.

das die alleinige Visualisierung von Umweltzuständen oder Umweltrisiken ebenso ein wie die Durchführung von Ursache-Wirkungsanalysen oder die räumliche Darstellung von deren Ergebnissen. Eine vollständige räumliche Darstellung der Ursache-Wirkungsbeziehungen eines Analysemodells durch eine einzelne Visualisierung ist in aller Regel aufgrund der Vielschichtigkeit der Analysemodelle und aufgrund der Beschränkungen bei der Darstellung von räumlichen Sachverhalten nicht möglich.

Hierzu sind ggf. mehrere Visualisierungen in der Zusammenschau erforderlich.

Die DV-technische Umsetzung eines Geo-Modells erfolgt mit einem **Geografischen Informationssystem** (GIS). GIS verwalten, verarbeiten und visualisieren Geo-Daten. Unter **Geo-Daten** werden Datensätze verstanden, die einen Raumbezug zur Erdoberfläche aufweisen, bzw. bei denen ein solcher Raumbezug hergestellt werden kann (z. B. bei Daten für statistische Gebietseinheiten). Es wird zwischen Grafikdaten, die die Geometrie beschreiben, und Sachdaten, die die fachlichen, identitätsstiftenden und zustandsbeschreibenden Informationen verkörpern, unterschieden. Für die Grafikdaten haben sich standardisierte Formate bzw. Dienste durchgesetzt (z. B. shape oder WFS für Vektorgrafiken bzw. jpg, tiff oder WMS für Rastergrafiken). Sachdaten werden je nach Aufgabenstellung und Fachinhalt strukturiert. Die Sachdatenstruktur wird in modernen Systemen zumeist mittels UML-Klassendiagramm beschrieben. Geo-Daten können über spezielle Verarbeitungsfunktionen weiterverarbeitet werden. Wesentliche Verarbeitungsfunktionen sind: Überlagern / Verschneiden, Bewerten, Transformieren, Visualisieren. Die Verarbeitung von Geo-Daten kann zu neuen Geo-Daten führen.

Visualisierungsfunktionen sind spezielle Verarbeitungsfunktionen, die die Geo-Daten räumlich darstellen. Es ist zwischen dem Prozess der Visualisierung und dessen Ergebnis zu unterscheiden. Im Projekt verstehen wir unter Visualisierung das Produkt (das Geo-Modell oder auch die kartografische Darstellung), das Ursache-Wirkungsbeziehungen visualisiert.

Inhalt eines Modells ist der sogenannte **Modellgegenstand**. Auf den verschiedenen Ebenen der Modellierung weist der Modellgegenstand i. d. R. einen unterschiedlichen Grad der Konkretisierung auf. In dem hier entwickelten Ansatz wird der Modellgegenstand auf der Ebene des Analysemodells als zu untersuchendes Umweltproblem bzw. zu untersuchender Umweltkonflikt formuliert, z. B.

- ▶ „Gesundheitsgefährdung durch Lärm, Luftschadstoffe und Hitze“ (A) oder
- ▶ „Verlust wertvoller landwirtschaftlicher Böden durch Flächeninanspruchnahme“ (B).

Mit der Ableitung von Visualisierungen aus den Analysemodellen konkretisiert sich der darzustellende Sachverhalt. Der Inhalt einer Visualisierung, d. h. einer räumlichen Darstellung zu einem Analysemodell bzw. zu ausgewählten Komponenten eines Analysemodells, wird im entwickelten Ansatz als **Visualisierungsgegenstand** bezeichnet. Visualisierungsgegenstände können beispielsweise wie folgt lauten:

- ▶ zu (A): „Bevölkerungsdichte in Gebieten, in denen Belastungen durch unterschiedliche gesundheitsgefährdende Faktoren auftreten“,
- ▶ zu (B): „Landkreise mit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit der Inanspruchnahme fruchtbarer landwirtschaftlicher Böden“.

Für die Ableitung des Visualisierungsgegenstands aus dem Analysemodell ist der sogenannte **Modellzweck** ein zentraler Begriff. Dabei geht es um die Frage, mit welchem Ziel eine (Geo-)Modellierung durchgeführt werden soll. In aller Regel ist es nicht Ziel der Modellierung, eine wie auch immer verstandene Realität möglichst vollständig abzubilden. Vielmehr soll das Modell den oder die gewünschten Sachverhalte möglichst treffend und nachvollziehbar beschreiben und auf der Grundlage der verfügbaren Daten möglichst zweckmäßig visualisieren. Unabhängig von einzelnen Modellgegenständen wurden im Kontext des Vorhabens – basierend auf einer Recherche zur Praxis der räumlichen Umweltinformation – für raumbezogene Analysen die drei allgemein anwendbaren Modellzwecke „Beschreiben“, „Erklären“ sowie „Risiken / Konfliktpotenziale identifizieren“ als wesentliche Modellzwecke definiert. Die Bewertung von Umweltzuständen oder umweltbezogenen Entwicklungen, z. B. anhand von

gesellschaftlichen Normen oder wissenschaftlichen Standards, wird dabei als integraler Bestandteil dieser Modellzwecke angesehen.

Der **Modellzweck „Beschreiben“** hat zum Inhalt, Beobachtungen und Messgrößen per se zu dokumentieren und zu strukturieren sowie ggf. anhand von gesellschaftlichen oder individuellen Normen zu bewerten. Er dient demnach der räumlichen Abbildung und ggf. der Bewertung bzw. Kategorisierung vergangener und aktueller Zustände und beantwortet die Fragen, was in der Vergangenheit passiert ist bzw. was gerade passiert und ggf. darüber hinaus, wie die Entwicklung bzw. der Zustand zu bewerten ist. Der Modellzweck „Beschreiben“ kann dabei sowohl den Umweltzustand als auch ursachenseitige Belastungsfaktoren zum Inhalt haben.

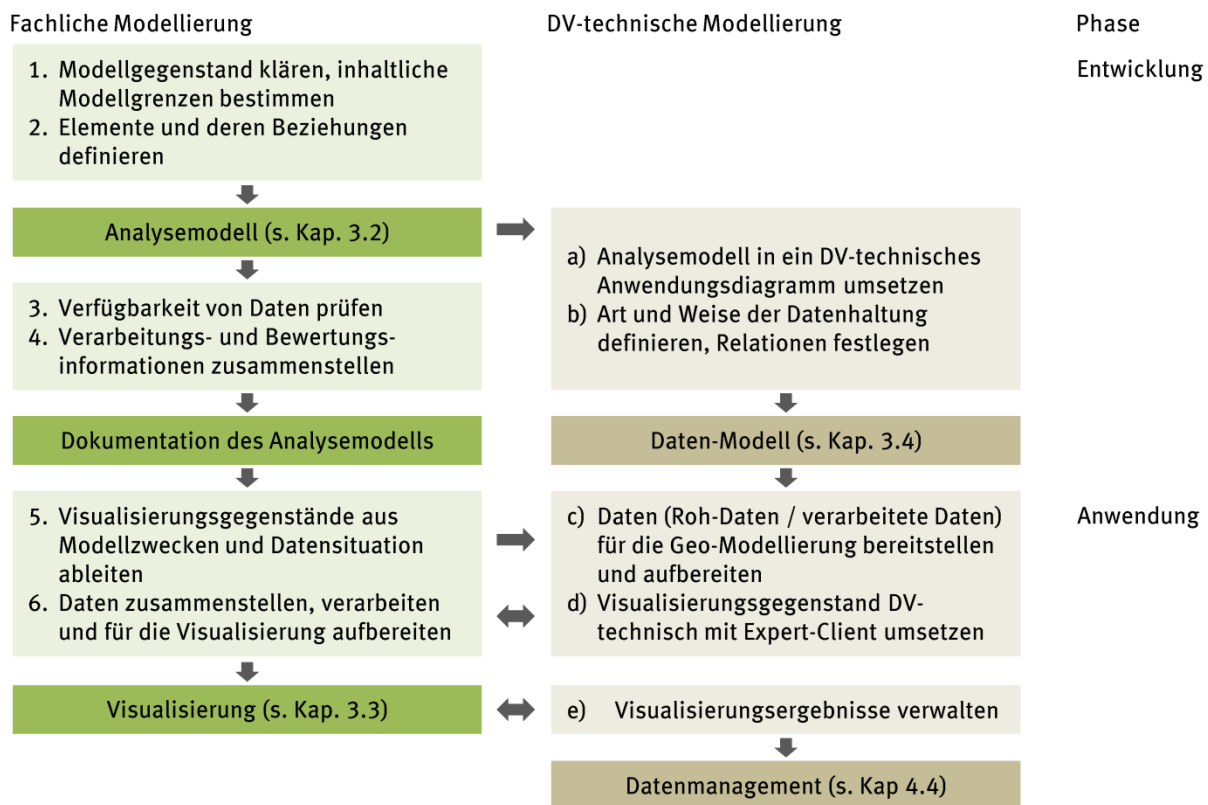
Der **Modellzweck „Erklären“** zielt darauf ab, Ursachen und Wirkungen abzubilden und dadurch Gesetzmäßigkeiten oder Korrelationen zu identifizieren, die das Zustandekommen von Zuständen aufzeigen. Zu beantwortende Fragen können beispielsweise lauten: Warum liegt ein bestimmter Umweltzustand vor? Worin liegt die Ursache für einen ablaufenden Prozess? Für die Modellierungen sind zu meist (geografische) Berechnungsverfahren erforderlich, z. B. eine Überlagerung von Belastungsfaktoren und Umweltzuständen oder -prozessen.

Modellierungen für den **Modellzweck „Risiken / Konflikte identifizieren“** dienen dem Ziel, ausgehend von bekannten Gesetzmäßigkeiten oder Korrelationen die möglichen Auswirkungen von messbaren Belastungsfaktoren auf Umweltschutzgüter zu untersuchen bzw. darzustellen und dadurch Risiken für nachteilige Umweltveränderungen oder Nutzungskonflikte zu identifizieren. Die Modellierungen sollen die Frage beantworten, wo Entwicklungen möglicherweise zu Verschlechterungen des Umweltzustands führen können.

### 3.2 Modellierung / Modellbildung

Die Entwicklung bzw. das Erstellen eines Modells wird als **Modellierung** oder **Modellbildung** bezeichnet. Im Verständnis des Vorhabens umfasst die Modellierung den Prozess von der Erstellung eines fachlichen Analysemodells bis zur Ableitung und Darstellung der dazugehörigen Visualisierungen sowie die Transformation des Analysemodells in ein DV-technisches Modell. Innerhalb des Vorhabens wurde ein Vorgehen entwickelt und praktiziert, wie dieser Prozess auf den verschiedenen Ebenen des Modellansatzes strukturiert durchgeführt werden kann (s. Abbildung 3). Das Modellkonzept beschreibt die einzelnen Schritte der Modellierung bzw. Modellbildung.

Abbildung 3: Modellkonzept und wesentliche Schritte der Modellierung



Quelle: Bosch & Partner GmbH, eigene Darstellung

In den Arbeitsschritten der Modellierung sind die folgenden zentralen Fragen zu bearbeiten und zu beantworten:

1. Modellgegenstand: Welches (Umwelt-)Thema soll mit dem Modell untersucht werden? Welche Ursache-Wirkungsbeziehungen sind dafür relevant?
2. Daten und Methoden: Welche Daten stehen zur Verfügung, um den gewählten Modellgegenstand abzubilden? Welche Methoden sind für die Verarbeitung und Bewertung dieser Daten bekannt?
3. Visualisierungsgegenstand: In der Umweltberichterstattung werden Visualisierungen für unterschiedliche Modellzwecke eingesetzt und können dafür z. B. hinsichtlich ihrer inhaltlichen Komplexität sehr unterschiedlich ausgestaltet sein. Welchem Zweck soll die Visualisierung dienen und welche Informationen sind dafür räumlich darzustellen?

Im Rahmen des Vorhabens wurden verschiedene Konzepte und Instrumente entwickelt, um diese Arbeitsschritte systematisch durchführen und die Antworten auf die obigen Fragen strukturiert dokumentieren zu können. Die Konzepte und Instrumente sowie die dazugehörigen Grundlagen werden in den Kap.3 bzw. 4.4 vorgestellt (s. hierzu auch die Verweise in Abbildung 3).

## 4 Konzepte und Instrumente

Ein Ausgangspunkt für die Überlegungen zum Modellierungskonzept und zu den zu entwickelnden Instrumenten innerhalb des Vorhabens war die Erfordernis, einen für unterschiedliche Umweltprobleme und -konflikte adaptierbaren Ansatz auszuarbeiten. Um dies zu ermöglichen galt es, eine abstrakte Darstellungsform und -struktur für medienübergreifende Zusammenhänge und Ursache-Wirkungsbeziehungen zu entwickeln. Darüber hinaus bestand die Anforderung, den Ansatz für die Modellierung so zu gestalten, dass durch die Einbindung von Geo-Daten eine räumlich konkrete Visualisierung des Umweltproblems bzw. -konflikts unter Berücksichtigung von Ursache-Wirkungsbeziehungen möglich ist. Das bedeutet, Konzept und Instrumente müssen den Nutzer in die Lage versetzen,

- ▶ den Wissensstand bzw. das Expertenwissen zu unterschiedlichen Umweltproblemen und -konflikten medienübergreifend und unter Berücksichtigung von Ursache-Wirkungsbeziehungen zu dokumentieren und so aufzubereiten, dass sie als Grundlage für die Formulierung eines zu bearbeitenden Modellgegenstands und für die Modellierung verwendet werden können,
- ▶ Ursache-Wirkungsbeziehungen zwischen verschiedenen Umweltobjekten gleichermaßen medienübergreifend und themenspezifisch darzustellen,
- ▶ zwischen Umweltobjekten ablaufende Umweltprozesse einschließlich der sie beeinflussenden Faktoren zu erfassen und zu beschreiben,
- ▶ relevante Parameter und mögliche Datenquellen zu Umweltobjekten und Umweltprozessen systematisch zu ermitteln und zu bewerten,
- ▶ vorhandene Daten und bekannte Bewertungs- und Verarbeitungsalgorithmen strukturiert abzulegen und mit einem systematischen Zugang bereitzustellen sowie
- ▶ Visualisierungsmöglichkeiten für unterschiedliche Modellgegenstände ziel- und zweckgerichtet zu entwickeln und auszuarbeiten.

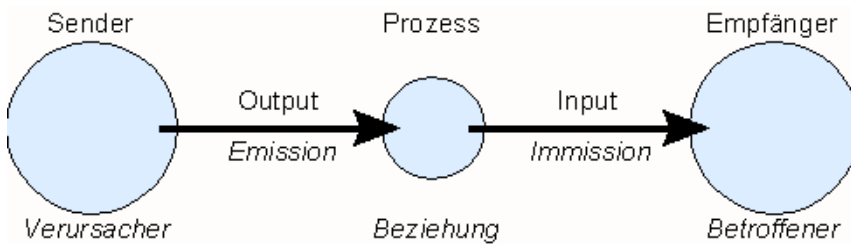
Unter Berücksichtigung dieser Anforderungen wurden die in den folgenden Kapiteln beschriebenen Konzepte und Instrumente entwickelt. Dabei wurde insbesondere auch darauf geachtet, dass der fachliche und die DV-technische Modellierungsansatz strukturell und begrifflich kompatibel ausgearbeitet wurden.

### 4.1 Grundlage der Modellierung: das generalisierte Modellkonzept

#### 4.1.1 Ausgangspunkte

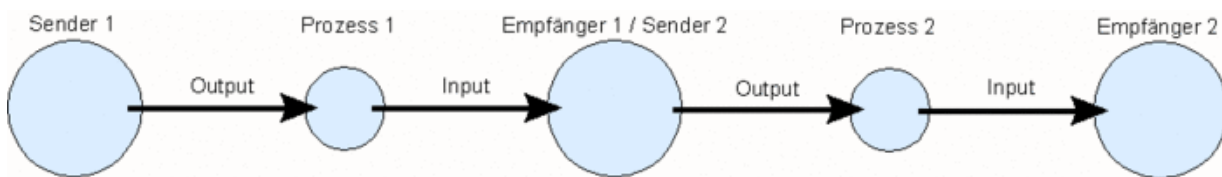
Jede Modellierung setzt eine Analyse von Ursache-Wirkungsbeziehungen voraus. Für das Modellierungskonzept standen daher Ansätze Pate, die zur Analyse oder auch Darstellung von Ursache-Wirkungsbeziehungen entwickelt worden waren. Dazu gehören als einfachste Form der Analyse von Ursache-Wirkungsbeziehung zunächst Flussdiagramme (s. Abbildung 4). Mit dieser Darstellungsform lässt sich die den Umweltprozessen innewohnende zeitliche und kausale Aufeinanderfolge von Ursache-Wirkungsbeziehungen in sinnvoller und nachvollziehbarer Weise abbilden. Einfache Flussdiagramme sind letztendlich auch Grundbausteine der Ökosystemmodellierung; sie werden u. a. aber auch in der theoretischen Diskussion zur Umweltverträglichkeitsprüfung oder Strategischen Umweltprüfung verwendet. Mehrere Flussdiagramme lassen sich zu längeren Wirkungsketten zusammensetzen (s. Abbildung 5).

### Abbildung 4: Wirkungsbeziehung



Fürst & Scholles 2008: 334

Abbildung 5: Wirkungskette (ebd.)



Quelle: Fürst & Scholles 2008: 336

Neben einfachen monokausalen Prozessvisualisierungen, wie sie in den obigen Darstellungen schematisch abgebildet sind, sind Erweiterungen zu komplexeren Wirkungsnetzen möglich. Letztere berücksichtigen auch multikausale Wirkbeziehungen und Rückkoppelungen, wobei vor allem Rückkoppelungen die Komplexität von Modellierungen und Darstellungen stark erhöhen. Abbildung 6 zeigt als Beispiel ein solches Wirkungsnetz.

Abbildung 6: Wirkungsnetz

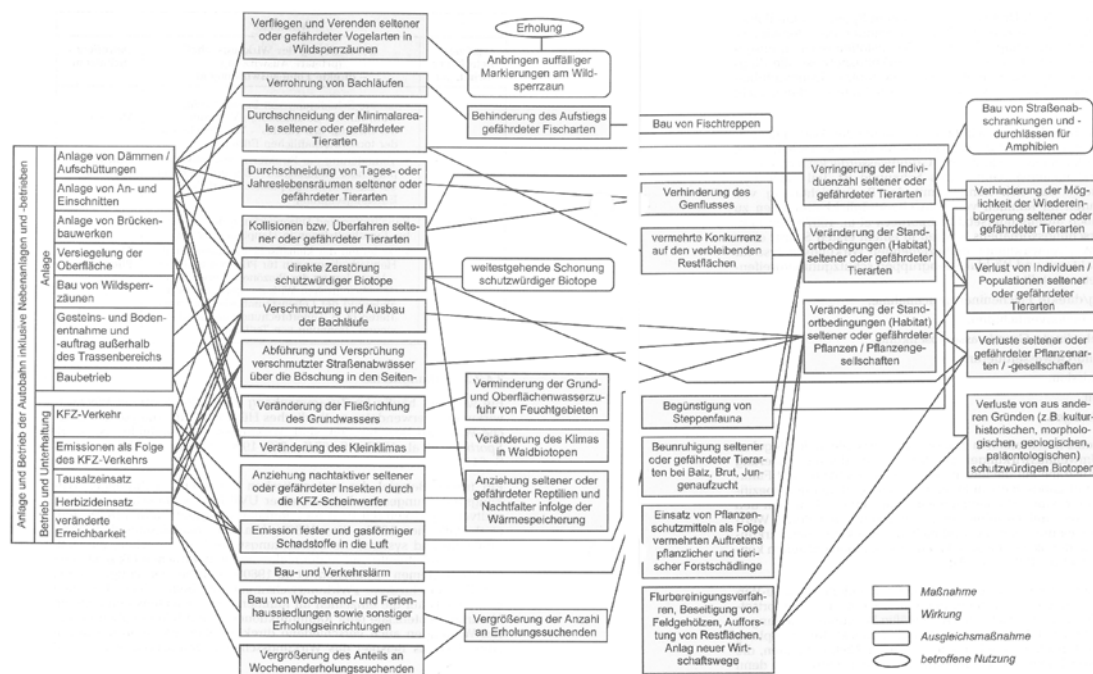


Abb. 7: Wirkungsschema „Straßenbau/Arten- und Biotopschutz“ (aus Kiemstedt et al. 1980a, S. 397)

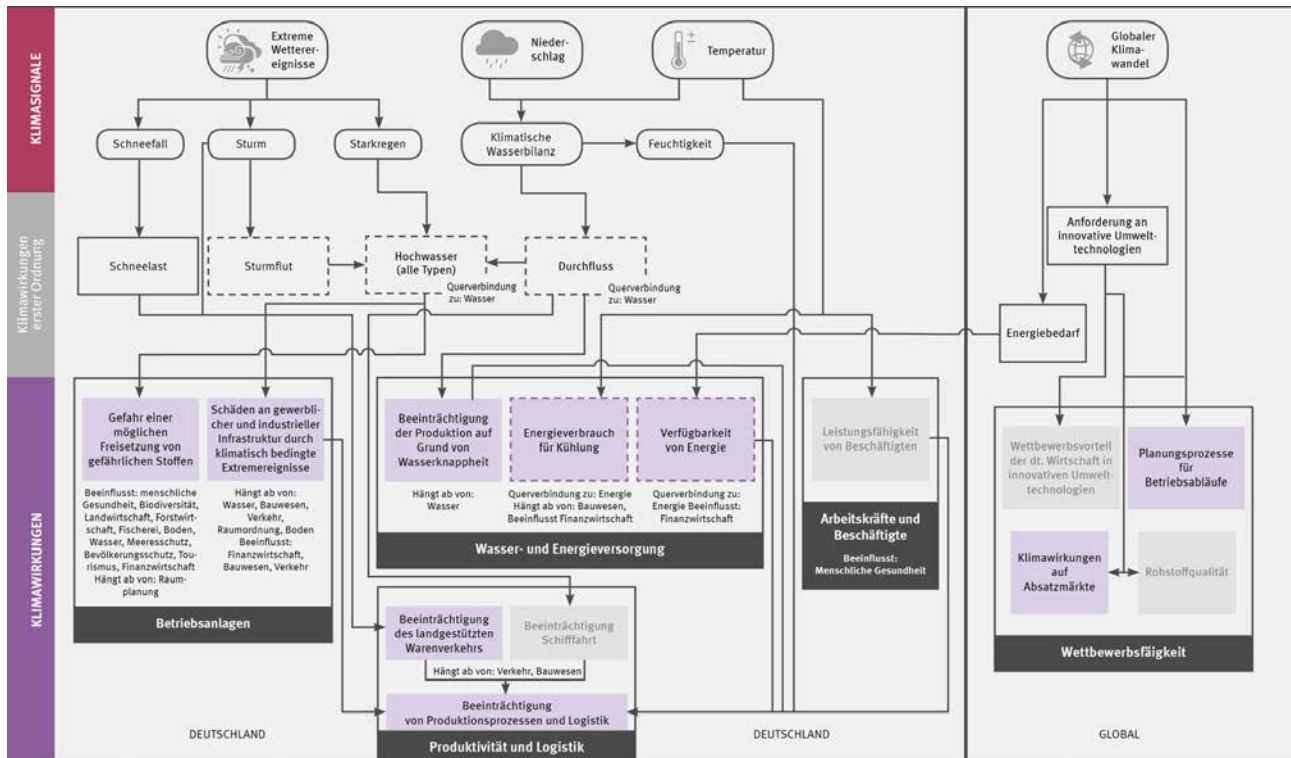
Quelle: Storm & Bunge 2013: Kap. 3205, 70-71

Die Darstellung von Ursache-Wirkungsverbindungen über Wirkungsketten und Wirkungsnetze wurde beispielsweise in Form sogenannter „impact chains“ auch für die Vulnerabilitätsanalysen genutzt, die



im Rahmen des Vulnerabilitätsnetzwerks des UBA zur Abschätzungen der künftigen Klimawandelfolgen für die Handlungsfelder der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel unternommen werden (s. Abbildung 7).

Abbildung 7: Modellierungskonzept des Vulnerabilitätsnetzwerks



Quelle: Buth et al. 2015: 41

Für die Abbildung von Ökosystemen und den in ihnen bestehenden Wechselwirkungen gibt es weitere Ansätze, die eine stärker formalisierte Struktur aufweisen. Beispiele hierfür sind das DPSIR-Modell der Europäischen Umweltagentur (EEA 2016) oder allgemeine schematische Darstellungen zu den Beziehungsmustern in Ökosystemen, wie sie u. a. in der Ökosystemforschung entwickelt worden sind (vgl. z. B. Ellenberg 1986: 32). Diese Ansätze basieren auf formalen Gliederungsprinzipien und gehen mit einer stärkeren Kategorisierung der Objekte und Prozesse in den Modellen bezogen auf ihre Rolle und Position einher. Die verwendeten Begrifflichkeiten, Denkmuster und Strukturen sind für eine pragmatische und konkret problemorientierte Abbildung der Ursache-Wirkungsbeziehungen eher hinderlich, da sie dadurch die für die Übertragbarkeit des Modellierungskonzepts erforderliche Flexibilität einschränken. Bezogen auf das DPSIR-Modell liegt der Grund vor allem darin, dass die Zuordnung von Schutzgütern und Prozessen zu den einzelnen Kategorien (vor allem P, S I) nicht zwangsläufig mit einem Mehrwert einhergeht, da dasselbe Schutzgut bzw. derselbe Prozess je nach Betrachtungsperspektive unterschiedlichen Kategorien zugeordnet werden kann. Zu differenzierte und auf eine möglichst vollständige Berücksichtigung aller Umweltkompartimente ausgerichtete Modellierungen hingegen stoßen schnell an die Grenzen der datentechnischen Umsetzbarkeit.

#### 4.1.2 Das generalisierte Modellkonzept und seine Komponenten

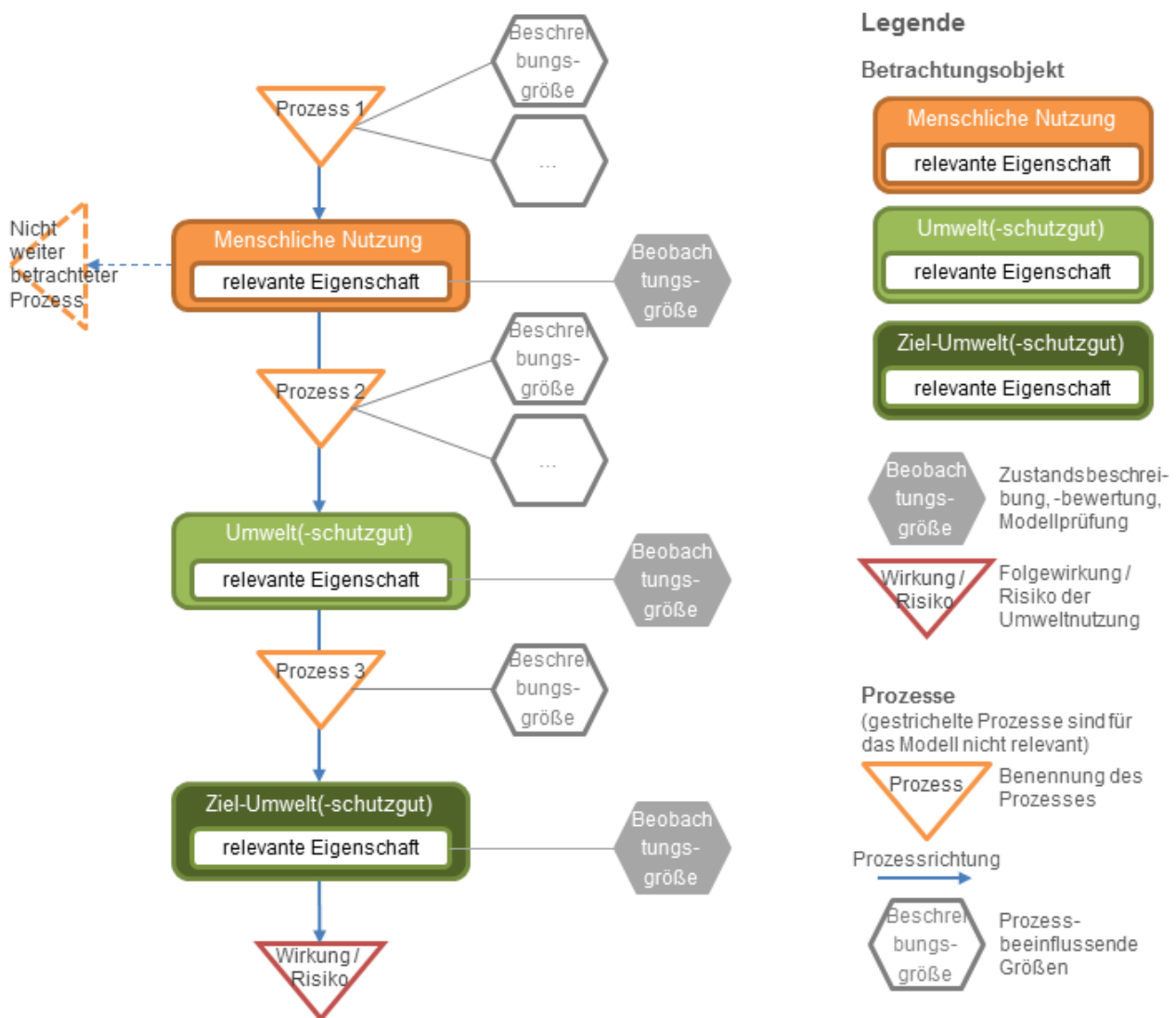
Mit Blick auf die Zielsetzungen der Modellierung in diesem Vorhaben wurden für die Darstellung der Ursache-Wirkungsbeziehungen im generalisierten Modellkonzept die sogenannten „Betrachtungsobjekte“, die „Eigenschaften“ derselben und die „Prozesse“ als zentrale Komponenten definiert. Mit Blick auf die dem Modellierungskonzept zugedachten Funktionen, relevante Parameter für die Beschrei-



bung von Prozessen oder geeignete Datensätze für die Visualisierung eines Modellgegenstands zu ermitteln, wurden ergänzend hierzu noch weitere Größen angelegt, anhand derer die „Betrachtungsobjekte“ und „Prozesse“ konkret beschrieben, bewertet oder operationalisiert werden können. Dabei handelt es sich um die sogenannten „Beobachtungsgrößen“, die den „Betrachtungsobjekten“ zugeordnet werden, und die „Beschreibungsgrößen“, die den „Prozessen“ zugeordnet werden.

Abbildung 8 zeigt die im Projekt entwickelte Anwendung des Flussdiagramms zur Darstellung von Ursache-Wirkungsbeziehungen. Eine detailliertere Meta-Beschreibung der Elemente erfolgt unten stehend im Kontext der Erläuterungen zu den Betrachtungsobjekten bzw. Prozessen.

Abbildung 8: Generalisiertes Modellkonzept – Flussdiagramm und verwendete Komponenten



Quelle: Bosch & Partner GmbH, eigene Darstellung

### Betrachtungsobjekte und Eigenschaften:

Die **Betrachtungsobjekte** sind Ausgangs- und / oder Endpunkt von Prozessen. Bei den Betrachtungsobjekten kann es sich entweder um Umweltschutzgüter oder Nutzungen bzw. Nutzungsobjekte handeln. Die Betrachtungsobjekte sind nicht per se für die Modellierung von Interesse, sondern immer nur mit spezifischen, mit Blick auf das Modellziel und den Modellzweck relevanten Eigenschaften oder auch Teilaspekten einer menschlichen Nutzung der Umwelt bzw. eines Umweltschutzguts. Neben den

Betrachtungsobjekten werden daher innerhalb der Flussdiagramme immer die im Kontext des Umweltproblems bzw. -konflikts relevanten Eigenschaften des jeweiligen Schutzguts oder Nutzungsobjekts in Kurzform benannt. Diese Spezifizierung ermöglicht auch, dass an anderer Stelle des Analysemodells möglicherweise das gleiche Betrachtungsobjekt mit anderen relevanten Eigenschaften auftauchen kann. Bei der Bezeichnung der Eigenschaft wird auf die Formulierung einer Entwicklungsrichtung verzichtet, da das Modell grundsätzlich sowohl eine Verstärkung als auch eine Verringerung des Einflusses und somit allgemein die Veränderung der relevanten Eigenschaft darstellt. Beispiele für Betrachtungsobjekte und ihre Eigenschaften zeigt Abbildung 9:

Abbildung 9: Generalisiertes Modellkonzept – Beispiele für Betrachtungsobjekte



Quelle: Bosch & Partner GmbH, eigene Darstellung

Die Zuordnung der Betrachtungsobjekte zur Nutzungs- (Ursachenseite, orange gekennzeichnet) oder Schutzgut-Kategorie (Betroffenenseite, grün gekennzeichnet) ist insofern von Relevanz, als steuernde / präventive Maßnahmen i. d. R. an den Ursachen und damit den Betrachtungsobjekten der Nutzungskategorie bzw. an den diesen zugeordneten Prozessen ansetzen sollten. Für die technische Modellumsetzung spielt diese Unterscheidung letztendlich keine Rolle.

Jede Modellierung mit allen darin berücksichtigten Pfaden bzw. Prozessen endet mit einem Ziel-Betrachtungsobjekt und derjenigen relevanten Eigenschaft, die als zentrales (Umwelt-)problem erkannt worden ist und die Modellierung letztendlich motiviert hat (Modellzweck). Je genauer das Ziel-Betrachtungsobjekt mit seiner relevanten Eigenschaft spezifiziert ist (z. B. statt einer chemischen Stoffgruppe ein ausgewählter Einzelstoff), desto fachlich genauer kann die Modellierung der Einzelprozesse auf dieses Modellierungsziel hin ausgerichtet werden. Mit Blick auf die Aufgabenstellung im Vorhaben ist stets anzustreben, die Eigenschaften des Ziel-Betrachtungsobjekts räumlich differenziert abbilden zu können. Zusätzlich ist denkbar, auch Zwischenschritte der Modellierung, d. h. Betrachtungsobjekte mit ihren relevanten Eigenschaften innerhalb der modellierten Ursache-Wirkungskette zu visualisieren. Das Ziel-Betrachtungsobjekt kann sowohl mit einer eher anthropozentrischen Sichtweise, d. h. mit dem Blick auf mögliche Nutzungseinschränkungen oder -potenziale für den Menschen, ausgewählt werden, als auch die Eigenschaft eines Umweltschutzguts beschreiben, die unabhängig von unmittelbaren anthropogenen Nutzungsanliegen von Interesse ist. Beispiele für Ziel-Betrachtungsobjekte und ihre relevanten Eigenschaften zeigt Abbildung 10:

Abbildung 10: Generalisiertes Modellkonzept – Beispiele für Ziel-Betrachtungsobjekte



Quelle: Bosch & Partner GmbH, eigene Darstellung

Zur weiteren Präzisierung des Modellziels und -zwecks kann ausgehend vom Ziel-Betrachtungsobjekt eine konkrete Folgewirkung oder ein Risiko angedeutet werden, das beispielsweise in einer nachteiligen Veränderung von gesellschaftlich gewünschten Umweltdienstleistungen (ecosystem services) besteht. Diese Folgewirkung muss aber nicht Gegenstand einer weiteren Beschreibung sein. Im Falle der eher umweltbezogenen Ziel-Betrachtungsobjekte (und ihrer Eigenschaften) können beispielsweise Veränderungen in den Nahrungsketten als Folgewirkungen angedeutet werden (s. Abbildung 11).

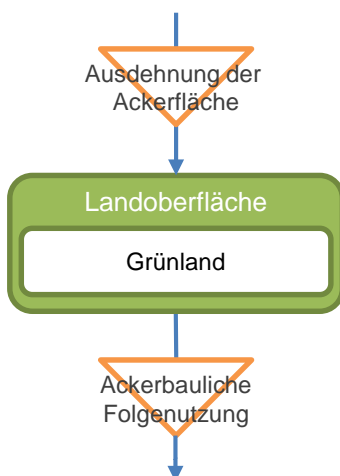
Abbildung 11: Generalisiertes Modellkonzept – Beispiele für Folgewirkungen bzw. Risiken



Quelle: Bosch & Partner GmbH, eigene Darstellung

Die Ausprägungen der Eigenschaften der jeweiligen Betrachtungsobjekte sind zum einen Ergebnis eines vorangegangenen Prozesses (z. B. Ausdehnung der Ackerfläche), zum anderen charakterisieren sie die Startbedingungen für weitere sich anschließende Prozess (z. B. ackerbauliche Folgenutzung, Abbildung 12). Die Ausprägung der Eigenschaften kann entweder Ergebnis der Modellierung des vorangegangenen Prozesses sein oder aber mit konkreten Beobachtungsgrößen (z. B. statistische Daten zur ackerbaulich genutzten Fläche) beschrieben werden. Beobachtungsgrößen sind hier definiert als tatsächlich durch Beobachtung oder Messung ermittelte Größen (d. h. Größen, die Gegenstand eines Monitorings sind), die in einer ausreichenden zeitlichen und räumlichen Auflösung zur Verfügung stehen, um die Eigenschaften zu charakterisieren. Die Beobachtungsgrößen können außerdem zur Überprüfung / Kalibrierung (Falsifizierung, Verifizierung) der Modellierungsergebnisse des vorangegangenen Prozesses genutzt werden (führen die Annahmen, die mit den Beschreibungsgrößen getroffen worden sind, zu validen Ergebnissen?).

Abbildung 12: Generalisiertes Modellkonzept – Beziehung von Prozessen und Betrachtungsobjekten



Quelle: Bosch & Partner GmbH, eigene Darstellung

## Prozesse

Zwischen den Betrachtungsobjekten finden **Prozesse** statt, die mittels der Nomenklatur der Prozesse in kurzer Form beschrieben werden (s. Abbildung 13).

Abbildung 13: Generalisiertes Modellkonzept – Beispiele für Prozesse



Quelle: Bosch & Partner GmbH, eigene Darstellung

Diese Prozesse stellen Beziehungen zwischen Betrachtungsobjekten dar und werden beschrieben über Veränderungen der Ausprägung bestimmter Eigenschaften der Betrachtungsobjekte. Die Verlagerung

von Schadstoffen wird beispielsweise beschrieben, indem auf der einen Seite die Abnahme der Konzentration und auf der anderen deren Zunahme quantifiziert wird.

Für alle Betrachtungsobjekte gilt, dass die (gemessenen, beobachteten oder modellierten) Eigenschaften und deren Ausprägung i. d. R. Startpunkte für mehrere weitere Prozesse sein können. Dies liegt in der Natur stark vernetzter Ökosysteme begründet. Zur Reduzierung der Komplexität der Modelle lassen sich aber nicht sinnvoll alle Prozesse in einem einzigen Modell darstellen. Mögliche weitere Prozesse können in den grafischen Darstellungen angedeutet sein (ohne dabei den Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben), werden in dem Modell aber nicht weiter betrachtet. Sie können Gegenstand differenzierter Betrachtungen in anderen Modelldarstellungen sein.

Jeder dargestellte Prozess hat letztendlich eine eindeutig definierte Prozessrichtung, die in der Darstellung mit einem Pfeil abgebildet wird.

Für die Abbildung der Prozesse, d. h. deren Beschreibung und / oder Modellierung, werden ausgehend von der Expertise des Umweltbundesamtes Größen ermittelt, die den jeweiligen Prozess wesentlich in seiner Stärke sowie seiner räumlichen und zeitlichen Ausdehnung beeinflussen oder steuern. Ein Prozess kann dabei von nur einer Größe oder auch von mehreren Größen beeinflusst sein. In der Darstellung werden diese Größen **Beschreibungsgrößen** (z. B. Bodentyp) genannt. Ziel ist immer, diesen Größen konkrete Datensätze zuzuordnen. Es kann sich dabei um gemessene, beobachtete, abgeleitete (z. B. interpolierte) oder auch gutachterlich ermittelte Daten handeln.

Abbildung 14: Generalisiertes Modellkonzept – Beispiele für Beschreibungsgrößen



Quelle: Bosch & Partner GmbH, eigene Darstellung

## 4.2 Analysemodell – Anwendung des generalisierten Modellkonzepts

Mithilfe der Elemente des generalisierten Modellkonzepts können die Ursache-Wirkungsbeziehungen von Umweltproblemen im ersten Modellierungsschritt in sogenannten Analysemodellen dargestellt werden. Das Analysemodell ist dabei in erster Linie ein gedankliches, auf Expertenwissen basierendes Konstrukt, das ausgehend von Literaturrechen, Expertenbefragungen etc. sukzessive entwickelt und kontinuierlich optimiert wird. Ob bzw. in welchen Teilen es sich mit welchen Einschränkungen später operationalisieren lässt, ist in weiteren Schritten systematisch zu prüfen (s. Kap. 3.2.2).

### 4.2.1 Abgrenzung des Modellgegenstands

Für diesen ersten Modellierungsschritt ist zunächst der Modellgegenstand im Detail zu klären. Das bedeutet neben der Auswahl des zu bearbeitenden Umweltproblems bzw. -konflikts vor allem auch die Festlegung der Grenzen des darzustellenden Modells. Ökosysteme sind u. a. dadurch gekennzeichnet, dass zwischen ihren Bestandteilen wechselseitige Wirkungsbeziehungen bestehen. Bezogen auf das oben dargestellte generalisierte Modellkonzept bedeutet dies, dass jede Zustandsveränderung eines Betrachtungsobjekts, die durch einen einwirkenden Prozess ausgelöst wird, ihrerseits wiederum Auslöser für weitere Prozesse ist bzw. sein kann, die auf andere Betrachtungsobjekte wirken.

*Beispiel: In der landwirtschaftlichen Tierhaltung an die Tiere verabreichte Antibiotika oder ihre Metabolite gelangen über die tierische Ausscheidung direkt (im Falle der Weide- oder Freilandhaltung) oder indirekt über den Wirtschaftsdünger auf landwirtschaftlich genutzte Flächen. Hier besteht die Möglichkeit, dass sie oberirdisch z. B. in Gewässer weiterverfrachtet werden und dort z. B. Auswirkungen auf die Gewässerfauna und -flora haben oder als Uferfiltrat in anschließende Grundwasserleiter wandern. Ebenso können sie weiter in den Boden eindringen und dort von Bodenpartikeln absorbiert oder von Bodenlebewesen aufgenommen werden. Antibiotika oder ihre Metabolite können aber auch die Bodenschicht passieren und in Grundwasserleiter eindringen, die möglicherweise für die Trinkwassergewinnung genutzt werden.*

Bereits das hier nur grob skizzierte Beispiel der Wirkungspfade von in der Tierhaltung verwendeten Antibiotika macht die inhaltliche Komplexität bzw. den inhaltlichen Umfang deutlich, mit denen sich der Modellierer im Modellierungsprozess auseinandersetzen muss. Diese Komplexität ist der Gegenpol zum Ziel der Modellierung, einen medienübergreifenden Überblick über ein Umweltproblem bzw. einen Umweltkonflikt und dessen bestimmende Ursache-Wirkungsbeziehungen zu geben, der ebenso nachvollziehbar wie ausreichend detailliert ist. Um mit dieser Anforderung umzugehen und die Komplexität im erforderlichen Maß zu reduzieren, wurden die Analysemodelle im Vorhaben unter Berücksichtigung der folgenden Grundsätze ausgestaltet:

- ▶ Definition eines Modellierungsziels: Für eine gleichermaßen stringente und handhabbare Modellierung ist es erforderlich, ein eindeutiges Modellierungsziel zu definieren, das in einer relevanten Eigenschaft eines Umweltschutzguts besteht. Andere Umweltschutzgüter bzw. deren Eigenschaften, auf die im weiteren Ursache-Wirkungszusammenhang ebenfalls Auswirkungen entstehen können, werden im Modell nicht dargestellt bzw. nur angedeutet. Die Modellierungsziele für die beispielhaft bearbeiteten Modellgegenstände wurden im Vorhaben mit den Experten des Umweltbundesamtes abgestimmt.
- ▶ Begrenzung auf ausgewählte relevante Ursache-Wirkungsstränge: Um Modelle sehr spezifisch auf einzelne Umweltproblemzusammenhänge zuzuschneiden, wird die Komplexität der Modellierung gegenüber dem abzubildenden System bewusst reduziert. In der Modellierung werden nur die für den Modellgegenstand als relevant erachteten Ursache-Wirkungsstränge aufgenommen. Ursache-Wirkungsstränge, die zu anderen Umweltschutzgütern abzweigen oder die durch andere Einflussfaktoren ausgelöst werden, bleiben unberücksichtigt. Innerhalb des Vorhabens erfolgte die Auswahl der zu berücksichtigenden Ursache-Wirkungsbeziehungen ebenfalls unter Einbeziehung der Experten des Umweltbundesamts.
- ▶ Beschränkung auf nachgewiesene Ursache-Wirkungsbeziehungen: Idealerweise werden in einem Modell nur solche Elemente und Beziehungen abgebildet, die auch mit deterministischen oder statistischen Gesetzen in Verbindung zu bringen und damit wissenschaftlich erklärbar sind (Fränze 2001). Der Rolle des Analysemodells als Ausgangspunkt für die Recherche von vertiefenden Informationen zu Ursache-Wirkungsbeziehungen und möglichen Datenquellen entsprechend wird diese Anforderung an Modellierungen an dieser Stelle flexibler gehandhabt: Grundlage für die Modellierungen bilden wissenschaftliche Erklärungen oder zumindest Annahmen zu Ursache-Wirkungsbeziehungen und Abhängigkeiten, wie sie in der themenbezogenen Literatur formuliert sind bzw. z. B. in Expertenbefragungen gewonnen werden. Dies gilt insbesondere mit Blick auf den Modellzweck „Erklären“, wenn die Modellierung einen Beitrag leisten soll, um Zusammenhänge zu visualisieren und ggf. zu verifizieren. Erkenntnislücken können aber grundsätzlich zu Einschränkungen der Modellierungsmöglichkeiten führen.

Im Rahmen des Vorhabens wurde das generalisierte Modellkonzept für drei ausgewählte Modellgegenstände prototypisch angewendet: „Gesundheitsgefährdung durch Lärm, Luftschadstoffe und Hitze“, „Verlust wertvoller landwirtschaftlicher Böden durch Flächeninanspruchnahme“ und „Grünlandum-

bruch“. In Kap. 4 werden die Analysemodelle sowie die damit abgebildeten Themen ausführlicher vorgestellt. Zur Illustration der oben angeführten Grundsätze ist unten stehend das Analysemodell zum „Verlust wertvoller Böden durch Flächeninanspruchnahme“ abgebildet (s. Abbildung 15).

Bereits der Titel des Analysemodells benennt das Umweltschutzgut – den wertvolle landwirtschaftlichen Boden bzw. die Ertragsfunktion des Bodens – als Modellierungsziel. Weitere Auswirkungen in der Folge des Verlusts von wertvollen landwirtschaftlichen Böden werden in der Modellierung nicht mehr als Betrachtungsobjekte berücksichtigt. Hierzu können z. B. ökonomische Folgewirkungen für die Landwirtschaft wie schlechtere finanzielle Erträge, Veränderungen der Sortenwahl bis hin zur Aufgabe der landwirtschaftlichen Nutzung zählen.

Der Titel des Analysemodells benennt neben dem Ziel-Umweltschutzgut auch schon den Ursache-Wirkungsstrang, der mit der Modellierung bearbeitet werden soll, nämlich die Flächeninanspruchnahme als treibende Kraft des Verlusts wertvoller landwirtschaftlicher Böden. Inhalt der Modellierung wird es in diesem Fall sein, die Entstehung und die räumlichen Unterschiede der Flächeninanspruchnahme sowie deren Zusammentreffen mit wertvollen landwirtschaftlichen Böden in den Blick zu nehmen. Weitere Einflussfaktoren auf die Verfügbarkeit wertvoller landwirtschaftlicher Böden, z. B. der Verlust von Böden durch Wind- oder Wassererosion, der Verlust verfügbaren Bodens durch Stoffeinträge etc. sind nicht Teil der Modellierung. Mit Blick auf den Komplexitätsgrad werden in der Modellierung auch keine weiteren Umweltschutzgüter und deren Funktionen und Ökosystemdienstleistungen berücksichtigt, die durch die Flächeninanspruchnahme ebenfalls beeinträchtigt werden bzw. verloren gehen.

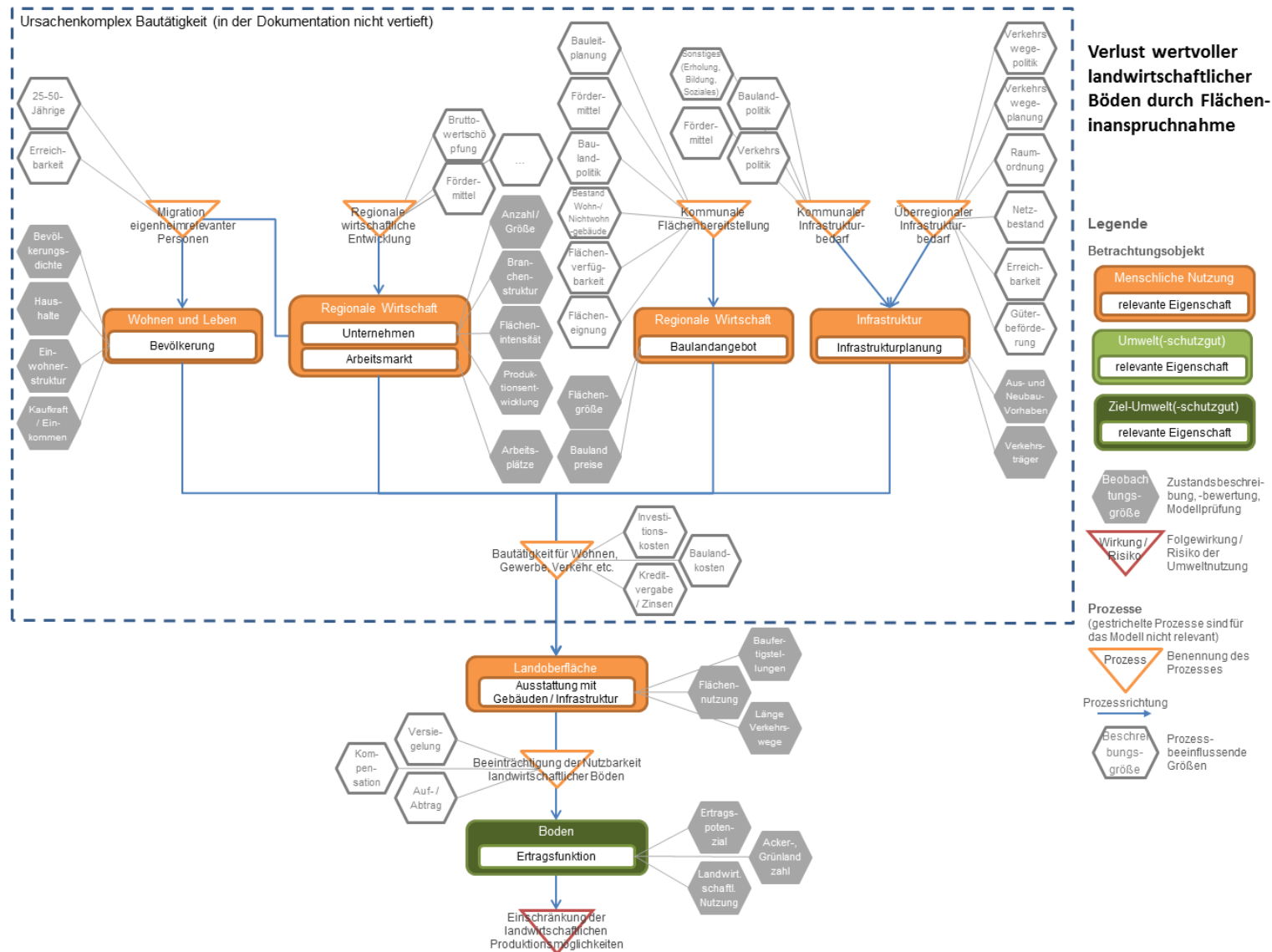
Für die inhaltliche Ausgestaltung dieses Analysemodells wurde vor allem auf Ergebnisse einschlägiger Forschungsvorhaben des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (z. B. Siedentop et al. 2009), auf Literatur zur Modellierung der Flächeninanspruchnahme (Distelkamp et al. 2009) sowie auf das Expertenwissen im Umweltbundesamt zurückgegriffen. Die aus den Recherchen abgeleiteten Betrachtungsobjekte und Prozesse sowie die zugeordneten Beobachtungs- bzw. Beschreibungsgrößen werden in den Quellen z. T. als Größen genannt, die in ihrem Zusammenspiel die Flächeninanspruchnahme statistischen Gesetzen folgend beeinflussen<sup>2</sup>. Die weiteren Größen werden zumindest als relevante Einflussfaktoren angeführt und wurden aus diesem Grund ebenfalls in das Analysemodell aufgenommen. Weitere Komponenten wurden im Rahmen der Abstimmung des Analysemodells mit dem Umweltbundesamt ergänzt.

---

<sup>2</sup> Die über statistische Analysen gewonnenen statistischen Zusammenhänge zwischen den in den Veröffentlichungen beschriebenen Größen werden für den Betrieb des auch kommerziell genutzten umweltökonomischen Modells Panta Rhei Regio verwendet und sind daher nicht öffentlich verfügbar.



Abbildung 15: Beispiel Analysemodell „Verlust wertvoller Böden durch Flächeninanspruchnahme“



Quelle: Bosch & Partner GmbH, eigene Darstellung



## 4.2.2 Dokumentation des Analysemodells

Eine Funktion der abstrakten Darstellung des Analysemodells ist es, einen Überblick über die Ursache-Wirkungsbeziehungen eines Modellgegenstands zu geben und die bekannten Wirkzusammenhänge transparent zu veranschaulichen. Gleichzeitig ist das Analysemodell der Ausgangspunkt für die weiteren Schritte der Modellierung: einerseits für die Entwicklung von Visualisierungen zu einem Modellgegenstand, andererseits für die DV-technische Umsetzung (s. Abbildung 3). Um diese Funktion erfüllen zu können, müssen das notwendige Expertenwissen, Informationen zu verfügbaren Geo-Daten und Methoden systematisch zusammengestellt werden. Diese Zusammenstellung dient auch dazu, aufgrund von Daten- und Informationslücken erforderliche Vereinfachungen oder Eingrenzungen des Analysemodells nachvollziehbar zu machen und abschließend entscheiden zu können, welche Visualisierungen fachlich noch zu akzeptieren sind. Bei der Literaturrecherche und der Einbeziehung des Fachwissens im UBA erwiesen sich die Analysemodelle als ein sehr hilfreiches Instrument, um der Fachdiskussion eine gute und übersichtliche Struktur zu geben.

### 4.2.2.1 Dokumentationsstruktur

Für die Dokumentation der den Analysemodellen zugrunde liegenden und für die Umsetzung relevanten Informationen wurde im Vorhaben eine tabellarische Struktur entwickelt (s. Tabelle 1; ein Beispiel für die Dokumentation findet sich in Abbildung 16). Auf der Ebene der den Betrachtungsobjekten bzw. Prozessen zugeordneten Beobachtungs- bzw. Beschreibungsgrößen werden darin die in Tabelle 1 dargestellten Inhalte dokumentiert. Über die beiden Felder „Kontext des Analysemodells“ sowie „Beobachtungsgröße / Beschreibungsgröße“ erfolgt die eindeutige Zuordnung zum Analysemodell. In den weiteren Feldern sind die detaillierten Informationen zu den Beobachtungs- bzw. Beschreibungsgrößen einzutragen.

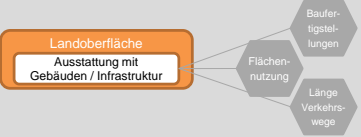
Für die exemplarisch zu bearbeitenden Themenstellungen hat sich dabei als pragmatischer Ansatz erwiesen, die Beschreibung auf diejenigen Komponenten des Analysemodells zu begrenzen, auf denen mit Blick auf die Datensituation tatsächlich der Fokus bei der Ausarbeitung des DV-technischen Modells bzw. der Visualisierungen liegen wird. Eine diesbezügliche Eingrenzung ist nach der intensiven Auseinandersetzung mit der jeweiligen Thematik bei der Erstellung des Analysemodells i. d. R. möglich und ist ggf. im Rahmen der Experteneinbindung abzustimmen. Die Eingrenzung ist schließlich im Analysemodell ggf. grafisch durch einen Rahmen und eine entsprechende Anmerkung zu kennzeichnen.

Tabelle 1: Dokumentationsstruktur des Analysemodells – Inhalte

| Merkmal                                 | Inhalt  |
|---|---|
| Kontext des Analysemodells:             | zu dokumentierendes Betrachtungsobjekt inkl. Beobachtungsgrößen bzw. zu dokumentierender Prozess inkl. Beschreibungsgrößen  |
| Beobachtungsgröße / Beschreibungsgröße: | Benennung der relevanten Größen bzw. Parameter  |
| Datenquelle, räumliche Auflösung:       | Nennung der relevanten Datenquelle(n)   |
| Erläuterungen                           | ausführliche Erläuterungen sowohl zum Ursache-Wirkungszusammenhang, zu den Hypothesen für die Modellbildung inkl. Erläuterungen zu möglichen Algorithmen, Bewertungsvorschlägen<br>Hinweise zu den Datenquellen bzw. Anmerkungen zur Datenverfügbarkeit |
| Literaturquelle:                        | im Rahmen der Literaturrecherche gesichtete und ausgewertete Quellen  |

| Merkmal          | Inhalt  |
|------------------|---|
| Ansprechpartner: | Experte(n) zum jeweiligen Betrachtungsobjekt, die während der Recherchen bereits kontaktiert wurden bzw. noch kontaktiert werden sollen |

Abbildung 16: Beispiel für die Dokumentation eines Betrachtungsobjekts

| Betrachtungsobjekt und relevante Eigenschaft: Landoberfläche – Ausstattung mit Gebäuden / Infrastruktur  |   |  |   |
|--|---|--|---|
|   |   |  |   |
| Flächennutzung   | <p><b>Erfassung:</b></p> <p>StBA: Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung, Kreise und kreisfreie Städte, seit 1992 vierjährlich, seit 2008 jährlich CORINE Land Cover (CLC), 1990, 2000, 2006, 2012, 25 Hektar Mindestkartierfläche Urban Atlas 2006, 2012; 1 Hektar Mindestkartierfläche (im städtischen Raum), sonst 5 Hektar</p> <p>ATKIS Basis DLM, M 1:10.000 (30.000)</p> <p>LBM-DE: Stand 2012, 1 Hektar Mindestkartierfläche</p> | <p>Goetzke R., Hoymann J. 2014: Flächeninanspruchnahme in Deutschland bis 2030 – Auswirkungen auf den Boden. Bodenschutz 3/2014, Erich Schmitt Verlag Berlin, 7 S.</p> <p>Hoymann J. 2013: Neuere Flächennutzungsdaten - Übersicht, Vergleich und Nutzungsmöglichkeiten. BBSR-Analysen KOMPAKT 02/2013, Bonn, 16 S.</p> <p>Keil M., Esch T., Divanis A., Marconcini M., Metz A., Ottinger M., Voinov S., Wiesner M., Wurm M., Zeidler J. 2015: Aktualisierung der Landnutzungs- und Landbedeckungsdaten CLC für das Jahr 2012 - „Backdating“ des DLM-DE vom Referenzjahr 2009 zurück auf das Jahr 2006. UBA Texte 36 / 2015, Dessau, 84 S.</p> | Dr. Roland Goetzke, Dr. Jana Hoymann – BBSR, Ref.I 5 – Verkehr und Umwelt |
| <p><b>Erläuterungen:</b></p> <p><u>Ursache-Wirkungszusammenhang, Ansätze und Hypothesen zur Modellbildung:</u></p> <p>Bezogen auf die Katasterfläche schlägt sich der Zuwachs an Gebäuden und Infrastrukturen in einer Veränderung der Siedlungs- und Verkehrsfläche nieder. Je höher der Zuwachs an Siedlungs- und Verkehrsfläche ist, desto wahrscheinlicher ist auch eine Inanspruchnahme hochwertiger landwirtschaftlicher Böden.</p> <p><u>Datenverfügbarkeit:</u></p> <p>Für die Abbildung der Veränderung der Siedlungs- und Verkehrsfläche stehen Datensätze aus unterschiedlichen Quellen zur Verfügung, die sich hinsichtlich ihrer Erfassungsmethodik und davon ausgehend auch hinsichtlich ihrer räumlichen, zeitlichen und inhaltlichen Auflösung unterscheiden.</p> <p>StBA: Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung: Datenbasis der Flächenerhebung ist das amtliche Liegenschaftskataster, aus dem die Daten sekundärstatistisch gewonnen werden. Informationen zu verschiedenen Flächennutzungen werden von der Gemeindeebene aufwärts für verschiedene administrative Ebenen aufbereitet. Bei Genesis online regional liegen Daten für die Gemeindeebene seit 2008, für die Kreisebene seit 1992 vor. Die Erhebungsgrundlage wird derzeit auf das amtliche Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS) umgestellt, womit langfristig auch eine Harmonisierung mit dem Datenbestand von ATKIS verbunden ist. Durch die Änderungen der Erhebungsgrundlage und -methode ist allerdings die Aussagekraft von Zeitreihen vor allem während der Umstellungsphase beeinträchtigt. Zukünftig wird eine Verbesserung von Zeitreihenanalysen und der länder-übergreifenden Nutzungsartenzuordnung erwartet (Hoymann 2013). Anhand der Daten kann die Veränderung der Flächengröße und -anteile der verschiedenen Nutzungsarten ermittelt werden. Aussagen zur räumlichen Verteilung der Flächeninanspruchnahme sind allerdings nicht möglich, da die Gebietseinheit der Gemeinden die kleinste räumliche Ebene ist.</p> |   |  |   |

Quelle: Bosch &amp; Partner GmbH, eigene Darstellung

#### 4.2.2.2 Inhalte der Dokumentation

##### Ursache-Wirkungszusammenhang, Ansätze und Hypothesen zur Modellbildung:

Einen wesentlichen Platz in der Dokumentation nimmt die Erläuterung von Ursache-Wirkungsbeziehungen zu den Betrachtungsobjekten und Prozessen ein. Die Tabellenstruktur bietet den Raum für die Dokumentation von inhaltlichen Recherchen und Expertenbefragungen. Neben der abstrakten Beschreibung des Ursache-Wirkungszusammenhangs geht es dabei insbesondere auch um Ansätze, für eine Quantifizierung bzw. Qualifizierung der Ursache-Wirkungsbeziehungen bezogen auf einzelne Beschreibungs- bzw. Beobachtungsgrößen, auf deren Basis sich das Analysemodell in eine Visualisierung umsetzen lässt.

Für eine Quantifizierung von Ursache-Wirkungsbeziehungen müssen Algorithmen bekannt sein, mit denen sich Prozesse unter Berücksichtigung der ihnen zugeordneten Beschreibungsgrößen mathematisch beschreiben lassen. Voraussetzung für die Anwendbarkeit von Algorithmen ist allerdings, dass sie tatsächlich Geltung für die zur Verfügung stehenden Datensätze besitzen.

*Beispiel: Der „Good practice guide on noise exposure and potential health effects“ (EEA 2010) enthält einen Ansatz für die Berechnung einer Gesamtlärmbelastung durch Straßen-, Schienen- und Fluglärm. Dieser beruht auf den Dosis-Wirkungsbeziehungen zur Belästigung durch den Lärm der einzelnen Verkehrsarten, die in dem Praxishandbuch für einen Wertebereich bis 75 dB angegeben sind (ebd.: 9 ff). Lärm-Daten gemäß der Lärmkartierung nach der EU-Umgebungslärm-Richtlinie<sup>3</sup> können in diesem Wertebereich für die Berechnung des Gesamtlärms herangezogen werden. Eine Gesamtlärmberechnung für höhere Lärm-Werte, z. B. auf der Grundlage von Messungen in Belastungssituationen, wäre auf der Grundlage dieser Algorithmen aber nicht zulässig.*

Eine Quantifizierung kann ggf. auch mittels neu zu entwickelnder Algorithmen durchgeführt werden. Voraussetzung hierfür ist, dass sich der Bedeutungs- / Einflusswert von Beobachtungs- bzw. Beschreibungsgrößen ermitteln lässt und daraus eindeutige Vorgaben für deren Gewichtung zur Abbildung eines Prozesses getroffen werden können.

Lassen sich Ursache-Wirkungsbeziehungen nicht mithilfe von Algorithmen quantifizieren, können sie mit unterschiedlichen Ansätzen qualifiziert werden. Eine Möglichkeit hierfür bieten z. B. ordinale Bewertungsklassen, die Überschreitung von Richt-, Grenz- oder Schwellenwerten oder die verbale Formulierung von mit Expertenwissen abgesicherten Hypothesen zu den Mechanismen von Ursache-Wirkungsbeziehungen (Prozess A beeinflusst Betrachtungsgröße B; je stärker Beschreibungsgröße C ausgeprägt ist, desto stärker ist die Wirkung von Prozess A). Auf dieser Grundlage sind aber nur vergleichende deskriptive Darstellungen möglich (in Region A ist Prozess stärker ausgeprägt als in Region B), aber keine weitere Modellierung der Auswirkungen auf die nachfolgenden Komponenten eines Analysemodells.

Das Analysemodell bietet eine geeignete Struktur, um vertiefende Informationen zur Qualifizierung oder Quantifizierung spezifischer Ursache-Wirkungsbeziehungen systematisch zu dokumentieren. Den Beschreibungs- bzw. Beobachtungsgrößen zugeordnet sind dabei z. B. folgende Informationen zu erfassen:

- ▶ Hinweise auf konkrete Algorithmen bzw. Datenverarbeitungsmethoden unter Angabe der einschlägigen Literaturquellen;
- ▶ Hinweise auf in anderen Kontexten vorgenommene Modellierungen und die darin Verwendung findenden Parameter und Ursache-Wirkungsbeziehungen sowie ggf. zugrunde liegende Untersuchungen zur Relevanz unterschiedlicher Einflussfaktoren;
- ▶ Hinweise auf Schwellenwerte, die eine Kategorisierung der zu verwendenden Datensätze ermöglichen. Diese Schwellenwerte können dabei sowohl Richt-, Grenz-, Ziel-, Warnwerte, Empfehlungen etc. umfassen als auch Bezüge zu den Ergebnissen wissenschaftlicher Untersuchungen oder zu rechtlich nicht verbindlichen Richtlinien herstellen (z. B. Dosis-Wirkungsrelationen aus epidemiologischen Studien zu Lärm- oder Hitzebelastung, WHO-Richtlinien);

Hinweise auf bestehende Bewertungssysteme für den darzustellenden Sachverhalt, z. B. Verfahren zur Bildung von Luftqualitätsindizes für kurz- oder langfristige Luftbelastungen, Bewertungsschema zum Ertragspotenzial des Bodens.

---

<sup>3</sup> Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm

## Datenverfügbarkeit

Für die Ableitung von Visualisierungen sind darüber hinaus vor allem detaillierte Informationen zur Datensituation der Beschreibungsgrößen bzw. Beobachtungsgrößen von Prozessen bzw. Betrachtungsobjekten relevant. Das Analysemodell bietet durch die Zuordnung relevanter Einflussfaktoren bzw. Parameter eine Struktur für eine systematische Datenrecherche, die im Ergebnis die verwendbaren Datensätze sowie Datenquellen sowohl für die Beobachtungsgrößen der Betrachtungsobjekte als auch für die Operationalisierung der Beschreibungsgrößen benennt. Grundsätzlich kommen für die Entwicklung von Visualisierungen alle Daten in Frage, die als Geo-Daten einen direkten Raumbezug besitzen bzw. denen ein Raumbezug zugewiesen werden kann. Damit ihre Verwendungsmöglichkeiten für den weiteren Visualisierungsprozess eingeschätzt werden können, werden sie in der Dokumentation hinsichtlich der in Tabelle 2 dargestellten Merkmale beschrieben.

Tabelle 2: Beschreibung von Daten in der Dokumentation des Analysemodells

| Merkmal                         | Inhalt  |
|---------------------------------|---|
| Datenquelle                     | Bezeichnung der datenhaltenden Institution, des Erhebungsprogramms bzw. des konkreten Datensatzes   |
| Raumbezug / räumliche Auflösung | Raum, für den die Daten zur Verfügung stehen (z. B. für ganz Deutschland oder nur für Teilräume des Landes, die dann im Einzelnen benannt werden) / Auflösung, in der die Daten zur Verfügung stehen, z. B. Rastergröße, Ebene der statistischen Gebietseinheiten (z. B. Gemeinde, Kreise und kreisfreie Städte etc.) |
| Zeitbezug                       | Zeitraum bzw. Zeitpunkte (z. B. einzelne Jahre), für den die Daten zur Verfügung stehen sowie Turnus der Datenerfassung bzw. der Datenbereitstellung (z. B. jährlich, monatlich, täglich)   |
| Sonstige Erläuterungen          | Informationen zur Erhebungs- und Verarbeitungsprozess, mögliche Einschränkungen der Interpretierbarkeit oder der Verfügbarkeit  |

Die Informationen zu den Daten und Datenquellen werden dabei ohne Beschaffung und Sichtung der Daten dokumentiert. Die Dokumentation hat damit den Stellenwert einer begründeten Einschätzung der Datenverfügbarkeit. Eine abschließende Prüfung und Beurteilung der Qualität und Eignung von Datensätzen ist regelmäßig erst dann möglich, wenn die konkreten Datensätze zur Sichtung vorliegen.

## 4.3 Visualisierungskonzept

Das Visualisierungskonzept dient dazu, den Ableitungsprozess von Visualisierungsgegenständen zu strukturieren und zu dokumentieren. Es soll die verschiedenen Visualisierungsmöglichkeiten zu einem Modellgegenstand aufzeigen und die Grundlage schaffen, um die letztlich zu realisierenden Visualisierungen auszuwählen. Der eine Ausgangspunkt für diesen Prozess ist die Zusammenstellung des Expertenwissens zu Ursache-Wirkungsbeziehungen für die Modellgegenstände sowie die Prüfung der Verfügbarkeit von geeigneten Daten und Methoden in der Dokumentation des Analysemodells. Der zweite Startpunkt sind die in Kap. 2.2 genannten Modellzwecke „Beschreiben“, „Erklären“, „Konflikte / Risiken identifizieren“, die als Richtschnur und Orientierungshilfe dienen.

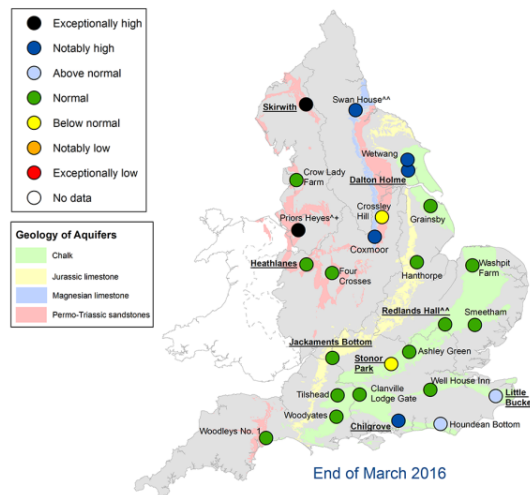
### 4.3.1 Grundsätzliche Visualisierungsoptionen

Die folgenden Beispiele umreißen die Möglichkeiten, die für die Visualisierung dieser verschiedenen Modellzwecke in der Praxis üblich sind. Sie werden jeweils kurz hinsichtlich ihres Darstellungsziels,

der verwendeten Daten und des für die Modellierung angewendeten Werkzeugs vorgestellt. Im Anschluss daran werden die daraus für das Visualisierungskonzept gezogenen Schlussfolgerungen dargestellt (s. Kap. 3.3.1.4).

#### 4.3.1.1 Visualisierungsbeispiele zum Modellzweck „Beschreiben“

Abbildung 17: Grundwasserstände



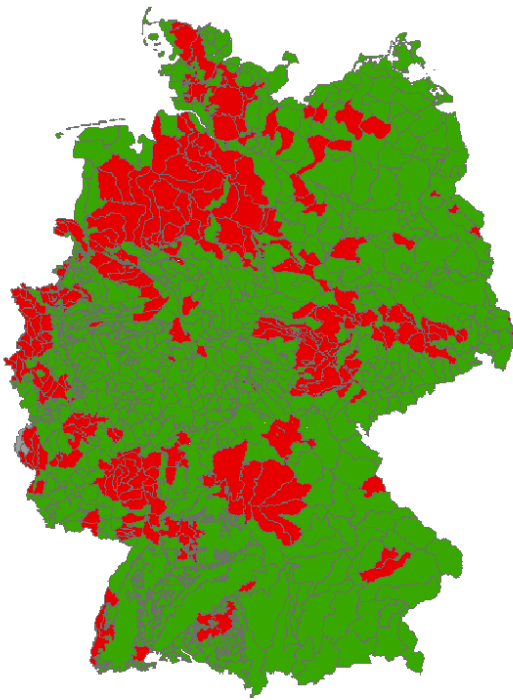
**Darstellungsziel:** (Umwelt-) Zustandsdaten räumlich abbilden bzw. bewerten

**Vorliegende Daten:** punktuelle Mess- oder Beobachtungsergebnisse

**Werkzeuge der Modellierung:** ggf. Kategorisierung, ggf. Bewertung, Darstellung als Punkte im Raum

verändert nach: EA 2016: 10

Abbildung 18: Nitratbelastung des Grundwassers



BKG 2016

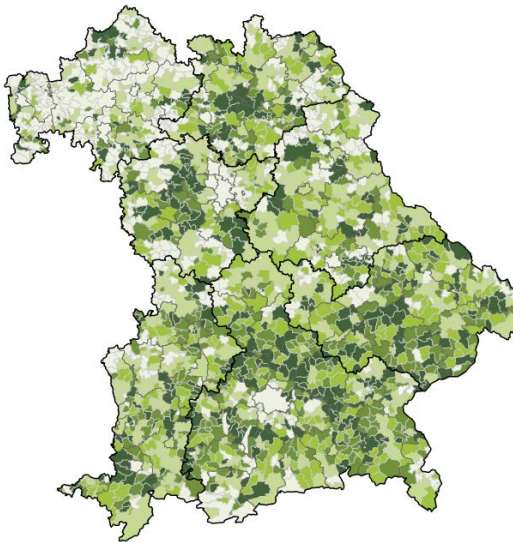
**Darstellungsziel:** (Umwelt-) Zustandsdaten räumlich abbilden bzw. bewerten

**Vorliegende Daten:** punktuelle Mess- oder Beobachtungsergebnisse

**Werkzeuge der Modellierung:** Interpolation, Mittelung, Übernahme von einzelnen Werten als repräsentative Werte, ggf. Kategorisierung; ggf. Bewertung, Darstellung als Flächen im Raum

Für jeden Grundwasserkörper muss es mindestens 1 Messstelle geben; wird der Grenzwert von 50 mg/l überschritten und repräsentieren die Messstellen die dominierenden Nutzungen, wird der Zustand als schlecht klassifiziert.

Abbildung 19: Flächeninanspruchnahme



© Bayerisches Landesamt für Statistik

BayLfStaD 2016

**Darstellungsziel:** Belastungsfaktoren als potenzielle Ursachen oder Risikofaktoren räumlich abbilden und ggf. bewerten

**Vorliegende Daten:** flächenhaft erfasste Mess- oder Beobachtungsergebnisse von Belastungsfaktoren

**Werkzeuge der Modellierung:** ggf. Kategorisierung, ggf. Bewertung, Darstellung als Flächen im Raum



Abbildung 20: Nationalparke in Deutschland



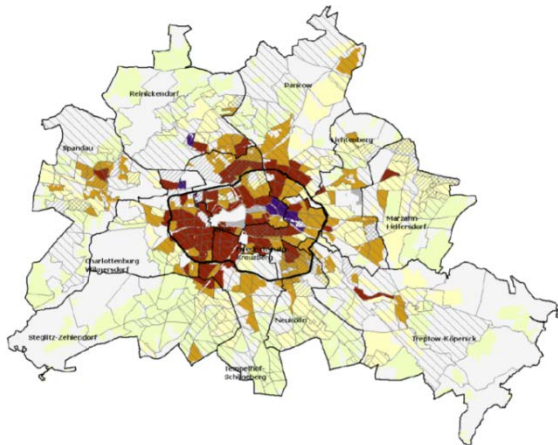
BfN 2016

**Darstellungsziel:** (Umwelt-) Zustandsdaten räumlich abbilden bzw. bewerten

**Vorliegende Daten:** (Schutz-)Gebiets-kategorisierung und -abgrenzung

**Werkzeuge der Modellierung:** ggf. Kategorisierung, ggf. Bewertung, Darstellung als Flächen im Raum

Abbildung 21: Mehrfachbelastung durch Lärm, Luft, Bioklima, Freiflächenversorgung



Lakes & Klimeczek 2011: 43

**Darstellungsziel:** Belastungsfaktoren als potenzielle Ursachen oder Risikofaktoren räumlich abbilden und ggf. bewerten

**Vorliegende Daten:** punkt- oder flächenhafte Mess- oder Beobachtungsergebnisse zu Belastungsfaktoren

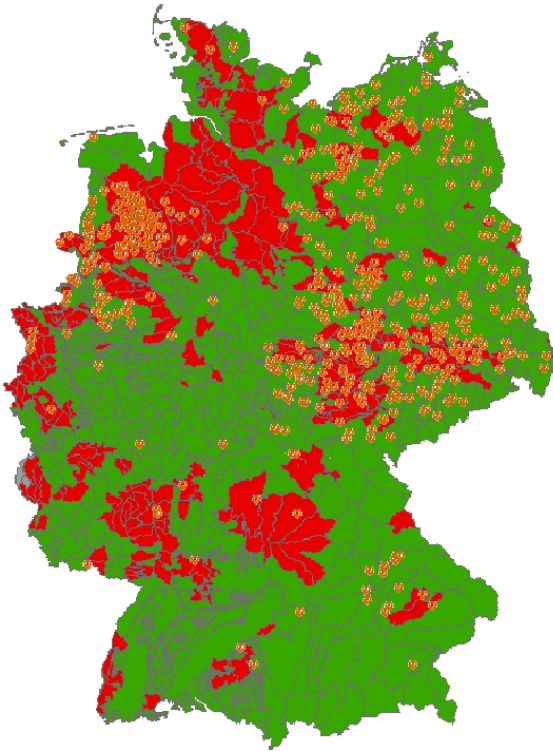
**Werkzeuge der Modellierung:** Zusammen-  
schau / Verrechnung von Daten, die sich auf  
eine dezidierte Raumeinheit beziehen, Bildung  
von integrierten Bewertungsklassen

Die Faktoren Lärm- und Luftbelastung, Bioklima und Freiflächenversorgung werden auf lokaler Ebene überlagert um Rückschlüsse auf Mehrfachbelastungen zu ziehen.



#### 4.3.1.2 Visualisierungsbeispiele zum Modellzweck „Erklären“

Abbildung 22: Ursachen für Nitratbelastung des Grundwassers



BKG 2016

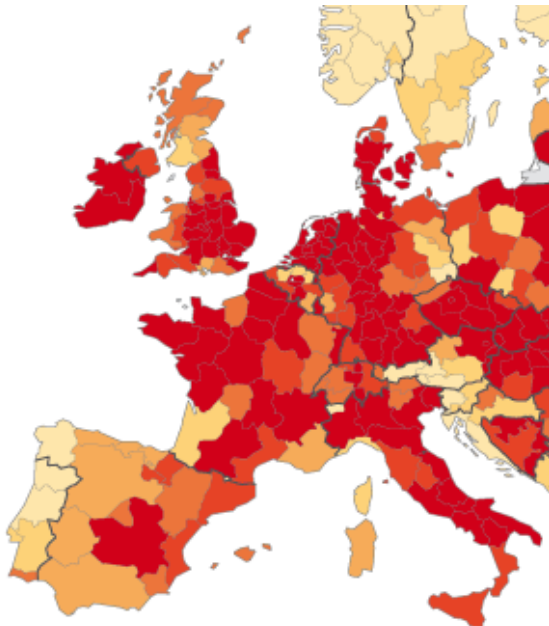
**Darstellungsziel:** Ursachenanalyse

**Vorliegende Daten:** flächenhafte Mess- oder Beobachtungsergebnisse zum Umweltzustand, punktuelle oder flächenhafte Mess- oder Beobachtungsergebnisse zu Ursachenfaktoren

**Werkzeuge der Modellierung:** ggf. Kategorisierung, kartografische Zusammenschau von Zustandsdaten und Ursachenfaktoren, Darstellung der Überlagerung

Nitratbelastung von Grundwasserkörpern überlagert mit Standorten von Betrieben der Intensivtierhaltung und der Aquakultur

Abbildung 23: Verlust landwirtschaftlicher Flächen durch Überbauung



BBSR 2016

**Darstellungsziel:** Ursachenanalyse

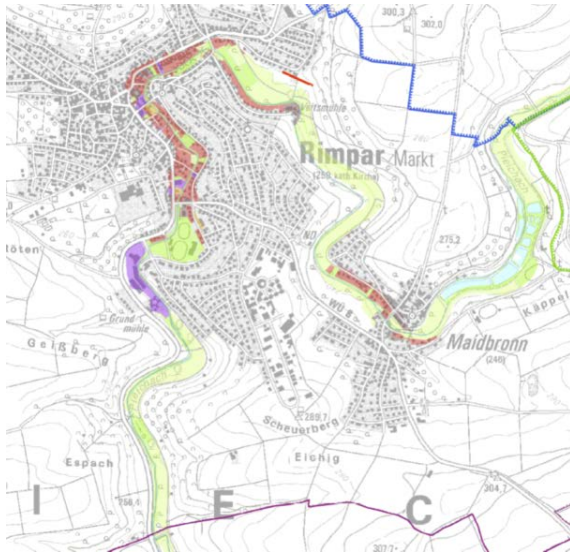
**Vorliegende Daten:** flächenhafte Mess- oder Beobachtungsergebnisse zum Umweltzustand, punktuelle oder flächenhafte Mess- oder Beobachtungsergebnisse zu Ursachenfaktoren

**Werkzeuge der Modellierung:** ggf. Kategorisierung, „echte“ Verschneidung von Zustandsdaten und Ursachenfaktoren, Generierung neuer Flächenkategorien

Dargestellt ist der Anteil der landwirtschaftlichen Fläche an der Inanspruchnahme für bebaute Fläche.

#### 4.3.1.3 Visualisierungsbeispiele zum Modellzweck „Risiken / Konflikte identifizieren“

Abbildung 24: Bauliche Nutzung in Hochwassergefahrengebieten



Regierungen von Unterfranken, Oberfranken, Mittelfranken und der Oberpfalz 2010

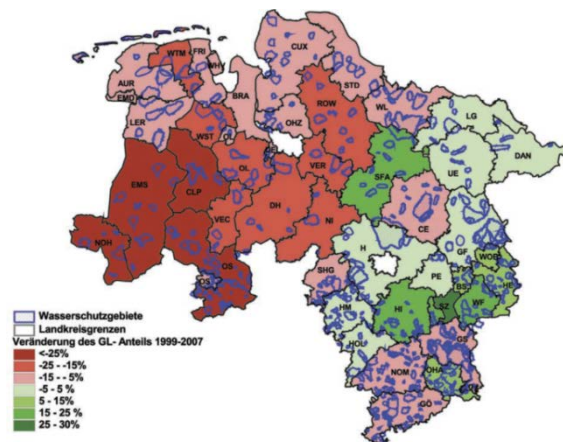
**Darstellungsziel:** Nutzungskonflikte

**Vorliegende Daten:** flächenhafte Mess- oder Beobachtungsergebnisse zum Umweltzustand, punktuelle oder flächenhafte Mess- oder Beobachtungsergebnisse zu Nutzungen, die nachweislich Ursache sind, für die Veränderung des Umweltzustandes

**Werkzeuge der Modellierung:** ggf. Kategorisierung, kartografische Zusammenschau von Zustandsdaten und Nutzungsdaten, Darstellung der Überlagerung

Es werden verschiedene Flächennutzungskategorien mit den ausgewiesenen Hochwassergefahrenzonen überlagert.

Abbildung 25: Grünlandumbruch und Wassergewinnungsgebiete



NLWKN 2010: 28

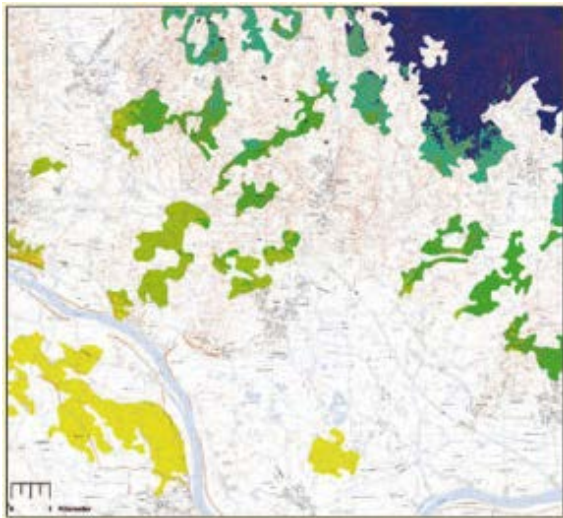
**Darstellungsziel:** Nutzungskonflikte

**Vorliegende Daten:** flächenhafte Mess- oder Beobachtungsergebnisse zum Umweltzustand, punktuelle oder flächenhafte Mess- oder Beobachtungsergebnisse zu Nutzungen, die nachweislich Ursache für die Veränderung des Umweltzustandes sind

**Werkzeuge der Modellierung:** ggf. Kategorisierung, kartografische Zusammenschau von Zustandsdaten und Nutzungsdaten, Darstellung der Überlagerung

Die Entwicklung des Grünlands auf Landkreisebene wird mit dem Vorkommen von Wasserschutzgebieten überlagert.

Abbildung 26: Anbaurisiko der Fichte 1971-2000



Beck et al. 2012: 22

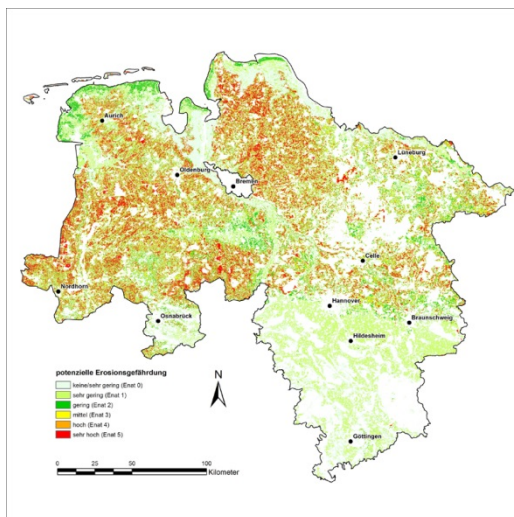
**Darstellungsziel:** Risikoabschätzung für zu erwartende nachteilige Umweltveränderungen

**Vorliegende Daten:** punkt- oder flächenhafte Mess- oder Beobachtungsergebnisse zu Belastungsfaktoren, punkt- oder flächenhafte Mess- oder Beobachtungsergebnisse zu relevanten Ökosystemeigenschaften für die Bewertung der Empfindlichkeit

**Werkzeuge der Modellierung:** „echte“ Verschneidung von Informationen zu Belastungsfaktoren und Ökosystemempfindlichkeiten, Festlegung von kritischen Belastungsschwellen, Generierung neuer Flächenkategorien (Risiko-kategorien)

Daten zum Vorkommen von Fichtenflächen werden mit Ergebnissen aktueller Klimaanalysen und von Klimaprojektionen überschritten. Es wird ein kritischer Schwellenwert für den Fichtenanbau ermittelt. Es werden Bewertungen zum Anbaurisiko für die aktuellen und vorhersehbaren Klimabedingungen vorgenommen.

Abbildung 27: Potenzielle Winderosionsgefährdung



LBEG 2016

**Darstellungsziel:** Risikoabschätzung für zu erwartende nachteilige Umweltveränderungen

**Vorliegende Daten:** punkt- oder flächenhafte Mess- oder Beobachtungsergebnisse zu Belastungsfaktoren, punkt- oder flächenhafte Mess- oder Beobachtungsergebnisse zu relevanten Ökosystemeigenschaften für die Bewertung der Empfindlichkeit

**Werkzeuge der Modellierung:** „echte“ Verschneidung von Informationen zu Belastungsfaktoren und Ökosystemempfindlichkeiten, ausgehend von Ökosystemeigenschaften Modellierung von Prozessen, welche die Empfindlichkeit und damit die Folgen der Einwirkungen beeinflussen

Die Erosionsgefährdung durch Wind wird aus der Bodenerodierbarkeit, dem Jahresmittel der Windgeschwindigkeit, der vorherrschenden Windgeschwindigkeit und dem Vorhandensein von Windhindernissen berechnet.

#### 4.3.1.4 Schlussfolgerungen zur Datenverwendung und -verarbeitung

Für den Modellzweck „Beschreiben“ können Geo-Daten zu einem einzelnen oder zu mehreren Sachverhalten der Inhalt der Visualisierung sein, wobei entweder Geo-Daten zum Umweltzustand oder Geo-Daten zu Belastungsfaktoren für die Umwelt dargestellt werden können. Wesentliches Kennzeichen des Modellzwecks „Beschreiben“ ist es aber, dass die Ebenen von Zustand und Belastung / Ursache nicht kombiniert werden.

In einfachen Anwendungsfällen werden Geo-Daten, z. B. Mess- oder Erhebungsergebnisse, unmittelbar in Karten überführt. Voraussetzung ist, dass die gemessenen oder beobachteten Daten dazu geeignet sind, den jeweiligen Visualisierungsgegenstand abzubilden. Es ist dabei zu berücksichtigen, dass auch hinter diesen vermeintlich „einfachen“ Daten – Umweltdaten und sozioökonomischen Daten gleichermaßen – mitunter komplexe Modellkonzepte stehen können (z. B. Festlegungen zur konkreten Parameterdefinition bei Datenerhebungen, zur Probenauswahl oder auch zur Probenaufbereitung und -auswertung).

In anderen Anwendungsfällen werden Mess- oder Erhebungsergebnisse in einer weiter verarbeiteten Form dargestellt. Dem Modellzweck „Beschreiben“ werden hierbei auch Visualisierungen zugeordnet, in denen Informationen zu mehreren Parametern, z. B. Zustand unterschiedlicher Umweltschutzgüter, Auftreten von unterschiedlichen Belastungsfaktoren, kartografisch (s. u.) oder in berechneter Form überlagert werden. Für die Datenverarbeitung kommen dabei im Wesentlichen folgende Werkzeuge zum Einsatz:

- ▶ Kategorisierung: Bildung von Klassen anhand von differenzierenden Merkmalen; die Klassenbildung kann anhand von nicht bewerteten sachlichen Merkmalen (z. B. Nominalskala) oder anhand von bewerteten Merkmalen erfolgen. Die Bewertung kann dabei quantitativ aus der gegebenen Wertemenge abgeleitet werden (z. B. mithilfe von Perzentilen). Eine andere Möglichkeit besteht in der Verwendung von festen Bewertungsmaßstäben (z. B. Richtwerte, Grenzwerte). Im Zuge der Berechnungen werden dabei Übergänge von kardinalen zu ordinalen Skalierungen vollzogen. Dies erfolgt insbesondere dann, wenn sich die Relationen zwischen Modellkomponenten nicht mehr mit eindeutigen und wissenschaftlich konsensfähigen mathematischen Formeln beschreiben lassen, sondern Skalierungen auf der Grundlage von Expertenwissen definiert werden.
- ▶ Interpolation: Aus vorliegenden Werten für einzelne Einheiten werden mithilfe von standardisierten Berechnungsverfahren Werte für andere Einheiten erzeugt. Die Interpolation kann sowohl zeitlich (Vervollständigung von Zeitreihen) als auch räumlich (Generierung von flächenbezogenen Daten auf der Grundlage von punktuellen Messergebnissen, z. B. Modellierung der Rasterwerte der Luftschadstoffkonzentration auf der Grundlage der Ergebnisse von Luftmessstationen) vorgenommen werden.
- ▶ Mittelung: Bildung des arithmetischen Mittels aus den Werten der innerhalb eines Gebietes gelegenen Teilflächen, Linien oder Punkte.
- ▶ Repräsentative Werte: Verwendung eines einzelnen repräsentativen Messergebnisses für die Bewertung größerer Raumeinheiten.
- ▶ Mathematische Funktionen: mathematische Weiterverarbeitung von Eingangsdaten unter Anwendung von Funktionen, z. B. aus bekannten Dosis-Effekt-Beziehungen.

Kennzeichnend für Visualisierungen zu den Modellzwecken „Erklären“ sowie „Konflikte / Risiken identifizieren“ ist es, dass einerseits Geo-Daten zu Parametern für den Umweltzustand, z. B. für die Bewertung der Empfindlichkeit von Ökosystemen, und andererseits Geo-Daten für Belastungsfaktoren überlagert werden. Um zu untersuchen, warum Belastungsfaktoren regional unterschiedlich ausgeprägt sind, können diese auch mit unterschiedlichen sozio-ökonomischen Geo-Daten überlagert werden. Für Datenaufbereitungen bzw. Darstellungen für diese Modellzwecke gelangen häufig folgende Werkzeuge zum Einsatz:



- ▶ Kartografische Überlagerung: gemeinsame kartografische Darstellung von zwei oder mehr Parametern, die zueinander in einer Ursache-Wirkungsbeziehung stehen, z. B. zur visuellen Analyse der räumlichen Verteilung von Zustandsdaten und relevanten Einflussfaktoren (vgl. Abbildung 22)
- ▶ GIS-technische Verarbeitung: Verwendung GIS-technischer Operationen zur Generierung neuer Raumeinheiten ausgehend von Rauminformationen von zwei oder mehr Parametern, die zueinander in einer Ursache-Wirkungsbeziehung stehen, z. B. Verschneidung (intersect) oder Vereinigung (union) von Zustandsdaten und relevanten Einflussfaktoren.

Diese Überlagerungen greifen in aller Regel auf Datensätze zu, die vorbereitend bereits einer Verarbeitung mit einem der unter Modellzweck „Beschreiben“ angeführten Werkzeuge unterzogen wurden.

#### 4.3.2 Ableitung von themenbezogenen Visualisierungsmöglichkeiten

Das Spektrum der Beispiele von Visualisierungen zu den einzelnen Modellzwecken macht deutlich, dass zu jedem Modellgegenstand grundsätzlich eine Vielzahl an Visualisierungsmöglichkeiten denkbar ist. Der Modellzweck „Beschreiben“ umfasst letztlich die singuläre Darstellung der Parameter, die einem Modellgegenstand zugeordnet werden können. Für die Modellzwecke „Erklären“ und „Konflikte / Risiken identifizieren“ könnten in der Theorie alle denkbaren Kombinationen von Parametern, die zueinander in einer Ursache-Wirkungsbeziehung stehen, realisiert werden. Hinzu kommt, dass für eine Vielzahl an Parametern unterschiedliche Darstellungsmöglichkeiten bestehen: Veränderungen können beispielsweise zwischen unterschiedlichen Zeitpunkten, als gleitendes Mittel, als prozentuale oder als absolute Veränderung etc. dargestellt werden. Ziel des Visualisierungskonzepts ist es, aus dieser Fülle theoretischer Möglichkeiten die Auswahl derjenigen Visualisierungsgegenstände auszuwählen, die für den jeweiligen Zweck (z. B. Kommunikation, z. B. Ursachenanalyse) am sinnvollsten sind.

Dazu werden zunächst die Visualisierungsmöglichkeiten zusammengestellt, die ausgehend von den zur Verfügung stehenden Daten und Methoden für die verschiedenen Modellzwecke möglich sind. Grundsätzlich gilt, dass für die Umsetzung der abstrakten Analysemodelle in Visualisierungen Geo-Daten eine notwendige Voraussetzung sind. Im Zuge dieser Zusammenstellung wird sich daher in aller Regel zeigen, welche Komponenten des Analysemodells bzw. welche (begrenzten) Ausschnitte des Modells tatsächlich mittels Geo-Daten-visualisiert werden können. Als Werkzeug für die Dokumentation der Visualisierungsmöglichkeiten dient die folgende Tabelle 3. Ein Beispiel für eine Dokumentation von Modellzweck und Gegenstand findet sich in Abbildung 28.

Tabelle 3: Dokumentationsstruktur der Visualisierungsmöglichkeiten

| Merkmal                                      | Inhalt   |
|--|--|
| Hypothese(n)                                 | hypothetische Beschreibung des mit der Modellierung abzubildenden Umweltzustands bzw. Umweltproblems                                   |
| Bezug Analysemodell:                         | Betrachtungsobjekt(e) bzw. Prozess(e), die für den Modellgegenstand dargestellt und ggf. verarbeitet werden                            |
| Werkzeug der Visualisierung / Modellbildung: | Art der Verarbeitung der Daten des Betrachtungsobjekts bzw. Prozesses  |
| Parameter:                                   | Nennung der Parameter, die für die Modellierung des Modellgegenstands Verwendung finden  |
| Bewertung / Interpretation:                  | Hinweise für eine ggf. notwendige Bewertung der eingehenden Daten bzw. Hinweise für die Interpretation der Ergebnisse der Modellierung |

Abbildung 28: Beispiel für die Dokumentation der Visualisierungsmöglichkeiten

**Modellzweck „Risiken / Konflikte identifizieren“****Modellgegenstand „Siedlungsdynamik in Regionen mit wertvollen Böden“**

|  |   |
|--|---|
| Hypothese(n)                                 | Die Bodenqualität wird bei der Entwicklung von Siedlungsflächen grundsätzlich wenig berücksichtigt. In Regionen mit wertvollen Böden besteht bei einer hohen Siedlungsdynamik ein besonders hohes Risiko des Verlusts hochwertiger Böden.   |
| Bezug Analysemodell:                         | <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid orange; padding: 5px; margin-right: 10px; text-align: center;"> <b>Landoberfläche</b><br/> Ausstattung mit<br/> Gebäuden / Infrastruktur </div> <div>Betrachtungsobjekt Landoberfläche -<br/>Ausstattung mit Gebäuden / Infrastruktur</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid green; padding: 5px; margin-right: 10px; text-align: center;"> <b>Boden</b><br/> Ertragsfunktion </div> <div>Zielbetrachtungsobjekt<br/>Boden – Ertragsfunktion</div> </div> |
| Werkzeug der Visualisierung / Modellbildung: | Verschneidung von Informationen auf der Ebene von Gebietseinheiten (Gemeinden bzw. Landkreise und kreisfreie Städte)  |
| Parameter:                                   | <u>Betrachtungsobjekt Landoberfläche - Ausstattung mit Gebäuden / Infrastruktur</u><br>Siedlungs- und Verkehrsfläche – Dynamik der Siedlungsentwicklung bezogen auf Gemeinden bzw. Landkreise (vgl. Modellgegenstand „Veränderung der für Siedlung und Infrastrukturen genutzten Bodenfläche“)  |
|  | <u>Zielbetrachtungsobjekt Boden – Ertragsfunktion</u><br>Ackerbauliches Ertragspotenzial (Müncheberger Soil Quality Rating) (eingeschränkt durch Begrenzung auf ackerbaulich genutzte Fläche zum Zeitpunkt der Kartenerstellung 2011)<br>Bodenzahl<br>Alternativ: Acker-, Grünlandzahl  |
| Bewertung / Interpretation:                  | Je höher die Siedlungsdynamik in Gebieten mit fruchtbaren landwirtschaftlichen Böden ausgeprägt ist, desto größer ist das Risiko, dass diese Flächen auch in Anspruch genommen werden.  |

Quelle: Bosch &amp; Partner GmbH: eigene Darstellung

## 4.4 DV-technisches Umsetzungskonzept

### 4.4.1 Verwendete DV-technische Modelle und ihr Zusammenspiel

Die DV-technische Modellierung erfolgt der allgemein üblichen Vorgehensweise zur Erstellung von modernen, komplexen DV-Systemen entsprechend konsequent objektorientiert. Das heißt, die zu verarbeitenden DV-Objekte werden in ihrem Zusammenspiel von Daten und Funktionen betrachtet. Auch eine Visualisierung (wie in Kap. 2.1 definiert) ist das Zusammenspiel von Geo-Daten und den Verarbeitungsfunktionen (in diesem Fall Visualisierungsfunktionen). Die zu visualisierenden Geo-Daten können über Verarbeitungsfunktionen aus anderen Geo-Daten erzeugt werden.

Der objektorientierten Herangehensweise folgend, wird die DV-technische Modellierung auf zwei Grundpfeiler gestellt:

#### Methoden zur funktionalen Umsetzung des Visualisierungskonzepts

In Kap. 3.3 wurden ausführlich die fachlichen Aspekte für grundsätzliche Modellierungsoptionen an Visualisierungsbeispielen zu den einzelnen Modellzwecken erläutert. Dabei wurden sowohl notwendige Verarbeitungen von Geo-Daten als auch die Art und Weise ihrer Visualisierungen fachlich-zweckorientiert ausgearbeitet: welche Daten werden wie verarbeitet, wie sind die Ergebnisse zu interpretieren und ggf. weiterzuverarbeiten und welche Ursache-Wirkungsbeziehungen werden auf diese Weise visualisiert. Im DV-technischen Umsetzungskonzept wird darauf aufsetzend zusammengestellt, wie diese Funktionalitäten durch Verwendung eines GIS allgemeingültig und nachhaltig erstellt und bereitgestellt werden können (s. Kap. 3.4.2.1).

### Methoden zum Management der Geo-Daten:

Durch die Visualisierung wird eine Vielzahl von Geo-Daten verarbeitet und erzeugt, die zwar in ihrer Entstehung auseinander hervorgegangen sein können, im Ergebnis aber singulär ohne Bezug zu einem anderen Datensatz stehen. In Kap. 3.4.2.2 werden die Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von GIS für das Management der Geo-Daten aufgezeigt. Da das Datenmanagement in den Projekten oftmals nur sekundär oder gar nicht im Fokus steht, entsteht mittel- und langfristig eine ungeordnete Sammlung an Geo-Daten. Es entstehen Inkonsistenzen durch Mehrfacherfassung und -verwaltung derselben Datensätze. In aller Regel gilt: Je häufiger Visualisierungen vorgenommen werden, desto unübersichtlicher wird das Datenmanagement.

Allgemein üblich werden DV-Systeme konzipiert, indem mittels eines UML-Anwendungsfalldiagramms die im System zu verarbeitenden Prozesse und Prozessketten analysiert werden. Auf dieser Grundlage werden UML-Klassen- und Zustandsdiagramme ausgearbeitet. Diese Vorgehensweise ist der Standard beim Entwurf von DV-Lösungen (vgl. INSPIRE – D2.6 – Methodology). Ein Ziel des Vorhabens ist es, Umweltprozesse zu erfassen und Ursache-Wirkungsbeziehungen darzustellen. Die Verknüpfungen und Beziehungen der Betrachtungsobjekte und Umweltprozesse werden dazu in Analysemodellen ausgearbeitet. Damit ist in den Analysemodellen bereits vorgezeichnet, welche Daten auseinander hervorgehen bzw. im Sinne von Ursache-Wirkungsbeziehungen aufeinander verweisen. Aus diesem Grund ist es naheliegend, die zu erstellenden Klassendiagramme direkt aus den Analysemodellen abzuleiten und keine Anwendungsfalldiagramme als Zwischenschritt zu erzeugen.

Klassendiagramme spezifizieren und dokumentieren die Struktur der Daten, die verarbeitet werden sollen. Sie sind die Basis für die weitere DV-technische Verarbeitung der Daten. Klassendiagramme sind immer dann unverzichtbar, wenn die Verarbeitung und Verwaltung von Objekten mit vielfältigen Beziehungen untereinander umgesetzt werden soll. Zum besseren Verständnis werden in Kap. 3.4.3.1 die Begriffe und Notationsregeln von UML-Klassendiagrammen erläutert.

Es gibt keine Standards, um ökosystemare Modellansätze in Klassendiagramme zu überführen. Deshalb hat Rudolf (2016) mit dem envVisieren eine Modellierungsmethode für die Beschreibung von Umweltinformationssystemen ausgearbeitet, die auf die Beschreibung der Prozesse und Prozessketten im Ökosystem ausgerichtet ist. Diese auf UML-Klassendiagrammen fußende Verfahrensweise wird bezüglich ihrer Anwendung in diesem Vorhaben in Kap. 3.4.3.2 vorgestellt.

Im Rahmen des Vorhabens wurde untersucht, inwieweit das envVisieren für die Ausarbeitung eines Modells, das direkt aus dem Analysemodell abgeleitet wird, verwendet werden kann. Durch diese Verfahrensweise wurde eine neuartige Methode entwickelt: aus Analysemodellen Klassendiagramme auszuarbeiten unter Berücksichtigung aller relevanten Umweltobjekte und Ursache-Wirkungsbeziehungen. Die entwickelte Methodik und die dafür konkret definierten Objektklassen werden in Kap. 3.4.4 erklärt.

Auf diesen zwei Grundpfeilern setzt die konkrete **DV-technische Umsetzung** prototypisch auf. Das erfolgt mit dem im UBA eingesetzten GIS ArcGIS der Firma ESRI.



Einerseits geht es darum, wiederverwendbare Funktionen und Algorithmen für die Verarbeitung der Geo-Daten bereitzustellen, um relevante Umweltobjekte und Ursache-Wirkungsbeziehungen zu visualisieren. ArcGIS stellt dafür bereits eine breite Auswahl an Tools zur Verfügung. Des Weiteren eröffnet ArcGIS die Möglichkeit, diese Tools zu neuen Programmen mit selbst gefertigten Workflows (Algorithmen) zusammenzufassen. (s. Kap.3.4.2.1).

Andererseits soll getestet werden, inwieweit die Modellierungsmethode DV-technisch umgesetzt werden kann, sodass das Datenmanagement die Visualisierungen verwalten, ihre Erzeugung nachzeichnen und Ursache-Wirkungsbeziehungen abbilden kann. Zwei Aspekte des envVisierens stehen in diesem Projekt besonders im Fokus:

- ▶ Die zweistufige Ausprägung der UML-Klassendiagramme in Struktur- und Anwendungsdiagramme führt dazu, dass anders als derzeit üblich die Datenmodelle nicht die konkreten Modellgegenstände beschreiben. Die allgemein praktizierte einstufige Modellierung kann nur den unmittelbaren Anwendungsfall abbilden. Beim envVisieren beschreibt das Strukturdiagramm ein sehr abstraktes Modell für die Datenhaltung, das die Realität beschreibt und unabhängig von den Anwendungsfällen oder Analysemodellen strukturiert wird. Im Vorhaben ist es gelungen, ein themenunabhängiges Strukturdiagramm zu entwickeln und somit eine Datenhaltung für beliebige Umweltprozesse und Ursache-Wirkungsbeziehungen aufzubauen. Alle fachspezifischen Besonderheiten finden sich in Schlüssellisten, generischen Attributen und im verwendeten Netzmodell wieder (s. Kap.3.4.5.1). Die Anwendungsdiagramme werden direkt aus den Analysemodellen abgeleitet. Sie verdeutlichen, wie die Daten zu den Umweltprozessen und Betrachtungsobjekten zu erfassen sind und wie die im Analysemodell ausgearbeiteten Ursache-Wirkungsbeziehungen konkret abgebildet werden (s. Kap. 3.4.5.2).
- ▶ envVision ist auf der einen Seite eine Modellierungsmethodik (envVisieren). Andererseits stellt envVision Compilerprogramme bereit, die automatisch aus dem Datenmodell Programmcode erzeugen. envVision ist dadurch auch eine Applikation mit allen notwendigen Funktionalitäten zum Datenmanagement, die durch die kompilierten Datenmodelle gesteuert wird. Auf diese Weise kann automatisch aus den UML-Klassendiagrammen eine Web-Applikation incl. Datenhaltungskomponente generiert werden.  
Mittlerweile gibt es einige wenige computergestützte Programme, die UML-Klassendiagramme in Datenmanagementfunktionen übersetzen können. envVision ist das einzige uns bekannte Produkt, das UML-Klassendiagramme in GIS-Funktionalitäten automatisch überführen kann. In Kap. 3.4.5.3 wird die so entstandene Web-Applikation in Grundzügen vorgestellt.

Im Ergebnis der DV-technischen Umsetzung entstanden Prototypen für ein ArcGIS-Add-In mit Verarbeitungsfunktionen und für envVision als Web-Applikation zum Datenmanagement. In der Testphase wurden diese Prototypen hinsichtlich ihrer Eignung für die DV-technische Abbildung von Umweltprozessen und Ursache-Wirkungsbeziehungen und ihren Einsatzmöglichkeiten bei der Umweltberichterstattung untersucht (s. Kap. 4.4).

## **4.4.2 Geografische Informationssysteme (GIS)**

### **4.4.2.1 GIS für die Umsetzung des Visualisierungskonzepts**

Liegen Geo-Daten in GIS-verarbeitbaren Formaten vor, so können die Geo-Daten im GIS kartografisch dargestellt werden. Die Darstellungsweisen können unterschiedlich konfiguriert und damit variiert und dem Modellzweck angepasst werden. Um eine zielgerichtete Verarbeitung und Visualisierung von Geo-Daten zu ermöglichen ist es erforderlich, hierfür Kriterien aus der Anwendersicht abzuleiten (vgl. Kap. 3.3.2). Im Ergebnis der Verarbeitungs- und Visualisierungsprozesse entstehen Geo-Daten und deren grafische Darstellungen, mit denen die Modellzwecke (vgl. Kap. 2.1) umgesetzt werden.

Basierend auf dem Visualisierungskonzept (s. Kap. 3.3) wurden Werkzeuge identifiziert bzw. selbst entwickelt, die für die Umweltberichterstattung genutzt werden können. Die Analyse ergab folgende allgemeinen Datenverarbeitungskomplexe:

- ▶ Überlagerung,
- ▶ Transformation,
- ▶ Bewertung,
- ▶ Visualisierung.

Mit ArcGIS werden bereits zahlreiche Werkzeuge zur Datenverarbeitung mitgeliefert. Die in der Arc-Toolbox vorhandenen Tools wurden gesichtet und auf ihre Anwendbarkeit entsprechend den Modellgegenständen geprüft. Die folgenden Tabellen Tabelle 4 bis Tabelle 7 ordnen die Werkzeuge der Arc-Toolbox, die für die Umweltberichterstattung hilfreich sein können (ohne Anspruch auf Vollständigkeit), den oben genannten Datenverarbeitungskomplexen zu und stellen sie hinsichtlich ihrer Funktionalität vor.

Tabelle 4: Überlagerung

| Kurzbeschreibung  | Name in Toolbox               | Parameter Eingang   | Parameter Ausgang   | Zu finden unter                |
|---|-------------------------------|---|---|--------------------------------|
| Hiermit wird ein geometrischer Schnittpunkt der Eingabe- und Identity-Features berechnet. Die Eingabe-Features oder deren Teile, die die Identity-Features überlappen, erhalten die Attribute dieser Identity-Features. | <b>Verschneiden</b>           | Input Feature (1): Polygons/Points<br>Identity Feature (1): Polygons/Points   | Verschnittene Polygons / Points   | Analysis Tools >> Überlagerung |
| Berechnet einen geometrischen Schnittpunkt der Eingabe-Features. Die Ausgabe-Feature-Class enthält alle Features oder Teile von Features, die sich in allen Layern und/oder Feature-Classes überlappen.                 | <b>Überschneiden</b>          | Input Feature (n): Polygons/Points  | Überschnittene Polygons / Points  | Analysis Tools >> Überlagerung |
| Features oder Teile von Features in den Eingabe-Features und Update-Features, die sich nicht überlappen, werden in die Ausgabe-Feature-Class geschrieben.   | <b>Symmetrische Differenz</b> | Input/Update Features (1): Points oder<br>Input/Update Features (1): Polygons | Polygons/ Points ohne überlappende Bereiche<br>Randbedingung: Input und Update Feature muss den selben Datentyp haben | Analysis Tools >> Überlagerung |
| Hiermit wird eine geometrische Vereinigung der Eingabe-Features berechnet. Alle Features und die dazugehörigen Attribute werden in die Ausgabe-Feature-Class eingetragen.   | <b>Vereinigen</b>             | Input Feature (n): Polygons   | Vereinigte Polygons   | Analysis Tools >> Überlagerung |
| Berechnet einen geometrischen Schnittpunkt der Eingabe-Features und Update-Features. Die Attribute und die Geometrie der Eingabe-Features werden durch die Update-Features in der Ausgabe-Feature-Class aktualisiert.   | <b>Aktualisieren</b>          | Input Feature (1): Polygons<br>Update Feature (1): Polygons                   | Aktualisierte Polygons  | Analysis Tools >> Überlagerung |

| Kurzbeschreibung  | Name in Toolbox                | Parameter Eingang | Parameter Ausgang | Zu finden unter                       |
|---|--------------------------------|-------------------|-------------------|---------------------------------------|
| Hiermit können Sie den Raster-Überlagerungsprozess automatisieren und den einzelnen Layern vor dem Addieren Gewichtungen zuweisen (Sie können ihnen auch gleiche Einflüsse zuordnen, um eine ungewichtete Überlagerung zu erstellen). | <b>Gewichtete Überlagerung</b> | Raster (n)        | Raster            | Spatial Analyst Tools >> Überlagerung |
| Hiermit werden die Werte von zwei Rastern auf Zellenbasis addiert.  | <b>Plus</b>                    | Raster (2)        | Raster            | Spatial Analyst Tools >> Mathematik   |
| Überlagert mehrere Raster, wobei jedes mit der jeweiligen Gewichtung multipliziert und anschließend die Summe gebildet wird.  | <b>Gewichtete Summe</b>        | Raster (n)        | Raster            | Spatial Analyst Tools >> Überlagerung |
| Hiermit können Sie jeder Zelle im Ausgabe-Layer anhand eindeutiger Kombinationen von Werten aus verschiedenen Eingabe-Layern einen Wert zuweisen.   | <b>Kombinieren</b>             | Raster (n)        | Raster            | Spatial Analyst Tools >> Lokal        |
| Hiermit werden Werte in einem Raster-Layer nach Zonen (Kategorien) in einem anderen Layer zusammengefasst. Beispielsweise wird die mittlere Höhe der einzelnen Vegetationskategorien berechnet.                                       | <b>Zonale Statistiken</b>      | Raster (2)        | Raster            | Spatial Analyst Tools >> Zonal        |

Quelle: ESRI Inc.

Tabelle 5: Transformation

| Kurzbeschreibung   | Name in Toolbox          | Parameter Eingang | Parameter Ausgang                                  | Zu finden unter               |
|--|--------------------------|-------------------|--|-------------------------------|
| Hiermit werden Features in ein Raster-Dataset konvertiert.       | <b>Feature in Raster</b> | Polygons/Points   | Raster   | Conversion Tools >> In Raster |
| Hiermit werden Punkt-Features in ein Raster-Dataset konvertiert. | <b>Punkt in Raster</b>   | Points            | Raster (einzelne Raster, besser ist Interpolation) | Conversion Tools >> In Raster |

| Kurzbeschreibung   | Name in Toolbox            | Parameter Eingang | Parameter Ausgang | Zu finden unter                           |
|--|----------------------------|-------------------|-------------------|---|
| Hiermit werden Polygon-Features in ein Raster-Dataset konvertiert.   | <b>Polygon in Raster</b>   | Polygons          | Raster            | Conversion Tools<br>>> In Raster          |
| Hiermit werden Polylinien-Features in ein Raster-Dataset konvertiert.  | <b>Polylinie in Raster</b> | Polylines         | Raster            | Conversion Tools<br>>> In Raster          |
| Hiermit wird ein Raster-Dataset in Punkt-Features konvertiert.   | <b>Raster in Punkt</b>     | Raster            | Points            | Conversion Tools<br>>> Von Raster         |
| Hiermit wird ein Raster-Dataset in Polygon-Features konvertiert.   | <b>Raster in Polygon</b>   | Raster            | Polygons          | Conversion Tools<br>>> Von Raster         |
| Konvertiert ein Raster-Dataset in Polylinien-Features.   | <b>Raster in Polylinie</b> | Raster            | Polylines         | Conversion Tools<br>>> Von Raster         |
| Konvertiert Microsoft Excel-Dateien in eine Tabelle.   | <b>Excel in Tabelle</b>    | Excel-Datei       | Tabelle           | Conversion Tools<br>>> Excel              |
| Konvertiert eine Tabelle in eine Microsoft Excel-Datei.  | <b>Tabelle in Excel</b>    | Tabelle           | Excel-Datei       | Conversion Tools<br>>> Excel              |
| Interpoliert eine Raster-Oberfläche anhand von Punkten mittels IDW (Inverse Distance Weighting).   | <b>IDW</b>                 | Points            | Raster-Oberfläche | Spatial Analyst Tools<br>>> Interpolation |
| Interpoliert eine Raster-Oberfläche anhand von Punkten mithilfe der Kriging-Methode.   | <b>Kriging</b>             | Points            | Raster-Oberfläche | Spatial Analyst Tools<br>>> Interpolation |
| Interpoliert eine Raster-Oberfläche anhand von Punkten mithilfe einer Natural Neighbor-Methode.  | <b>Natürlicher Nachbar</b> | Points            | Raster-Oberfläche | Spatial Analyst Tools<br>>> Interpolation |
| Interpoliert eine Raster-Oberfläche anhand von Punkten mit einer mit zweidimensionaler, minimaler Krümmung arbeitenden Spline-Methode. Die resultierende glatte Oberfläche durchläuft exakt die Datenpunkte. | <b>Spline</b>              | Points            | Raster-Oberfläche | Spatial Analyst Tools<br>>> Interpolation |

| Kurzbeschreibung  | Name in Toolbox                 | Parameter Eingang     | Parameter Ausgang | Zu finden unter   |
|---|---------------------------------|-----------------------|-------------------|---|
| Interpoliert eine Raster-Oberfläche unter Verwendung von Barrieren anhand von Punkten mit einer mit minimaler Krümmung arbeitenden Spline-Methode. Barrieren werden als Polygon- oder Polylinien-Features eingegeben. | <b>Spline mit Barrieren</b>     | Points                | Raster-Oberfläche | Spatial Analyst Tools<br>>> Interpolation                 |
| Interpoliert eine hydrologisch korrekte Raster-Oberfläche anhand von Punkt-, Linien- und Polygondaten.  | <b>Topo zu Raster</b>           | Points/Lines/Polygons | Raster-Oberfläche | Spatial Analyst Tools<br>>> Interpolation                 |
| Interpoliert eine hydrologisch korrekte Raster-Oberfläche anhand von Punkt-, Linien- und Polygondaten unter Verwendung von in einer Datei angegebenen Parametern.   | <b>Topo zu Raster aus Datei</b> | Points/Lines/Polygons | Raster-Oberfläche | Spatial Analyst Tools<br>>> Interpolation                 |
| Interpoliert eine Raster-Oberfläche anhand von Punkten mithilfe einer Trendmethode.   | <b>Trend</b>                    | Points                | Raster-Oberfläche | Spatial Analyst Tools<br>>> Interpolation                 |
| Ändert ein Raster-Dataset durch Änderung der Zellgröße und Resampling-Methode.  | <b>Resampling</b>               | Raster                | Raster            | Data Management Tools<br>>> Raster >> Raster-Verarbeitung |

Quelle: ESRI Inc.

Tabelle 6: Bewertung

| Kurzbeschreibung   | Name in Toolbox                          | Parameter Eingang  | Parameter Ausgang | Zu finden unter                               |
|--|--|--|-------------------|---|
| Erstellt ein neues Raster durch die Suche nach Werten in einem anderen Feld in der Tabelle des Eingabe-Rasters.            | <b>Suche</b>                             | Raster   | Raster            | Spatial Analyst Tools<br>>> Reklassifizierung |
| Hiermit werden die Werte der Eingabezellen eines Rasters anhand einer ASCII-Remap-Datei neu klassifiziert (bzw. geändert). | <b>Reklassifikation nach ASCII-Datei</b> | In_raster: Raster<br>In_remap_file:<br>ASCII_Remap_Datei | Raster            | Spatial Analyst Tools<br>>> Reklassifizierung |



| Kurzbeschreibung   | Name in Toolbox                           | Parameter Eingang   | Parameter Ausgang | Zu finden unter                               |
|--|---|---|-------------------|---|
| Hiermit wird der Wert der Eingabezellen eines Rasters mithilfe einer Remap-Tabelle neu klassifiziert (bzw. geändert).  | <b>Reklassifikation nach nach Tabelle</b> | In_raster: Raster<br>In_remap_table: Tabelle                          | Raster            | Spatial Analyst Tools<br>>> Reklassifizierung |
| Klassifiziert die Werte in einem Raster neu (bzw. ändert sie).   | <b>Reklassifizierung</b>                  | In_raster: Raster<br>Remap: Remap Dateien (RemapRange und RemapValue) | Raster            | Spatial Analyst Tools<br>>> Reklassifizierung |
| Skaliert die Eingabe-Raster-Werte erneut, indem eine ausgewählte Transformationsfunktion angewendet und die resultierenden Werte dann auf einen bestimmten kontinuierlichen Auswertungsmaßstab transformiert werden. | <b>Erneut skalieren nach Funktion</b>     | Raster  | Raster            | Spatial Analyst Tools<br>>> Reklassifizierung |
| Hiermit wird ein Wertebereich der Eingabezellen in Zonen mit gleichem Intervall oder gleicher Fläche bzw. anhand von natürlichen Unterbrechungen ausgeschnitten oder reklassifiziert.                                | <b>Ausschneiden</b>                       | Raster  | Raster            | Spatial Analyst Tools<br>>> Reklassifizierung |

Quelle: ESRI Inc.

Tabelle 7: Visualisierung

| Kurzbeschreibung   | Name in Toolbox                      | Parameter Eingang | Parameter Ausgang  | Zu finden unter                                       |
|--|--------------------------------------|-------------------|--|---|
| Mit diesem Werkzeug wird die Symbologie eines Layers auf den Eingabe-Layer angewendet. | <b>Symbologie aus Layer anwenden</b> | Feature Dataset   | Feature Dataset<br>Randbedingung: fertige Symbologie als lyr-Datei gespeichert | DataManagement Tools<br>>> Layer und Tabellen-sichten |

Quelle: ESRI Inc.

Die Basis-Tools reichen i. d. R. aus, um Visualisierungen umzusetzen. Werden mehrere Tools häufiger nacheinander in einem identischen Arbeitsprozess ausgeführt, kann der Workflow in ArcGIS als neues, eigenes Tool für diesen Algorithmus implementiert werden. Zur Bearbeitung der konkreten Modellzwecke und -gegenstände wurden solche Tools prototypisch implementiert. Dabei wurde auf eine flexible Anwendbarkeit geachtet: Die sind zwar für einen bestimmten Modellzweck und Modellgegenstand entwickelt, können aber im Detail beliebig angepasst werden. Beispielsweise können Parameter (z. B. Schadstoffparameter), Eingabeformate (Raster- oder Vektordaten) oder Eingabewerte (z. B. Grenz- oder Schwellwerte) beliebig ausgewählt bzw. vorgegeben werden. Weiterführende Informationen hierzu enthält Anlage 5 – Handbuch zu den Programminhalten.

Im Projekt wurden folgende eigenständige Tools bereitgestellt:

- ▶ Visualisieren
  - ▶ Symbolisieren
  - ▶ Zuordnung zu Verwaltungseinheiten
  - ▶ Wertüberschreitung
- ▶ Risiken/Konflikte
  - ▶ Mehrfachbelastung (nach Anzahl)
- ▶ Datenmanagement
  - ▶ Vorschau erstellen
  - ▶ envVision Upload
  - ▶ pdf erstellen

Als Beispiel für die mit der Definition von Workflows bestehenden Möglichkeiten wird im Folgenden der Workflow zur „Prüfung auf Wertüberschreitung“ kurz vorgestellt.

### Prüfen auf Wertüberschreitung

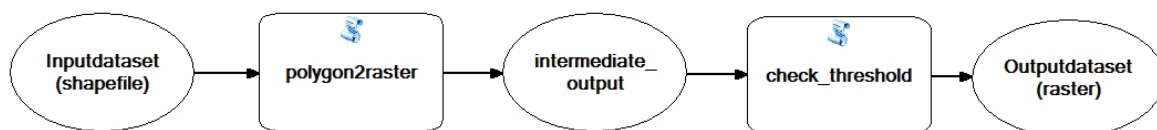
Mit diesem Tool kann ein Datensatz daraufhin überprüft werden, ob ein frei wählbarer Schwellenwert über- oder unterschritten wird. Die Schwellenwerte können z. B. gesetzlich festgelegte Grenzwerte sein. Als Inputdaten können Vektor- bzw. Rasterdaten verwendet werden. In Abhängigkeit des Datenformats des Inputdatensatzes kommen dann bei der Präprozessierung unterschiedliche Algorithmen zum Einsatz.

Der Workflow setzt sich aus den folgenden Einzelprozessen zusammen:

- ▶ → Polygon to Raster bzw. → Resampling
- ▶ → Reclassify

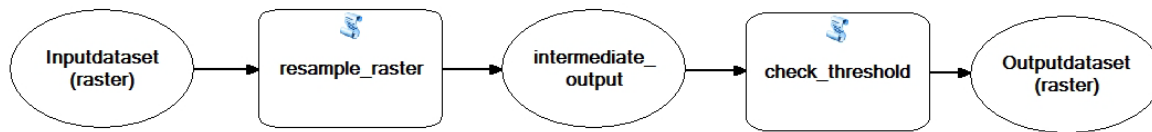
Die abschließende Symbolisierung ist im letzten Prozessschritt integriert (in check\_threshold in Abbildung 29 und Abbildung 30). Hierfür wurde eine Legende zur Wertüberschreitung erstellt und kann auch auf andere Datensätze angewandt werden.

Abbildung 29: Workflow zum Prüfen einer Wertüberschreitung mit Vektordaten als Input



Quelle: M.O.S.S., eigene Darstellung

Abbildung 30: Workflow zum Prüfen einer Wertüberschreitung mit Rasterdaten als Input



Quelle: M.O.S.S., eigene Darstellung

Über eine Eingabeoberfläche werden alle erforderlichen Eingabeparameter eingegeben:

- ▶ Eingabedatensatz  
Der Datensatz, der auf eine Wertüberschreitung geprüft werden soll.
- ▶ Wertefeld  
Der Feldname, der den zu prüfenden Wert enthält.
- ▶ Grenzwert  
Der Schwellenwert, der hinsichtlich Über- bzw. Unterschreitungen geprüft werden soll.
- ▶ Zellgröße  
Die Größe der Zellen des Ausgabedatensatzes in m (Bsp. 1.000).
- ▶ Ausgabedatensatz  
Der Name des Datensatzes, in dem das Ergebnis gespeichert werden soll.

#### 4.4.2.2 Geografische Informationssysteme (GIS) für das Datenmanagement

In einem Geografischen Informationssystem (GIS) erfolgt die Objektbildung immer für die konkret darzustellende geografische Objektklasse. Zu jeder Visualisierung wird eine Objektklasse gebildet, die Objektdefinition folgt kartografischen Aspekten. Zu den Geo-Objekten können auch Attribute ergänzt und hierarchisch untergeordnete Objekte und Details angekettet werden.

GIS sind aber nicht bzw. nur bedingt für ein objektorientiertes Datenmanagement geeignet, da sie verschiedene Eigenschaften und Strukturen von Objekten nicht verarbeiten können:

- ▶ Ableitungen und Generalisierungen,
- ▶ strukturierte Datentypen,
- ▶ beliebige Objektverknüpfungen, die über einfache Hierarchien und Details hinausgehen,
- ▶ verschiedene Geometrien zu einer Objektklasse,
- ▶ Objektklassen ohne jegliche Geometrie, auch nicht an übergeordneten Objekten bzw. am Master,

Damit das Umweltdatenmanagement über die Verwaltung, Bereitstellung und Visualisierung der Geo-Daten hinausgehen und praktische Anwendungsfälle entsprechend der Analysemodelle unterstützen kann, müssen diese Objektstrukturen aber verarbeitet werden können. Die heute gängigen GIS sind hierfür nicht ausgelegt und daher nur begrenzt für die Verwaltung und das Datenmanagement von Ursache-Wirkungsbeziehungen geeignet. Aus diesem Grund wurde innerhalb des Vorhabens die Software envVision für das Datenmanagement verwendet. envVision setzt zum einen konsequent auf der Datenhaltung von ArcGIS auf, indem die Datenspeicherung vollständig kompatibel zu ArcGIS erfolgt, zum anderen kann envVision aber auch objektorientierte Strukturen verwalten. envVision bedient somit beide im Rahmen des Vorhabens relevanten Aspekte: Die Verwaltung von Daten unter Berücksichtigung von Ursache-Wirkungsbeziehungen einerseits und die Verarbeitung der Daten mit ArcGIS-Basisfunktionalität. (vgl. mit Kap. 3.4.5)

### 4.4.3 Beschreibung der Modellierungsmethoden

#### 4.4.3.1 UML-Klassendiagramme

Die technische Umsetzung der Analysemodelle in Klassendiagramme besteht im Wesentlichen in einer „Übersetzung“ der für die Analysemodelle genutzten Elemente in eine standardisierte Darstellungs- und Beschreibungssprache und eine diagrammbasierte Darstellung, die einer datentechnischen Verarbeitung zugänglich ist. Elemente, die zwar im Analysemodell zur Darstellung von Ursache-Wirkungszusammenhängen enthalten sind, sich aber nicht mit Daten und Informationen hinterlegen lassen, sind in den Klassendiagrammen nicht mehr enthalten. Es muss vorher aus fachlicher Sicht entschieden werden, welche Vereinfachungen erlaubt sind, um noch immer zu interpretierbaren und validen Modellierungsergebnissen zu führen.





Als Werkzeug für die Modellierung wird in der envVision-Technologie der Standard UML (Unified Modeling Language) und daraus die sogenannten Klassendiagramme genutzt. Sie definieren Objektklassen, Attribute und die gegenseitigen Objektverknüpfungen, um diese dann dv-technisch verarbeiten zu können.

Die Klassendiagramme unterscheiden sich von den Analysemodellen dahingehend, dass die Elemente in anderer Weise in Objektklassen eingeordnet werden. Die Informationen, die zu einer Objektklasse zu verarbeiten sind, sind in der Modellsprache deren Attribute.

Tabelle 8: Begriffe der Modellierung allgemein

| Begriff          | Erläuterung  |
|------------------|--|
| Objekt           | der reale Gegenstand, der abzubilden ist; als Objekte verstehen wir neben den Gegenständen in unserer Umwelt (Betrachtungsobjekte) auch Prozesse, Handlungen, Werte und Personen. Immer dann, wenn Daten zu einem Gegenstand erhoben werden, werden diese Daten unter einem „Oberbegriff“ Objekt strukturiert zusammengefasst. |
| Objektklasse     | Menge von Objekten, die eine gemeinsame Struktur und ein gemeinsames Verhalten aufweisen   |
| Attribut         | Informationen zu einer Objektklasse  |
| Instanz          | das zu verwaltende Exemplar einer Objektklasse (entspricht im objektorientierten Modellansatz einem konkreten Objekt in der Realität)  |
| Objektverbindung | Verbindung von zwei Objektklassen mit einer bestimmten inhaltlichen Bedeutung (zu weiteren Definitionen zu Objektverbindungen s. Kap. ##)  |

Wichtig sind außerdem die Objektverbindungen. Dabei wird im UML in drei Verbindungsklassen unterschieden:

-  Assoziation (auch Link oder Verbindung genannt)
-  Aggregation
-  Komposition (auch Master-Detail-Beziehung),  
wobei  auf der Seite des Masterobjekts angebracht ist.

Die Zuordnungsvielfalt wird wie folgt angegeben:



m und n stehen für die Multiplizitäten, wobei folgendermaßen zu lesen ist:

- Ein Objekt der Objektklasse A ist n Objekten der Objektklasse B zuordenbar.
- Ein Objekt der Objektklasse B ist m Objekten der Objektklasse A zuordenbar.

Tabelle 9: Begriffe für die Modellierung von Verbindungen und Objekthierarchien

| Begriff                    | Erläuterung  |
|----------------------------|--|
| Basisklasse                | Objektklasse, die anderen Objektklassen zugrunde liegt. Basisklassen sind z. B. Betrachtungsobjekte und Prozesse, von denen dann detaillierte Objektklassen abgeleitet werden.   |
| Assoziation                | allgemeine Objektverbindung  |
| Aggregation                | spezielle Assoziation, die die Verbindung von einem „Ganzen“ zu seinen „Teilen“ beschreibt, wobei die Teile auch ohne das Ganze existieren können  |
| Komposition                | spezielle Assoziation, die die Verbindung von einem „Ganzen“ zu seinen „Teilen“ beschreibt, wobei die Teile nicht ohne das Ganze existieren können   |
| Master-Detail-Beziehung    | Wir nennen in diesem Fall das „Ganze“ auch Master, das „Teil“ Detail und die Komposition „Master-Detail-Beziehung“   |
| Multiplizität              | Anzahl der Verbindungsmöglichkeiten zwischen zwei Objekten; setzt sich zusammen aus: MIN .. MAX.<br>MIN kann 0 oder 1 sein und steht auch für den Zuordnungszwang.<br>MAX kann 1 oder * sein und steht für die Kardinalität.<br>(Besonderheiten: 1 steht für 1..1<br>* steht für 0..*) |
| abgeleitete Objektklasse   | Objektklasse, die von einer Basisklasse abgeleitet ist; „erbt“ alle Daten, Verbindungen und Verarbeitungsregeln der Basisklasse  |
| Zuordnungszwang            | Eine Objektklasse B ist einer Objektklasse A zwingend zuzuordnen. Die Multiplizität von B auf A ist 1 oder 1..*.   |
| Hierarchie                 | Bei einer Objektverbindung mit Zuordnungszwang sprechen wir auch von einer Hierarchie  |
| hierarchisch untergeordnet | Die Objektklasse B bezeichnen wir in diesem Fall als hierarchisch untergeordnet zu Objektklasse A.   |
| hierarchisch übergeordnet  | Die Objektklasse A bezeichnen wir in diesem Fall als hierarchisch übergeordnet zu Objektklasse B.  |
| Kardinalität               | Zuordnungsvielfalt, die maximal mögliche Zuordnungsanzahl  |
| Masterobjekt               | das „Ganze“ in einer Komposition<br>Das Masterobjekt ist dem Detailobjekt hierarchisch übergeordnet.   |
| Detailobjekt               | das „Teil“ in einer Komposition<br>Das Detailobjekt ist dem Masterobjekt hierarchisch untergeordnet.   |

Erläuterungen zum Inhalt des obigen Anwendungsdiagramms erfolgen in den nachstehenden Kapiteln.

#### 4.4.3.2 envVisieren

Inhaltliche Ausgangspunkte für die Datenmodellierung sind die Elemente des generalisierten Modellkonzepts (s. Kap. 3.1)

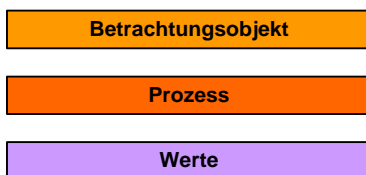
- ▶ Betrachtungsobjekte und deren relevante Eigenschaften mit Beobachtungsgrößen,
- ▶ Prozesse mit Beschreibungsgrößen.

Der Fokus des Analysemodells liegt auf den Prozessen und den Wechselwirkungen zwischen den Prozessen und Betrachtungsobjekten. Um diese Beziehungen objektorientiert darstellen zu können, wird die envVision-Modellierungsmethode (envVisieren) verwendet, die (obwohl GIS basiert) nicht die Geometrie als objektbildende Eigenschaft sieht, sondern auf die Abbildung von Prozessen und deren Wechselwirkungen im Ökosystem aufsetzt. Somit sind reale Objekte und Umweltprozesse als auch deren Interaktionen untereinander Gegenstand der dv-technischen Modellabbildungen und werden zu eigenen Objektklassen in der Datenverwaltung.

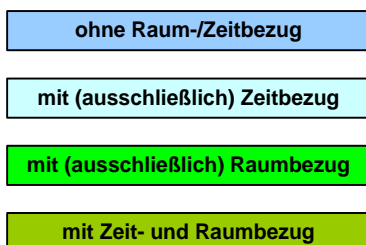
Die Geometrie wird im Datenmodell wie ein Attribut behandelt. Der envVision-Modellansatz sieht gegenüber den bekannten geografisch / kartografisch geprägten Ansätzen (z. B. der ISO 191xx-Serie, INSPIRE) vor, dass jede Objektklasse vierdimensional (also in Raum und Zeit) existieren kann. Das bedeutet, dass z. B. auch die Prozesse räumlich / zeitlich verortet werden können – nämlich genau mit der Information, wo und wann der Prozess stattfindet. Ob ein Prozess verortet wird oder nicht, hängt von der Aufgabenstellung und der Datenlage ab. Werden zu den Orten, an denen Prozesse stattfinden (z. B. Versickerungsflächen oder Wasserentnahmestellen), „eigene“ Daten zur Beschreibung der Prozessstelle vorgehalten, so wird auch eine eigene Objektklasse zum Betrachtungsobjekt „Prozessstelle“ angelegt. Zumeist geht es aber ausschließlich um die Beschreibung des Prozesses. In diesen Fällen wird „nur“ der Prozess verortet. Auf die Definition eines Betrachtungsobjekts wird im Gegensatz zu den geografisch / kartografisch geprägten Modellansätzen verzichtet.

Durch die Farbgebung soll in den folgenden Datenmodellen zwischen den „Basisklassen“ einerseits und andererseits der Art und Weise der räumlich-zeitlichen Ausprägungen der Objektklassen (Attribute) unterschieden werden.

Nach folgenden Basisklassen sind die Datenmodelle sortiert:



Die untere Hälfte der Kästchen mit den Objektklassen benennt wesentliche Attribute. Die Farbgebung der unteren Hälfte soll den räumlich-zeitlichen Aspekt visualisieren:

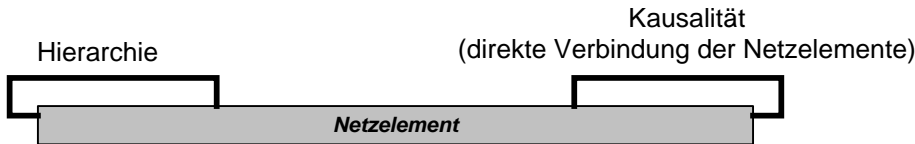


Im envVision-Ansatz können alle Basisklassen geografisch ausgeprägt werden, nicht nur die Betrachtungsobjekte. Daher können auch Umweltprozesse geografisch verortet und damit visualisiert werden.



Neben den einzelnen Komponenten (Basisklassen) des Modellansatzes sind deren Verknüpfungen von grundlegender Bedeutung – geht es doch darum, wechselseitige Beziehungen abzubilden. envVision beinhaltet einen Modellansatz zur Verwaltung von Netzwerken (s. Abbildung 31).

Abbildung 31: Modellierungsmethodik – „Objektvernetzung“



Quelle: M.O.S.S., eigene Darstellung

Die Netzelemente werden in einer Basisklasse zusammengefasst. Die konkreten Elementtypen können dann von dieser Basisklasse abgeleitet werden. Das Netzwerk entsteht, indem die Netzelemente einander über die Verbindung „Kausalität“ zugeordnet werden. Über die „Hierarchie“ ist es möglich, ein Netzelement in ein Detailnetz aufzulösen.

Dieser Ansatz wird für die Verwaltung von Prozessketten verwendet. Das Netzelement ist z. B. der Umweltprozess. Alle Umweltprozesse werden in einer einzigen Basisklasse zusammengefasst. Die Beschreibung des konkreten Prozesses geschieht dann über abgeleitete Klassen (s. Kap. 3.4.4). Damit ist der Modellansatz offen für die Verwaltung beliebige Umweltprozesse und ihrer Verknüpfungen untereinander.

Die envVision-Modellierung arbeitet (anders als die „klassischen“ Datenmodellierungsmethoden) das Modell in zwei Schritten aus:

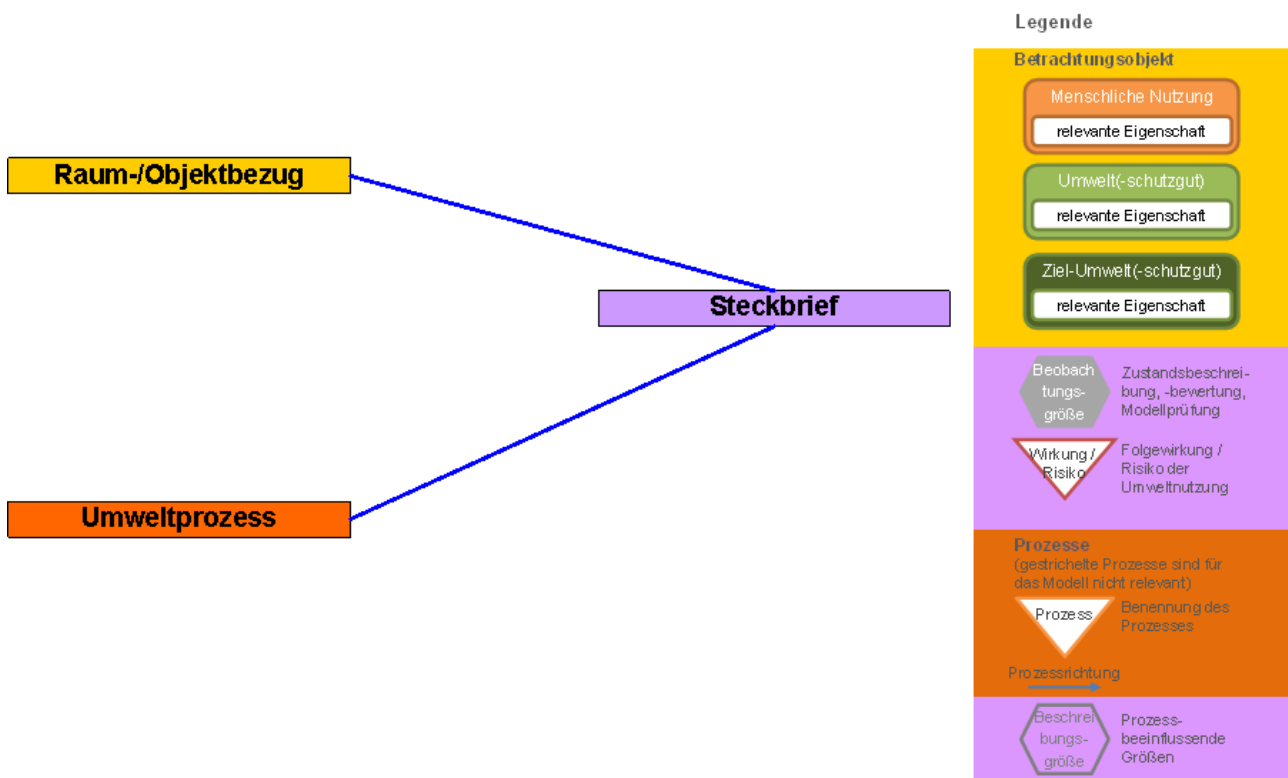
1. Anwendungsdiagramm (Beispiel „Gesundheitsgefährdung durch Lärm, Luftschadstoffe und Hitze“ s. Kap. 3.4.5.2)  
Das Anwendungsdiagramm zeigt auf, welche konkreten Objektklassen und Verknüpfungen für die Anwendungsfälle bereitzustellen sind.
2. Strukturdiagramm (s. Kap. 3.4.5.1)  
Das Strukturdiagramm beschreibt das Datenmodell sehr abstrakt und definiert die bei der Datenhaltung zu verwaltenden Objektklassen und Verknüpfungen. Dabei geht es auch darum, einen „geschickten“ Modellansatz auszuarbeiten, der für neue Anwendungsfälle offen und relativ einfach erweiterbar ist. Ziel muss es sein, die Datenhaltung so zu organisieren, dass Wirkzusammenhänge im Ökosystem abgebildet werden können und das DV-System so flexibel ist, dass es auf neue Sichten und Anforderungen reagieren kann, ohne dass die Datenstruktur immer wieder neu aufgesetzt werden muss.

#### 4.4.4 Vom Analysemodell zum Klassendiagramm

Zwischen den Begrifflichkeiten der Elemente des generalisierten Modellkonzepts, das den Analysemodellen zugrunde liegt, und den Objektklassen in den Daten-Modellen bestehen sehr enge Bezüge. Dadurch wird es möglich, Analysemodelle unmittelbar in Anwendungsdiagramme umzusetzen. Die im generalisierten Modellkonzept ausgearbeiteten Strukturen (in der Abbildung 32 als farblich hervorgehobene Legende dargestellt) werden in generalisierte Objektklassen überführt:

- ▶ Betrachtungsobjekte als „Raum- / Objektbezug“;
- ▶ Prozesse als „Umweltprozess“;
- ▶ Zustandsbeschreibungen, Folgewirkungen, prozessbeeinflussende Größen werden über „Steckbriefe“ erläutert.

Abbildung 32: Vom Analysemodell zum Datenmodell



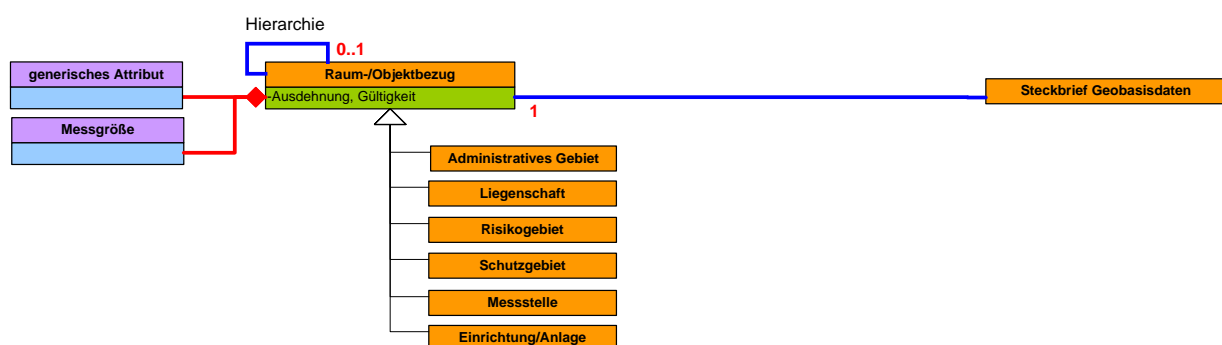
Quelle: M.O.S.S., eigene Darstellung

Im Folgenden werden die drei Basisklassen, die für die dv-technische Umsetzung der Analysemodelle ausgearbeitet wurden, definiert, erläutert und mittels Datenmodell charakterisiert.

#### 4.4.4.1 Raum- / Objektbezug

Die Objektklasse „Raum- / Objektbezug“ verkörpert räumlich-zeitlich verteilte Betrachtungsobjekte. Sie ist charakterisiert durch die dargestellte Betrachtungsobjektklasse, die räumliche Ausdehnung und den zeitlichen Bezug.

Abbildung 33: Raum- / Objektbezug



Quelle: M.O.S.S., eigene Darstellung

Entsprechend Abbildung 33 wird der Raum- / Objektbezug klassifiziert und über die abgeleiteten Klassen verwaltet. Folgende Arten werden unterschieden:

- Administrative Gebiete:

- ▶ Gemeinde/Ort
- ▶ Kreis
- ▶ Bundesland
- ▶ Land
- ▶ PLZ-Gebiet
- ▶ Liegenschaften:
  - ▶ Gemarkung
  - ▶ Flur
  - ▶ Flurstück
- ▶ Risikogebiete:
  - ▶ Altlastenfläche
  - ▶ Bergbauggebiet
  - ▶ Umweltzone
  - ▶ Überschwemmungsgebiet
  - ▶ Mehrfachbelastetes Gebiet
- ▶ Schutzgebiete:
  - ▶ Biosphärenreservat
  - ▶ FFH-Gebiet
  - ▶ geschützter Landschaftsbestandteil
  - ▶ Nationalpark
  - ▶ Naturschutzgebiet
  - ▶ Vogelschutzgebiet
  - ▶ Wasserschutzgebiet
- ▶ Messstellen:
  - ▶ Atmosphärische Messstation - Klimamessstation
  - ▶ Atmosphärische Messstation - Luftmessstation
  - ▶ Atmosphärische Messstation - Lärmmessstation
  - ▶ Bodenkundliche/Geologische Messstelle – Bodenkundlicher Aufschluss
  - ▶ Bodenkundliche/Geologische Messstelle – Geologische Messstation
  - ▶ Gewässerkundliche Messstation – Grundwassermessstelle
  - ▶ Gewässerkundliche Messstation – Oberflächenwassermessstelle (Güte)
  - ▶ Gewässerkundliche Messstation – Oberflächenwassermessstelle (Pegel)
- ▶ Einrichtungen/Anlagen:
  - ▶ Einrichtungen für den Gemeinbedarf
  - ▶ Technische Anlagen

Diese Liste kann erweitert bzw. angepasst werden.

#### **Raum- und Zeitbezug:**

Dem Raum- / Objektbezug kann eine Geometrie zugeordnet werden, die entweder den Schwerpunkt darstellt (als Punkt, z. B. bei örtlich begrenzten Umweltdaten) oder die Ausbreitung bzw. Gebietsumgrenzung (als Fläche).

Der Zeitbezug beschreibt den (begrenzten) Zeitraum, für den diese Raum- / Gebietsobjekte gelten. Daten ohne Enddatum gelten als aktuell.

#### **Zuordnungen:**

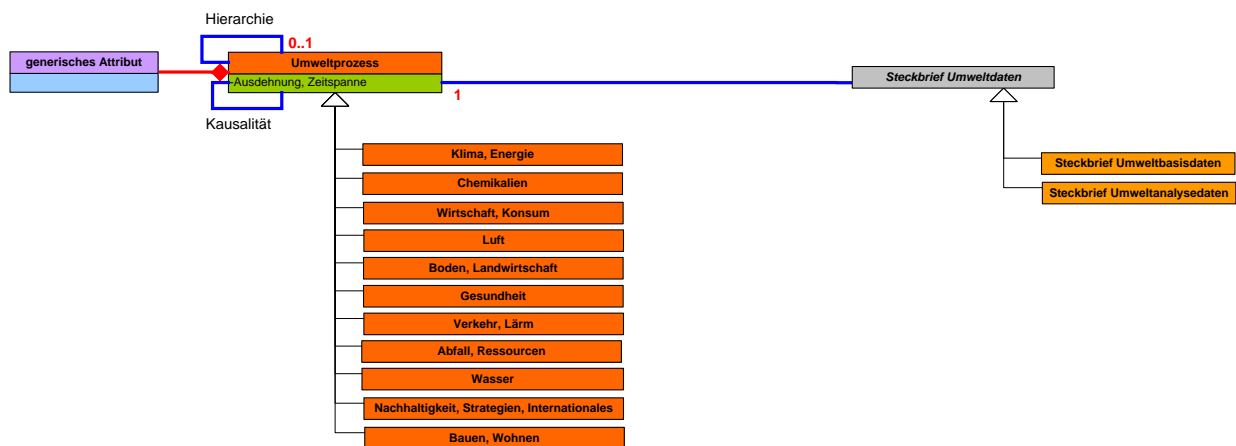
Jedem Raum- / Objektbezug können beliebige generische Attribute als Details hinzugefügt werden. Handelt es sich um Messstellen, dann können die an den Messstellen erhobenen Messgrößen als Details eingetragen werden.

Dem Raum- / Objektbezug können Steckbriefe zu Geobasisdaten angehängt werden, die dann die Visualisierungen der räumlich verteilten Betrachtungsobjekte beschreiben und auf die konkreten Daten verweisen.

#### 4.4.4.2 Umweltprozess

Die Objektklasse „Umweltprozess“ verwaltet anthropogene und natürliche Prozesse, die in unserer Umwelt stattfinden. Sie können räumlich und zeitlich differenziert auftreten bzw. betrachtet werden.

Abbildung 34: Umweltprozess



Quelle: M.O.S.S., eigene Darstellung

Entsprechend der obigen Abbildung wird der Umweltprozess nach den UBA-Umweltthemen<sup>4</sup> klassifiziert und über abgeleiteten Klassen verwaltet. Folgende Arten sind diesen Umweltthemen derzeit zugeordnet:

- ▶ Klima, Energie:
  - ▶ Klima/Lokalklima
- ▶ Chemikalien:
  - ▶ Stoffspeicherung
- ▶ Wirtschaft, Konsum:
  - ▶ Konsumieren
  - ▶ Produzieren
- ▶ Luft:
  - ▶ Luftschadstoffemission
  - ▶ Luftschadstoffimmission
- ▶ Boden, Landwirtschaft:
  - ▶ Flächeninanspruchnahme
  - ▶ Grünlandumbruch
- ▶ Gesundheit:
  - ▶ menschliche Gesundheit
- ▶ Verkehr, Lärm:

<sup>4</sup> s. <https://www.umweltbundesamt.de/themen>

- ▶ Verkehr
- ▶ Lärmemission
- ▶ Lärmimmission
- ▶ Abfall, Ressourcen:
  - ▶ Abfall
- ▶ Wasser:
  - ▶ Gewässerbenutzung
- ▶ Nachhaltigkeit, Strategien, Internationales:
- ▶ Bauen, Wohnen:
  - ▶ Bauen
  - ▶ Leben/Wohnen

Diese Liste kann erweitert bzw. angepasst werden.

#### **Raum- und Zeitbezug:**

Dem Umweltprozess kann eine Geometrie zugeordnet werden, die entweder den Schwerpunkt darstellt (als Punkt, z. B. bei örtlich begrenzten Prozessen) oder die Ausbreitung / Gebietsumgrenzung (als Fläche).

Der Zeitbezug beschreibt den (begrenzten) Zeitraum, an dem dieser Umweltprozess stattfand bzw. betrachtet wurde. Daten ohne Enddatum gelten als aktuell.

#### **Zuordnungen:**

Jedem Umweltprozess können beliebige generische Attribute als Details hinzugefügt werden. Dem Umweltprozess können Steckbriefe zu Umweltdaten (Umweltbasisdaten bzw. Umweltanalysedaten) angehängt werden, die dann parameterscharf die Visualisierungen der Umweltdaten beschreiben und auf die konkreten Daten verweisen.

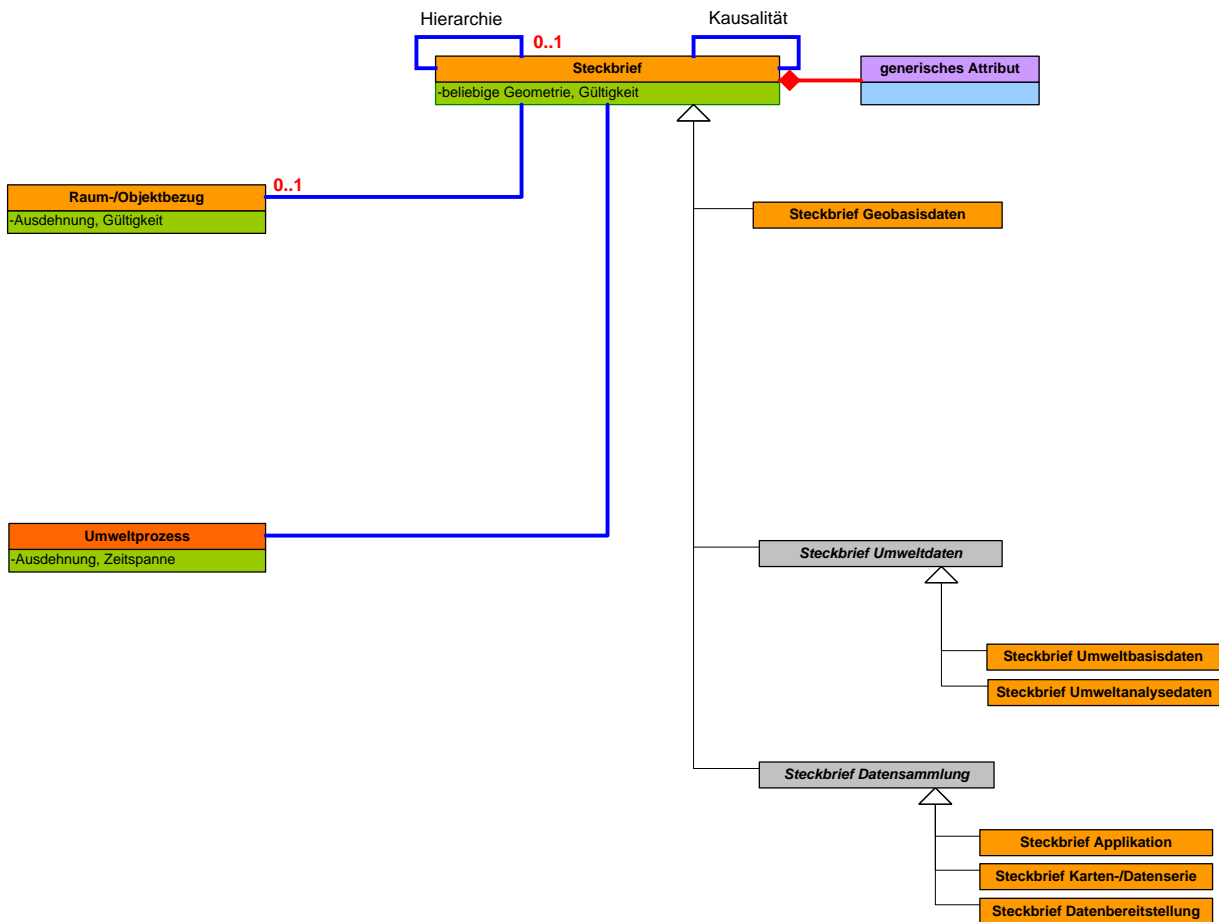
Umweltprozesse können auf zwei Arten miteinander verbunden werden:

- ▶ als Hierarchie, sodass ein (Haupt-) Prozess aus mehreren Teilprozessen bestehen kann;
- ▶ als Kausalität, sodass ein Prozess als Ursache auf eine Auswirkung verweisen kann und umgekehrt.

#### **4.4.4.3 Steckbrief**

„Steckbriefe“ beschreiben die Inhalte von Datensammlungen und Dateien mit räumlich-zeitlich verteilten Umweltdaten bzw. Betrachtungsobjekten. Sie verweisen auf die eigentlichen Daten, die im Filesystem des UBA bzw. als BLOB (Binary Large Object) zum Steckbrief gespeichert werden.

Abbildung 35: Steckbrief



Quelle: M.O.S.S., eigene Darstellung

Entsprechend Abbildung 35 werden die folgenden Steckbriefe unterschieden (zu den unterschiedlichen Inhalten der Steckbriefe vgl. Kap. 3.4.5.1):

- ▶ Steckbrief zu Geobasisdaten
- ▶ Steckbriefe zu Umweltdaten
  - ▶ Steckbrief zu Umweltbasisdaten
  - ▶ Steckbrief zu Umweltanalysedaten
- ▶ Steckbriefe zu Datensammlungen
  - ▶ Steckbrief Applikation
  - ▶ Steckbrief Karten-/Datenserie
  - ▶ Steckbrief Datenbereitstellung

#### Raum- und Zeitbezug:

Dem Steckbrief können eigene Raum- und Zeitbezüge zugeordnet werden, wenn diese vom Raum- bzw. Zeitbezug des zugeordneten Raum- / Objektbezugs bzw. Umweltprozesses abweichen (z. B. bei kurzfristig und lokal auftretenden Erscheinungen).

#### Zuordnungen:



Jedem Steckbrief können beliebige generische Attribute als Details hinzugefügt werden. Die Steckbriefe können bzw. sollten (wenn vorhanden) einem Raum- / Objektbezug zugeordnet werden. Darüber hinaus können bzw. sollten die Steckbriefe mit den sie beschreibenden Umweltprozessen verknüpft werden. Damit entsteht dann eine Liste aller zu einem Umweltprozess erfassten Daten und Datensammlungen.

Steckbriefe können untereinander auf zwei Arten verbunden werden:

- ▶ als Hierarchie, sodass eine Datensammlung auf seine Teile verweist;
- ▶ als Kausalität, sodass ein Steckbrief auf die Steckbriefe zu Daten verweist, die für die Umweltanalysen herangezogen wurden (z. B. bei Überlagerungen von Parametern).

#### **4.4.5 DV-technische Umsetzung mit envVision**

##### **4.4.5.1 Strukturdiagramm**

Für die Verwaltung der Daten wurde ein abstraktes Datenmodell aufgestellt. Es wurden wiederkehrende Grundstrukturen mit den drei Basisklassen (Raum- / Objektbezug, Umweltprozess, Steckbrief) herausgearbeitet, die die abstrakten Bestandteile des Strukturdiagramms für die Datenhaltung bilden.

Das Strukturdiagramm wird bezüglich der Basisobjektklassen und ihrer Objektverbindungen unabhängig vom jeweiligen Anwendungsfall ausgearbeitet und kann unterschiedliche Anwendungsdiagramme bedienen. Die konkreten Objekte in den Anwendungsfällen werden dann als konkrete Ausprägungen der Basisklasse verwaltet, wobei diese über die Art unterschieden werden können. Da die Liste der Arten jederzeit ergänzt werden kann, ist der Modellentwurf offen für weitere Anwendungsfälle und neu ausgearbeitete Analysemodelle. Ziel ist dabei eine flexible Organisation der Datenhaltung, um auf neue Anwendungsfälle, Sichten und Anforderungen reagieren zu können, ohne eine neue Datenstruktur aufsetzen zu müssen.

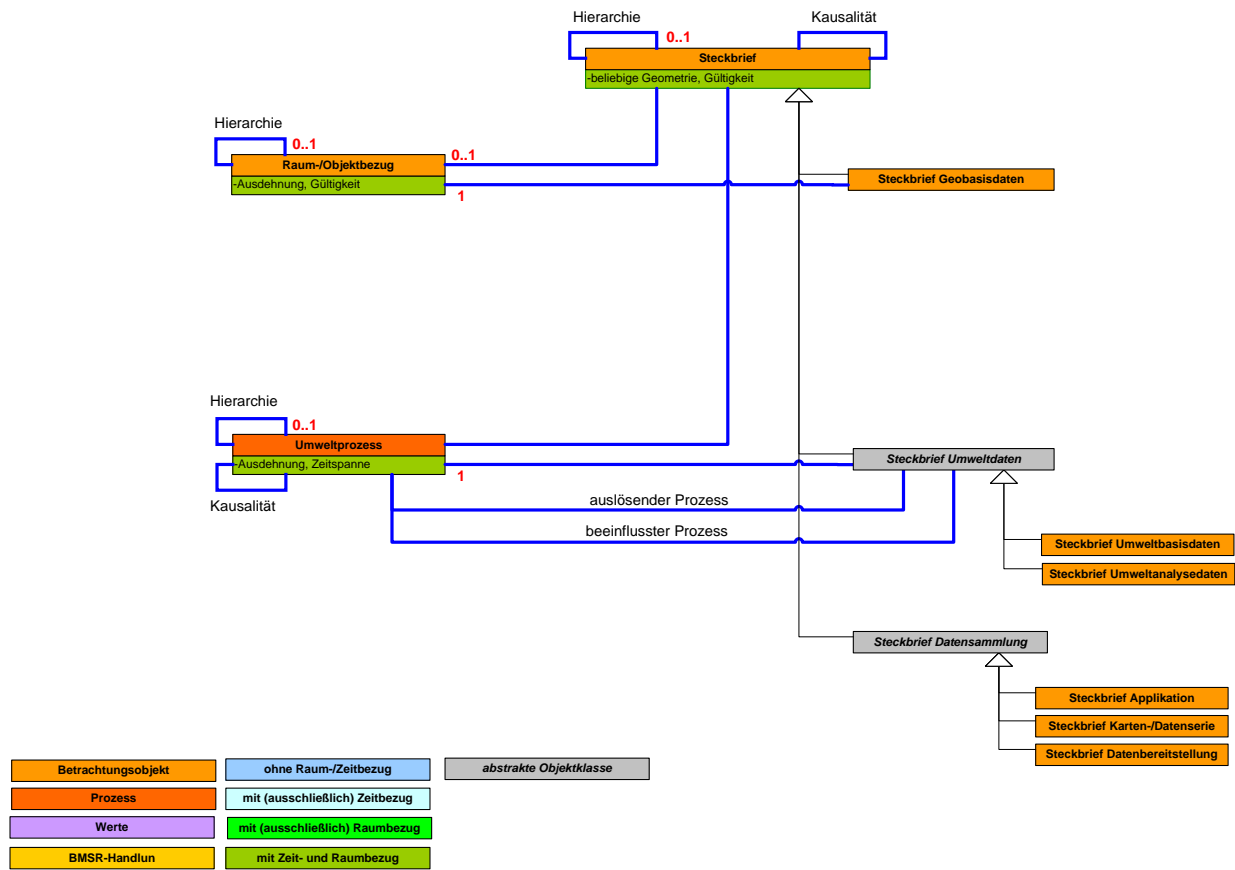
Diesen Modellierungsprinzipien folgend wurde das im Folgenden erläuterte allgemeingültige Strukturdiagramm ausgearbeitet. In Abbildung 36 ist das Strukturdiagramm als UML-Klassendiagramm dargestellt. Zum besseren Verständnis der weiteren Ausführungen wird das Schema vorangestellt. Nachfolgend werden die Modellansätze, die zu diesem strukturellen Entwurf führen, diskutiert.

Die Verarbeitung von Steckbriefen zur Beschreibung von visualisierten Umweltdaten und die Verwaltung von Ursache-Wirkungsbeziehungen stehen im Mittelpunkt. Bei den darzustellenden Umweltdaten handelt es sich um Daten in räumlich-zeitlich verteilten Bereichen, die im Weiteren als „Felder“ bezeichnet werden. Ein „Feld“ ist die räumlich-zeitliche Verteilung einer physikalischen, chemischen, biologischen oder anderen Größe. Die konkreten Einzelwerte an den diskreten Raum-Zeitpunkten sind für die Umweltberichterstattung nicht von Bedeutung. Deshalb werden diese auch nicht als Einzelwerte abgespeichert. Der Steckbrief beschreibt das Feld und verweist auf die konkreten Daten, die das Feld charakterisieren. So beschreibt der Steckbrief ein Informationsobjekt (z. B. eine Datei), das die eigentlichen Daten wie Formate und Datenkonventionen, Verantwortlichkeiten, Erfassungsmethoden u. ä. enthält. Die konkreten Daten des Feldes bleiben in der gelieferten / erzeugten Form und damit verteilt auf den räumlich-zeitlichen Bereich erhalten. Sie werden entweder im Filesystem des UBA abgelegt und / oder unverändert als BLOB (Binary Large Object) in der Datenbank gespeichert.<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> Diese Struktur hat Parallelitäten zu den ISO-19123- und INSPIRE-Modellen für Coverages, obwohl sie mit einer anderen Philosophie aufgestellt wurden, die nicht von der grafischen Darstellung von Coverages / Feldern abgeleitet ist. In den Normen werden Coverages über „Domain“ (entspricht dem Steckbrief) und „Range“ (das konkrete Feld, das dort als „Any“ definiert ist) abgebildet.

Abbildung 36: Strukturdiagramm



Quelle: M.O.S.S., eigene Darstellung

Umweltdaten haben zumeist einen konkreten Raum- / Objektbezug. Die Raum- / Objektbezüge sind i. d. R. Geobasisdaten, wobei auch hier bei der Umweltberichterstattung wieder lediglich die räumlich-zeitliche Verteilung der Objekte interessiert, nicht das Einzelobjekt. Damit wird auch der Raum- / Objektbezug als Feld mit räumlich-zeitlich verteilten Betrachtungsobjekten verstanden. Die Objektklasse wird nach den Arten der Betrachtungsobjekte und ihrer räumlich-zeitlichen Ausdehnung definiert, z. B. Messstellen in Deutschland 2015, administrative Gebiete in Deutschland 2015, Liegenschaften in einem Bundesland 2010. Die Beschreibung der „Felder“ mit Geobasisdaten und die entsprechenden Verweise erfolgen ebenfalls mittels Steckbriefen.

Die Ursache-Wirkungsbeziehungen von Analysemodellen werden über Umweltprozesse und Verbindungen zwischen ihnen, die die kausalen Abhängigkeiten zwischen zwei Prozessen nachbilden, umgesetzt. Ein Umweltprozess kann mehrere Ursachenprozesse sowie mehrere Auswirkungsprozesse haben. Alle Umweltprozesse werden nach einer themenübergreifend einheitlichen Struktur verwaltet. Das bedeutet, dass alle Prozesse in einer Tabelle stehen, und (theoretisch) jeder Prozess mit jedem anderen Prozess über eine Ursache-Wirkungsbeziehung verbunden werden kann. Die Umweltprozesse selbst werden entsprechend den UBA-Umweltthemen klassifiziert und haben eine räumlich-zeitliche Ausdehnung, z. B. Klima in Deutschland 2015, Luftschadstoffimmissionen in einem Ballungsraum 2015.

Den Umweltprozessen zugeordnet werden die konkreten Umweltdaten, die in Umweltbasis- und Umweltanalysedaten unterschieden werden. Für jedes „Feld“ gibt es einen Steckbrief, so dass für jede physikalische, chemische, biologische oder andere Größe eine Beschreibung ihres „Feldes“ als Steckbrief verwaltet wird. Damit sind die Steckbriefe zu den Umweltdaten parameterscharf einzutragen

und ihrem beschreibenden Umweltprozess zuzuordnen. Daten zu einem Parameter können auf verschiedene Art und Weise visualisiert werden (z. B. andere Klasseneinteilungen, Einfärbungen, Darstellung der Überschreitung von Grenz- oder Richtwerten). Für jede Visualisierung wird ein Steckbrief angelegt. Die parameterscharfen Felder zu Umweltdaten können konkret auf sie auslösende bzw. von ihnen beeinflusste Umweltprozesse verweisen, z. B. ein „Feld“ mit Gesundheitsdaten zeigt auf auslösende Umweltprozesse wie Lärm-, Luftschadstoffimmissionen, Mikroklima; ein „Feld“ mit heißen Tagen zeigt auf den durch ihn beeinflussten Prozess der menschlichen Gesundheit. Da die Umweltdatenfelder durchaus nur räumlich-zeitliche Teilbereiche des Umweltprozesses beschreiben können (z. B. auftretende Gefährdungen in einem bestimmten Teilgebiet und in einem konkreten Zeitraum) können auch sie einen eigenen, vom zugeordneten Umweltprozess abweichenden Raum-/Zeitbezug eingetragen bekommen.

Die Ablage / Bereitstellung der Umweltdaten (z. B. in Dateien oder Diensten) erfolgt nicht parameterscharf. Am Beispiel von Shape- Dateien (shp), einem gesonderten Format für Geo-Daten, soll das erörtert werden, um damit auch das Verhältnis zwischen Datensammlung und parameterscharfen Umweltdatenfeldern zu klären. Im Allgemeinen werden in einer shp-Datei Daten zu Betrachtungsobjekten erfasst (z. B. zu Messstellen), was im Modell dem Raum- / Objektbezug entspricht und durch die Zuordnung des Steckbriefs zum Raum- / Objektbezug verwaltet wird. Zu diesen Betrachtungsobjekten werden in der shp-Datei tabellarisch mehrere Attribute abgelegt, die natürlich auch verschiedene Umweltparameter wie Mess- oder abgeleitete Werte repräsentieren können. Das bedeutet, es kann zu einer shp-Datei mehrere Steckbriefe mit Umweltdaten geben.

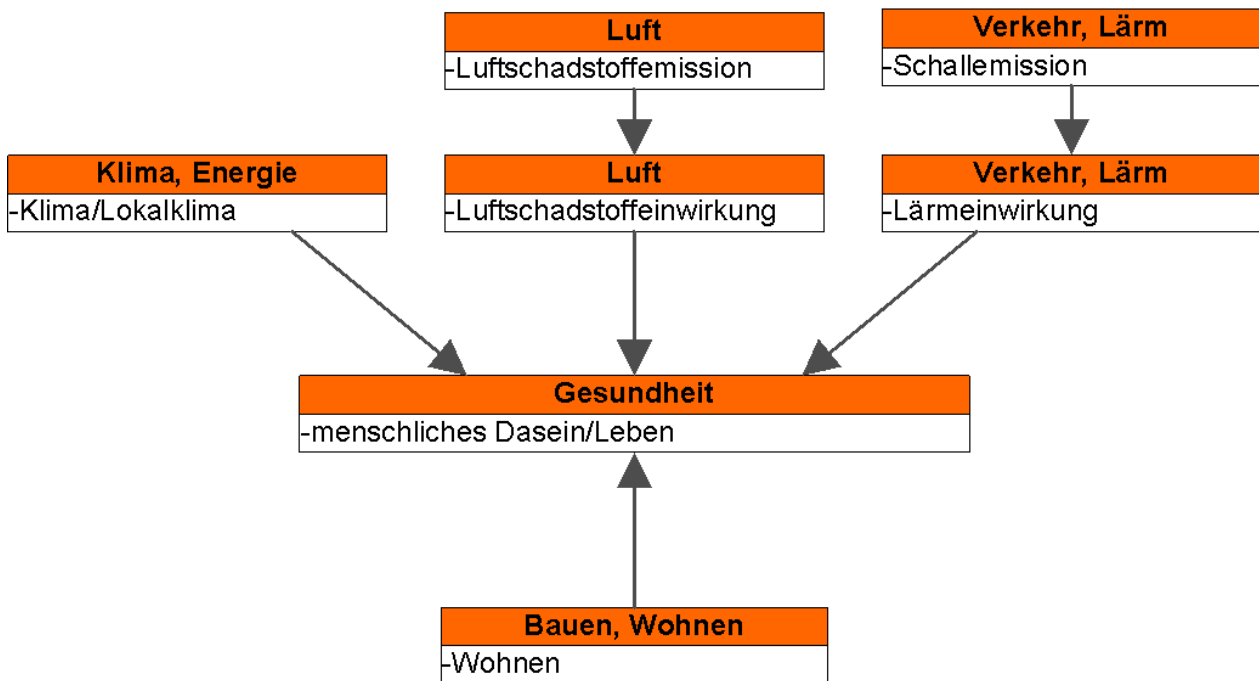
Da für die Umweltberichterstattung aber auch die Informationen notwendig sind, die die Entstehung, Zugriffsregeln u. ä. der shp-Datei erklären, müssen auch shp-Datei bzw. andere Datensammlungen selber erfasst werden können. Deshalb werden Objektklassen für die Verwaltung von Beschreibungen zu Datensammlungen (Dateien, Tabellen, Datendienste, Applikationen u. ä.) angelegt. Diese Objektklassen beschreiben wie der Steckbrief Informationsobjekte. So können die Beschreibungen zu Datensammlungen auch als Steckbriefe verstanden und von diesen abgeleitet werden. Es gibt daher eine Basis-klassse Steckbrief sowohl für die Beschreibung von Feldern mit räumlich-zeitlicher Verteilung der Daten als auch für Datensammlungen zu diesen Daten. Steckbriefe können über die Verbindung „Hierarchie“ aufeinander verweisen, so dass über diese Zuordnung beliebig tief geschachtelte Hierarchien zwischen Datensammlungen und Zuordnungen von Umweltdaten zu Datensammlungen erfasst werden können.

#### 4.4.5.2 Anwendungsdiagramm

Das in der folgenden Abbildung skizzierte Anwendungsdiagramm hat den Status eines Grobmodells. Es zeigt, welche Objekte und Objektverbindungen sich aus Sicht der fachlichen Analyse (s. Kap. 3.2) in das Anwendungsmodell überführen lassen. Die detaillierte Analyse der Datenverfügbarkeit (s. Tabelle 2) wird zwangsläufig Änderungsbedarf nach sich ziehen. Konkret ist zu prüfen, zu welchen im Grobmodell aufgestellten Objekten welche Daten vorliegen. Es werden immer nur dann Objekte angelegt (bzw. aus dem Grobmodell beibehalten), wenn zu diesen auch Daten zur Verfügung stehen. Im Zuge dieses Prozesses wird das Grobmodell zu einem Feinmodell weiterentwickelt.

Abbildung 37 zeigt beispielhaft die Überführung des Analysemodells aus Kap 4.1 in ein Anwendungsdiagramm im Entwicklungsstatus Grobmodell.

Abbildung 37: Anwendungsdiagramm am Beispiel des Analysemodells „Gesundheitsgefährdung durch Lärm, Luftschadstoffe und Hitze“



Quelle: M.O.S.S., eigene Darstellung

Das Anwendungsdiagramm setzt den Fokus auf die Umweltprozesse. Diese werden entsprechend den Umweltthemen des UBA strukturiert (in unserem Beispiel: Luft, Verkehr / Lärm, Klima / Energie, Gesundheit, Bauen / Wohnen).

Die Prozesse stehen im Mittelpunkt dieses Anwendungsmodells. Die Prozesse sind miteinander verknüpft, wodurch die Ursache-Wirkungsketten abgebildet werden. Die Richtung von Ursache auf Wirkung ist mit der Pfeilrichtung gekennzeichnet. Im Datenmodell wird deshalb keine Richtung angegeben, weil für den Anwender sowohl die Sicht auf die Wirkungen eines Prozesses als auch auf seine Ursachen von Bedeutung sein kann. Dem Anwender sind also beide Richtungen anzubieten.

Im Fachfeinmodell ist zu definieren, welche konkreten Steckbriefe mit Umweltbasis- und Umweltanalysedaten zur Visualisierung der Umweltprozesse anzulegen sind und welche Attribute geführt werden sollen. Im Handbuch Programminhalte (s. Anlage 5) sind die Erfassungsregeln hierzu zusammengestellt.

#### 4.4.5.3 envVision-Applikation

Die Firma M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH hat einen Mechanismus zur Verarbeitung der envVisieren entstehenden UML-Datenmodelle in konkrete Applikationen ausgearbeitet und implementiert. Die dadurch entstehenden Applikationen werden envVision genannt. envVision ist also ein Begriff mit doppelter Bedeutung: In erster Linie ist envVision eine Methodik (envVisieren) zur Modellierung von Umweltinformationssystemen, kann dann aber in zweiter Instanz in eine konkrete envVision-Applikation umgewandelt werden. Dazu werden die envVision-Modelle im xml-Format exportiert und anschließend kompiliert. Das Ergebnis ist ein Programm mit allen Basisfunktionalitäten der Datenverarbeitung: Speichern, Selektieren, Verändern, Verbinden, Löschen, Einhalten der Datenkonventionen, Anbieten von Wertebereichslisten u. a. Das bedeutet:

- Aus dem Strukturdiagramm werden die Funktionalitäten zur Datenhaltung und die Datenhaltungskomponente automatisch generiert.

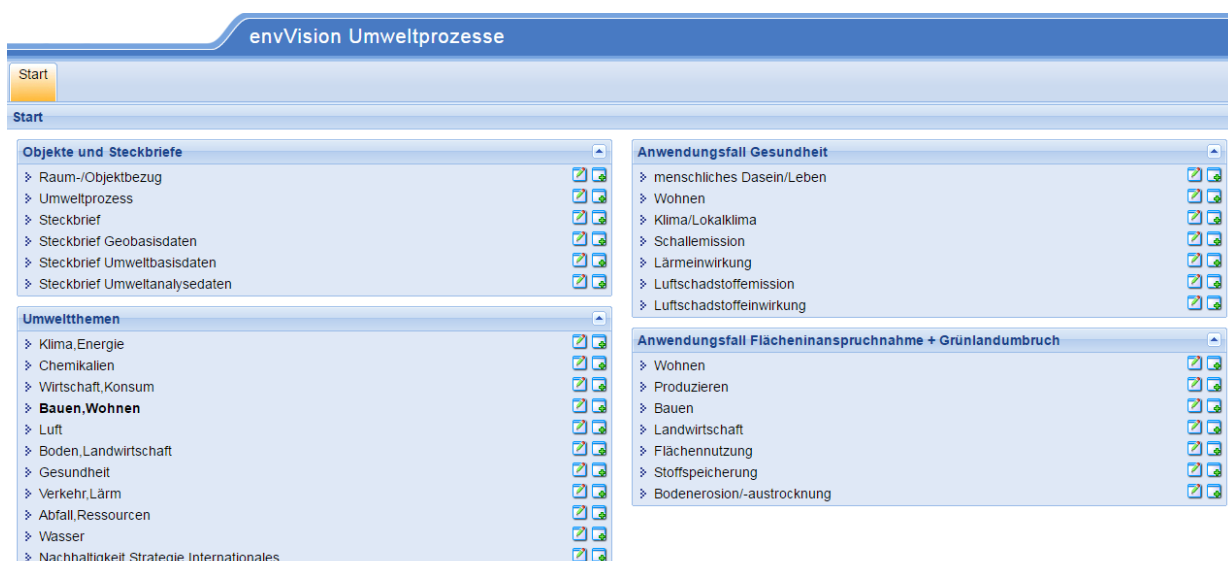
- Das Anwendungsdiagramm wird so interpretiert und übersetzt, dass ein Web-Service aufgesetzt wird, der die Kommunikation zwischen dem Clienten und dem Server übernimmt. Der Web-Service entspricht den Standards und kann somit von allen Clienten, die diesen Standard verstehen, verarbeitet werden. Die konkrete Ausprägung des Web-Services wurde ewds genannt (für envVision web data service). Der bereitgestellte envVision Web-Client verarbeitet die envVision-Strukturen bereits generisch, indem er diese in entsprechende Masken und Bewegungen umsetzt sowie die Funktionen der Datenverarbeitung kontextabhängig anbietet.

Es wird also ein Modell ausgearbeitet, das gleichzeitig Konzept und Entwicklerdokumentation ist und zu Programmcode wird. Durch seine Zweistufigkeit beschreibt das envVision-Modell sowohl die Datenhaltungskomponente und Datenverarbeitung als auch die Masken auf der Benutzeroberfläche und ihre Navigation. Die Stützpfeiler des modellgesteuerten und nutzerzentrierten Ansatzes von envVision sind folgende:

- Die Objektverwaltung erfolgt dreiteilig: Objektdaten, Sachdaten, Grafikdaten. Im allgemeinsten Fall werden für ein Objekt auch drei Tabellen angelegt.  
Objektdaten charakterisieren die Instanz selbst: die unveränderliche Objektidentität (ID) und den aktuellen Objektzustand (z. B. „in Planung“, „wirksam“, „in Überarbeitung“, „vergangen“).  
Über die Objektdaten kann jede Instanz dem Anwender mitteilen, in welcher Art und Weise er die Instanz bearbeiten kann / darf; so werden die Zugriffsrechte geregelt und eingehalten.  
Sach- und Grafikdaten sind Attribute zur Beschreibung des konkreten, historischen Zustands des Objekts.
- Die objektübergreifende Datenverarbeitung wird über die Assoziationen und ihre Eigenschaften, insbesondere die Multiplizitäten, gesteuert.
- Systemanalyseklassen werden zu Tabellen der Datenhaltungskomponente. Die Assoziationen verwalten ausschließlich Verknüpfungen zwischen ihnen. Durch die Beschränkung auf ausgewählte UML-Elemente oder (anders ausgedrückt) durch Verzicht auf unnötige Strukturen wird das Strukturanalysemodell übersetzbar.
- Anwendungsklassen werden zu Masken auf der Oberfläche im Web-Clienten. Die Bewegungen werden in der Navigation verarbeitet und im Navigationsbaum angeboten.

Abbildung 38 zeigt das Hauptmenü der envVision-Applikation, die im Rahmen des Vorhabens entstanden ist:

Abbildung 38: envVision-WebApplikation: Hauptmenü



Quelle: M.O.S.S., eigene Darstellung

Am Beispiel des Steckbriefs zu Umweltdaten wird in der folgenden Abbildung 39 eine Erfassungsmaske gezeigt. Die linke Spalte ist der Navigationsbaum, der das Wechseln zu zugeordneten Objekten (z. B. zu Steckbriefen von Geo-Daten, die zur Visualisierung herangezogen wurden oder Ursache-/Wirkungsprozesse beschreiben) ermöglicht. Im Menübalken werden die Funktionen zur Datenverarbeitung angeboten, wie Selektieren, Speichern, Löschen, Verbinden, Exportieren.

Die konkreten Objektdefinitionen, Inhalte und die Erfassungsvorschriften stehen im Handbuch zu den Programminhalten (s. Anlage 5). Die Bedienung des Systems wird im Handbuch zur Programmbedienung (s. Anlage 3) detailliert dargestellt.

Abbildung 39: envVision-WebApplikation: Beispiel für eine Erfassungsmaske

The screenshot displays the 'envVision Umweltprozesse' web application interface. The browser address bar shows 'uwv.moss-de.com/uwb/ext/#'. The application has a blue header with the title 'envVision Umweltprozesse'. Below the header, there's a navigation pane on the left with sections: 'Start', 'Steckbrief Umweltbasisdaten', 'Übergeordnete Objekte' (containing 'Umweltprozess'), 'Ausgewähltes Objekt' (containing 'Steckbrief Umweltbasisdaten'), 'Details' (containing 'Steckbrief (Speicherung)' and 'generisches Attribut zum Steckbrief'), and 'Zugeordnete Objekte' (containing 'Steckbrief Umweltanalysedaten - Auswertung', 'Steckbrief (Master)', 'Raum-/Objektbezug', 'auslösender Umweltprozess', and 'beeinflusster Umweltprozess'). The main content area is titled 'Steckbrief Umweltbasisdaten' and contains a form with the following fields:

- Allgemeine Informationen**
  - Art des Steckbriefs: Steckbrief Umweltbasisdaten
  - Titel: Feinstaubkonzentration 2013
  - Kurzbeschreibung\*: Feinstaubkonzentration (PM10) Jahresmittelwert 2013
  - Bemerkungen: (empty text area)
  - Nutzungsrechte/-beschränkungen\*: UBA-intern
  - Status des Datensatzes\*: in Bearbeitung (dropdown menu)
  - Quellenangabe: UBA
- Datenhaltung**
  - Steckbrief erstellt von: Fr. Richter (M.O.S.S.)
  - Ansprechpartner für Steckbrief\*: Fr. Huss, FG I 1.5
  - Datum des Eintrags: 18.05.2016
  - Link auf den Datensatz: http://uwv.moss-de.com/koncode/Coverhalt/results/PM10\_JMM\_2012\_710

At the bottom of the form, there are two buttons: 'Speichern & Schließen' and 'Speichern'.

Quelle: M.O.S.S., eigene Darstellung



## 5 Erprobung des methodischen Ansatzes im Praxistest

Anhand von drei ausgewählten Beispielthemen wurden in einem Praxistest die Umsetzbarkeit des Ansatzes erprobt und übertragbare Hinweise für die problem- und raumbezogene Modellierung abgeleitet. Der Test umfasste alle Schritte des Modellierungsprozesses von der Entwicklung des Analysemodells bis hin zur Erstellung von Visualisierungen und schloss auch die DV-technische Umsetzung des Analysemodells ein (s. Abbildung 3).

Als Modellgegenstände wurden für den Praxistest die folgenden Umweltprobleme bzw. -konflikte ausgewählt.

- ▶ Gesundheitsgefährdung durch Lärm, Luftschadstoffe und Hitze
- ▶ Verlust wertvoller landwirtschaftlicher Böden durch Flächeninanspruchnahme
- ▶ Grünlandumbruch

Die Auswahl der Themen orientierte sich an den Kriterien der politischen Relevanz, der Verfügbarkeit geeigneter Daten zur Visualisierung des Themas sowie einem guten Wissen über die zugrundeliegenden Wirkungszusammenhänge. In den folgenden Abschnitten werden die ausgewählten Themen zunächst inhaltlich vorgestellt und die ausgearbeiteten Analysemodelle präsentiert. Die ausgearbeiteten Visualisierungen zu den Themen werden genannt; sie sind dem Bericht in Anlage 2 beigelegt. Im Anschluss daran werden die relevanten Herausforderungen beschrieben, die während der Bearbeitung der Beispielthemen auftraten, und es werden die Lösungsansätze vorgestellt, wie mit diesen Herausforderungen umgegangen wurde bzw. umgegangen werden kann. Als Abschluss der einzelnen Kapitel zu den Beispielthemen werden Einschränkungen beschrieben sowie verschiedene Möglichkeiten, wie die in der Testphase erarbeiteten Produkte inhaltlich fortentwickelt werden können.

Die einzelnen Arbeitsschritte des Praxistests wurden jeweils in Abstimmung mit Experten aus den zuständigen Fachgebieten im UBA durchgeführt, um die wissenschaftlich-fachliche Akzeptanz der Analysemodelle sowie der auszuarbeitenden Visualisierungen sicherzustellen. Die Abstimmungen erfolgten in Form von insgesamt vier Expertengesprächen zum Thema Gesundheitsgefährdung, einem Expertengespräch zum Thema Bodenverlust sowie bilateral per Telefon bzw. E-Mail. Eingebunden in die Expertenkonsultation waren die in Tabelle 10 genannten Fachgebiete des UBA:

Tabelle 10: In die Expertenkonsultation eingebundene Fachgebiete des UBA

| Modellgegenstand   | Fachgebiete   |
|--|---|
| Gesundheitsgefährdung durch Lärm, Luftschadstoffe und Hitze                | FG I 3.4 Lärminderung bei Anlagen und Produkten, Lärmwirkungen<br>FG II 1.5 Umweltmedizin und gesundheitliche Bewertung<br>FG II 1.6 Expositionsschätzung, gesundheitsbezogene Indikatoren<br>FG II 4.1 Grundsatzfragen der Luftreinhaltung<br>FG II 4.2 Beurteilung der Luftqualität |
| Verlust wertvoller landwirtschaftlicher Böden durch Flächeninanspruchnahme | FG I 3.5 Nachhaltige Raumentwicklung, Umweltprüfungen<br>FG II 2.7 Bodenzustand und europäischer Bodenschutz<br>FG II 2.9 Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und internationaler Bodenschutz   |
| Grünlandumbruch  | FG I 2.3 Erneuerbare Energien<br>FG II 2.9 Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und internationaler Bodenschutz  |

## **5.1 Modellgegenstand „Gesundheitsgefährdung durch Lärm, Luftschadstoffe und Hitze“**

### **5.1.1 Vorstellung des Modellgegenstands**

#### **5.1.1.1 Relevanz**

Die Gesundheit des Menschen ist ein hohes Gut und durch das Grundrecht auf körperliche Unversehrtheit geschützt. Bezogen auf eine Gesundheitsgefährdung durch Lärm, Luftschadstoffe und Hitze wird der Schutz der menschlichen Gesundheit durch verschiedene fachrechtliche Normen, z. B. das Bundesimmissionsschutzgesetz, die Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen (39. BImSchV) zum Schutz vor Luftschadstoffen sowie die Verkehrslärmschutzverordnung (16. BImSchV) bzw. das Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm zum Schutz vor Verkehrslärm konkretisiert.

Lärm, Luftschadstoffe wie Feinstaub, Stickstoffdioxid und bodennahes Ozon sowie Hitze können jeweils für sich genommen die menschliche Gesundheit beeinträchtigen und z. B. Atemwegs- und Herz-Kreislauferkrankungen auslösen. Belastungen der menschlichen Gesundheit können vor allem in Gebieten entstehen, in denen zum einen die verschiedenen Belastungsfaktoren besonders ausgeprägt sind und in denen zum anderen die Bevölkerungsdichte und ggf. auch der Anteil empfindlicher Nutzungen oder empfindlicher Bevölkerungsgruppen hoch sind. Das sind in Deutschland vor allem die Ballungsräume, in denen eine hohe Emissionsquellendichte aus Verkehr, Industrie, Hausbrand etc. vorherrscht, in denen bereits heute bioklimatische Belastungen bestehen und in denen auch die Bevölkerungsdichte sowie ggf. auch der Anteil empfindlicher Nutzungen oder empfindlicher Bevölkerungsgruppen hoch sind.

In Deutschland gibt es derzeit 76 Städte mit über 100.000 Einwohnern, die zum überwiegenden Teil auch eine hohe Einwohnerdichte von über 1.000 Einwohnern pro Quadratkilometer aufweisen<sup>6</sup>. In diesen Städten wohnen insgesamt ca. 25 Mio. Menschen, d. h. etwa ein Drittel der deutschen Bevölkerung. Die derzeitige Bevölkerungsentwicklung in Deutschland ist geprägt von einem starken Zuzug in Ballungsräume, der sich nach der aktuellen Bevölkerungsprognose auch im Zeitraum bis 2030 fortsetzen wird (BiB 2014). Für die Zukunft ist also zu erwarten, dass der Bevölkerungsanteil, der den oben genannten gesundheitlichen Belastungsfaktoren ausgesetzt ist, steigen wird. Durch den steigenden Siedlungsdruck ist zudem auch damit zu rechnen, dass Flächen mit einer ausgleichenden Wirkung, z. B. Grünflächen im Siedlungsgebiet oder Offenland- und Waldflächen im Siedlungsumland, vermehrt für Siedlungszwecke in Anspruch genommen werden und ihre ausgleichende Wirkung eingeschränkt wird oder verloren geht.

#### **5.1.1.2 Ursache-Wirkungsbeziehungen**

Die Faktoren Lärm, Luftschadstoffe sowie Hitze können jeweils einzeln zur Belastung der menschlichen Gesundheit führen. Dabei ist das Ausmaß des gesundheitlichen Risikos einerseits abhängig von der Konzentration bzw. Intensität der Belastungsfaktoren und andererseits von der gesundheitlichen Konstitution der Betroffenen. Valide Aussagen zu Kombinationswirkungen und vor allem Mehrfachbelastungen liegen bisher allerdings nicht vor (Kühling 2012). Daher werden im Folgenden die Ursachen und Wirkungen der verschiedenen Belastungsfaktoren jeweils einzeln beschrieben.

### **Ursachen der Umweltbelastungen**

---

<sup>6</sup> vgl. Definition des Begriffs Ballungsraum nach der EU-Umgebungslärmrichtlinie: Gebiet mit einer Einwohnerzahl von über 100.000 und einer Bevölkerungsdichte von mehr als 1.000 Einwohnern je Quadratkilometer.

Umgebungs­lärm wird zum größten Teil durch Verkehr verursacht (Straßen, Schienenwege, Flugplätze) sowie durch Industrie und Gewerbe. Straßenverkehrslärm ist Lärm von Fahrzeugen auf öffentlichen Straßen. Die Lärmbelastung wird im Wesentlichen durch die Verkehrsstärke und die Lärmemissionen der Fahrzeuge bestimmt. Weitere wichtige Einflussgrößen sind die Kombination von Reifen und Fahrbahn sowie die geometrischen Verhältnisse bei der Schallausbreitung. Schienenverkehrslärm ist der Lärm von Fahrzeugen auf Schienenwegen (Schienenwege der Eisenbahnen und Straßenbahnen, auch Rangier- und Umschlagbahnhöfe). Problematisch sind vor allem Lärm-Hotspots entlang der europäischen Güterverkehrskorridore mit räumlich konzentrierten, extrem hohen Belastungen. Im Luftverkehr treten Lärmprobleme überwiegend durch Starts und Landungen in der Umgebung der Flugplätze bzw. Flughäfen auf. Hier erfolgen die Geräuschemissionen von Flugzeugen und Hubschraubern durch Triebwerke beziehungsweise Rotorblätter und durch die Wirbel der umströmenden Luft am Luftfahrzeug in niedriger Flughöhe. Diese Geräuschemissionen führen dadurch häufig zu Lärmbelastungen. Als Industrie- und Gewerbelärm wird sowohl der Lärm von großen Industriebetrieben als auch von kleineren Handwerksbetrieben bezeichnet. Der Begriff umfasst neben dem Lärm, der bei der Produktion entsteht, auch den Lärm von Straßen- und Schienenfahrzeugen auf dem Betriebs- oder Werksgelände sowie den Lärm des Liefer- und Kundenverkehrs (UBA 2014a).

Relevante Luftschadstoffe für Deutschland sind Stickstoffdioxid und Feinstaub sowie Ozon, da in Deutschland insbesondere die Konzentrationen von Stickstoffdioxid und Feinstaub im Vergleich zu den in der EU geltenden Grenzwerten zu hoch sind und die Ozonbelastungen die geltenden Ziel- und Schwellenwerte vielerorts überschreiten. Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ ) entsteht überwiegend als gasförmiges Oxidationsprodukt aus Stickstoffmonoxid bei Verbrennungsprozessen. Eine der Hauptquellen von Stickstoffoxiden ist der Straßenverkehr, so dass die Konzentrationen in der Luft in Ballungsräumen und entlang von Hauptverkehrsstraßen und Autobahnen am höchsten sind. Ozon ( $\text{O}_3$ ) wird in der Luft photochemisch aus Vorläufersubstanzen, zum Beispiel aus der Reaktion von Sauerstoff mit Stickoxiden aus dem Straßenverkehr unter Einwirkung von Sonnenlicht als gasförmiger, sekundärer Luftschadstoff gebildet. Sekundäre Schadstoffe sind Stoffe, die nicht direkt aus einer Quelle emittiert werden. Dies bedingt, dass  $\text{O}_3$  durchaus nicht nur in Ballungszentren erhöht sein kann, sondern auch in ländlichen Regionen (UBA 2014b). Unter dem Begriff Feinstaub (PM, particulate matter) wird der primär und sekundär gebildete Feinstaub zusammengefasst. Primärer Feinstaub entsteht direkt an der Quelle zum Beispiel bei Verbrennungsprozessen (Verkehr, Kraft- und Fernheizwerke, Abfallverbrennungsanlagen, private und gewerbliche Heizungsanlagen). Feinstaub besteht somit aus einem komplexen Gemisch fester und flüssiger Partikel und wird in unterschiedliche Fraktionen eingeteilt.  $\text{PM}_{10}$  hat einen maximalen Durchmesser von 10  $\mu\text{m}$ ,  $\text{PM}_{2,5}$  von 2,5  $\mu\text{m}$ . Entstehen die Partikel durch gasförmige Vorläufersubstanzen wie Schwefel- und Stickoxide, die ebenfalls aus Verbrennungsprozessen stammen, so werden sie als sekundärer Feinstaub bezeichnet.

Aus der Überwärmung der Städte können in heißen Sommermonaten gesundheitliche Belastungen für die Bevölkerung entstehen, wenn sich die Stadträume wegen ihrer spezifischen Charakteristik (dichte Bebauung, hoher Versiegelungsgrad, geringer Anteil von Grün- sowie Vegetations- und Wasserflächen etc.) tagsüber stark aufheizen, ohne sich in der Nacht im gleichen Maße wie das Umland abzukühlen. In Großstädten treten bereits heute sowohl „Heiße Tage“, an denen die maximale Lufttemperatur 30 °C überschreitet, als auch „Tropennächte“, in denen das Thermometer nicht unter 20 °C fällt, deutlich häufiger auf als im bundesweiten Mittel. Besonders ausgeprägt sind die Unterschiede in Jahren, in denen die Sommermonate überdurchschnittlich warm waren, z. B. 1994, 2003 und 2006. Zukünftig können sich diese Situationen häufen. Klimaprojektionen für Mitteleuropa zeigen, dass in der Folge des globalen Klimawandels die mittleren Temperaturen ansteigen werden und sich die Wettercharakteristik insgesamt ändern wird. Erwartet werden unter anderem mehr austauscharme Wetterlagen und häufigere thermische Extremwerte. In der Folge können auch die „Heißen Tage“ sowie die „Tropennächte“ zunehmen.

## Wirkungen der Umweltbelastungen

Lärm bezeichnet jegliche Schalleinwirkung, die belästigt, stört oder gesundheitliche Schäden hervorruft. Zu den sogenannten auralen Wirkungen zählen Beeinträchtigungen des Hörvermögens bis hin zur Schwerhörigkeit sowie zeitlich begrenzte oder dauerhafte Ohrgeräusche (Tinnitus), z. B. durch kurzzeitige hohe Schallspitzen oder Dauerschall. Schon bei niedrigen, nicht-gehörschädigenden Schallpegeln können sogenannte extra-aurale Wirkungen wie z. B. Schlafstörungen und Leistungsbeeinträchtigungen oder körperliche Stressreaktionen auftreten. Lärm ist somit ein wichtiger psychosozialer Stressfaktor. Er beeinträchtigt das subjektive Wohlempfinden und die Lebensqualität, vor allem aber auch die Gesundheit im engeren Sinn. Durch dauerhaftes Einwirken führt er zu chronischen Schlafstörungen, aktiviert das autonome Nervensystem und den Hormonhaushalt. In der Folge können sich der Blutdruck, die Herzfrequenz und andere Kreislauffaktoren verändern (UBA 2014c).

Die betrachteten Luftschadstoffe können sehr unterschiedliche Wirkungen haben. Bei längerer Einwirkung können höhere  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen zu chronischer Bronchitis oder auch zu einer Erhöhung der Empfindlichkeit gegenüber Atemwegsinfektionen führen. Vor allem für Asthmatiker können sie ein Problem sein, da sich eine Bronchialkonstriktion (Bronchienverengung) einstellen kann, die zum Beispiel durch die Wirkungen von Allergenen verstärkt werden kann (UBA 2014d). Die Feinstaubfraktionen  $\text{PM}_{10}$  und  $\text{PM}_{2,5}$  sind Mitte der 1990er Jahre wegen neuer Erkenntnisse über ihre Wirkungen auf die menschliche Gesundheit in den Vordergrund getreten. Die gesundheitlichen Wirkungen von Feinstaub reichen von Entzündungen der Atemwege bis zu verstärkter Plaquebildung in den Blutgefäßen. Die Vielfalt der Wirkungen ergibt sich unter anderem daraus, dass die Partikel je nach ihrer Größe unterschiedlich weit in den menschlichen Organismus eindringen.  $\text{PM}_{10}$  kann beim Menschen in die Nasenhöhle und die Luftröhre gelangen,  $\text{PM}_{2,5}$  bis in die kleinen Bronchien und Bronchiolen. Viele wissenschaftliche Untersuchungen haben das verstärkte Auftreten von Atemwegs- und Herz-Kreislaufkrankungen bei hohen Feinstaubkonzentrationen nachgewiesen. Gesundheitliche Risiken müssen insbesondere für Kinder und ältere Menschen sowie Personen mit schwerwiegenden Vorerkrankungen der Atemwege angenommen werden. Studien, die die Wirkungen von Feinstaub auf die Bevölkerung modellierten, ergaben in Europa eine rechnerische Verringerung der Lebenserwartung (UBA 2014e, UBA 2014f).

$\text{O}_3$  ist ein Reizgas und beeinträchtigt beim Menschen die Schleimhäute, die Atemwege und das Lungengewebe. Es können Befindlichkeitsstörungen wie Augentränen, Kratzen im Hals, Kopfschmerzen und Konzentrationsschwäche bis hin zu Einschränkungen der Lungenfunktion auftreten. Die akuten Reizerscheinungen an Augen und Schleimhäuten werden vor allem durch Begleitstoffe des Ozons hervorgerufen und sind von der körperlichen Aktivität weitgehend unabhängig. Ihr Ausmaß wird primär durch die Aufenthaltsdauer in der ozonbelasteten Atmosphäre bestimmt. Man schätzt, dass etwa 10 % der Bevölkerung besonders empfindlich auf Ozon reagieren.

Von Hitze betroffen sind vor allem ältere Menschen, chronisch Kranke, kleine Kinder und allein lebende Personen. Gesunde Personen können sich besser anpassen und den Hitzefolgen aktiv entgegensteuern. Gesundheitliche Beeinträchtigungen durch Hitze entstehen häufig infolge hoher Flüssigkeits- und Elektrolytverluste durch Schwitzen und infolge einer übermäßigen Belastung des Herz-Kreislaufsystems durch die Anforderung eines hohen Wärmetransports. In besonders heißen Jahren wie im Jahr 2003 kann es auch in Deutschland zu einem deutlichen Anstieg der Todesfälle in den Sommermonaten kommen. Europaweit waren damals durch Hitze in Folge des Hitzesommers schätzungsweise 52.000 Menschen verfrüht verstorben (Larsen 2006).

### 5.1.2 Analysemodell

Ausgehend von den vorab dargestellten Ursache-Wirkungsbeziehungen wurden Analysemodelle für die Teilthemen Lärm, Luftschadstoffe und Hitze erstellt und in dem in Abbildung 40 dargestellten Analysemodell zusammengefasst. Die Teil-Analysemodelle zu den einzelnen Belastungsfaktoren folgen in

den daran anschließenden Abbildungen. Die Darstellungen zu den Teil-Analysemodellen sind für sich jeweils deutlich ausführlicher als die Darstellung in der zusammengefassten Form. Dort sind insbesondere die Prozesse und deren Auslöser ausführlich benannt, die Einfluss auf den Umweltzustand der verschiedenen Betrachtungsobjekte haben können, und in ihrem Ursache-Wirkungszusammenhang dargestellt:

- ▶ Lokalklima: z. B. Flächennutzung / Vegetation, bauliche Nutzung (Höhe, Dichte), Albedo
- ▶ Luft: z. B. Emissionen aus Verkehr, Industrie und Gewerbe, Hausbrand, Landwirtschaft etc.
- ▶ Akustische Umwelt: z. B. Geräuschemissionen von Verkehr, Industrie und Gewerbe, Nachbarschaften

Es ist zu beachten, dass während der Abstimmung mit den Experten (s. Kap. 4) beschlossen wurde, das Analysemodell auf die Luftschadstoffe Feinstaub  $PM_{10}$ , Ozon und Stickstoffdioxid zu begrenzen. Weitere Luftschadstoffe, z. B. auch  $PM_{2,5}$  wurden in der Bearbeitung nicht berücksichtigt. Da bislang noch kein ausreichendes Wissen über die kombinierte Wirkung der unterschiedlichen Belastungsfaktoren auf die menschliche Gesundheit besteht, wurde für das Thema eine deskriptive Überlagerung der Belastungsfaktoren und der potenziellen Betroffenheit vorgenommen. Ein konkretes Ziel-Umweltschutzgut wurde daher nicht festgelegt.

Abbildung 40: Analysemodell „Gesundheitsgefährdung durch Lärm, Luftschadstoffe und Hitze“

## Gesundheitsgefährdung durch Lärm, Luftschadstoffe, Wärmebelastung

### Legende

#### Betrachtungsobjekt

Menschliche Nutzung

relevante Eigenschaft

Umwelt(-schutzgut)

relevante Eigenschaft

Ziel-Umwelt(-schutzgut)

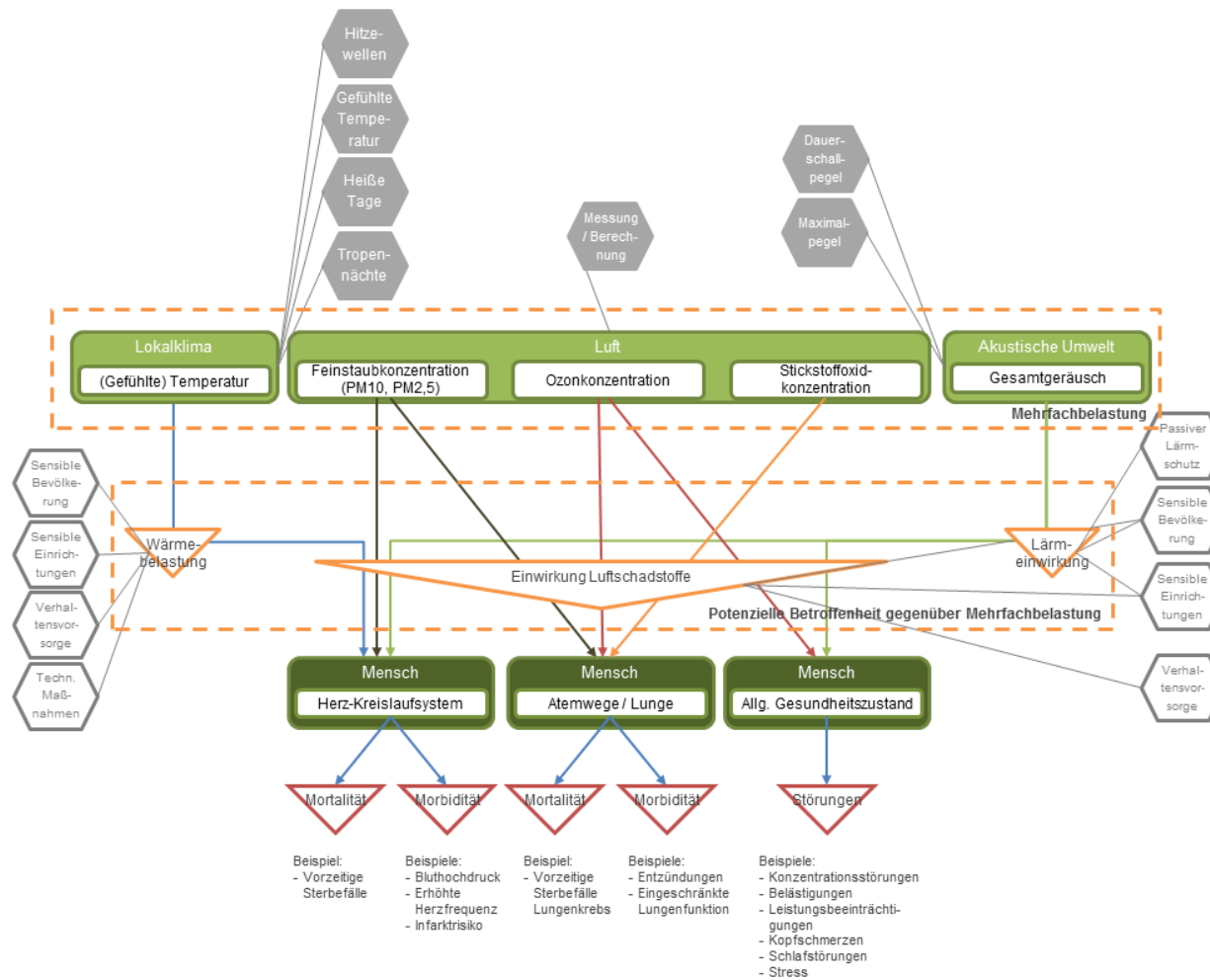
relevante Eigenschaft

Beobachtungsgröße Zustandsbeschreibung, -bewertung, Modellprüfung

Wirkung/Risiko Mögliche Folgewirkung / Risiko

Prozesse (gestrichelte Prozesse sind für das Modell nicht relevant)  
Prozess Benennung des Prozesses

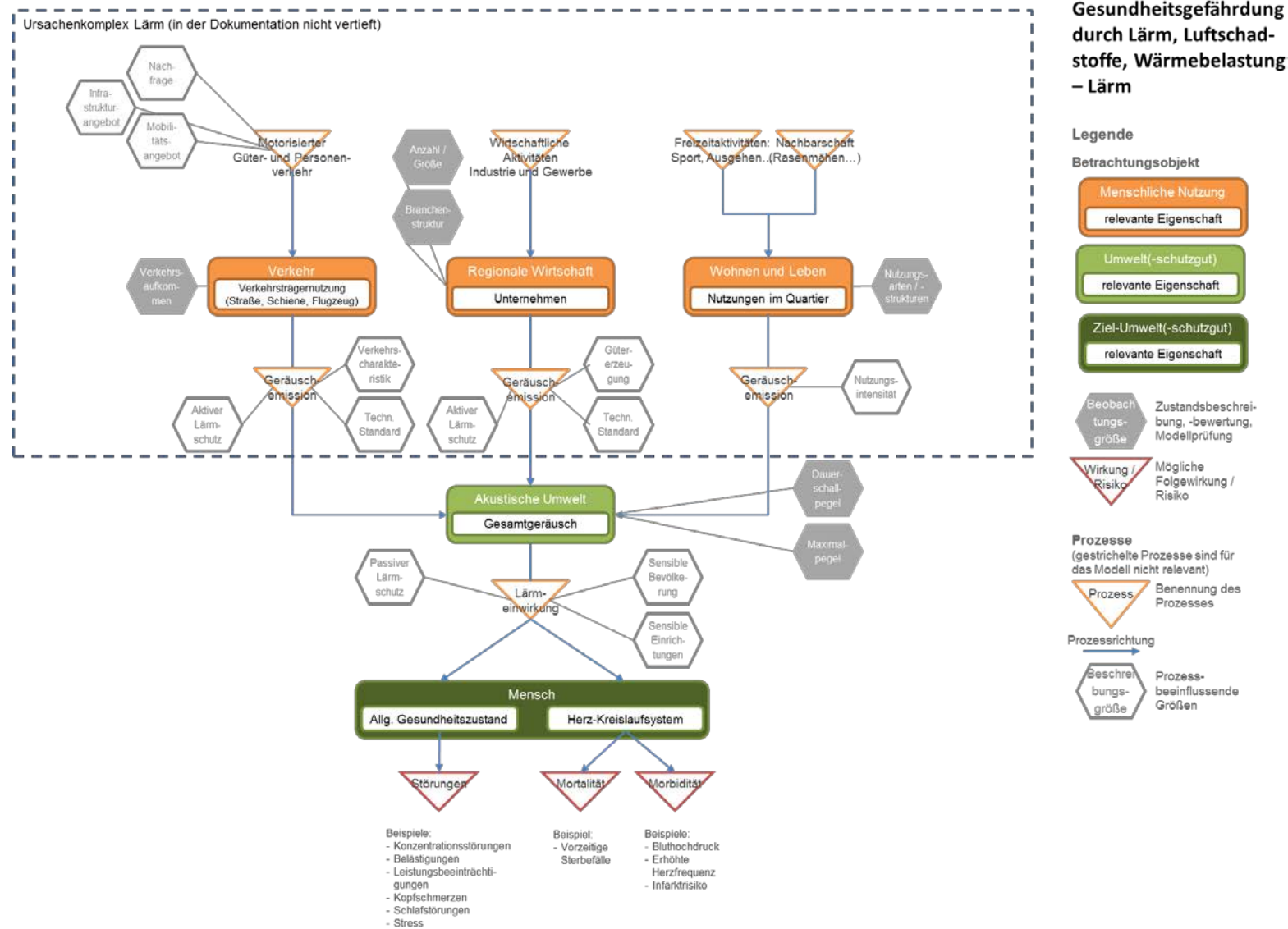
Prozessrichtung  
Beschreibungsgröße Prozess-beeinflussende Größen



Quelle: Bosch & Partner GmbH, eigene Darstellung

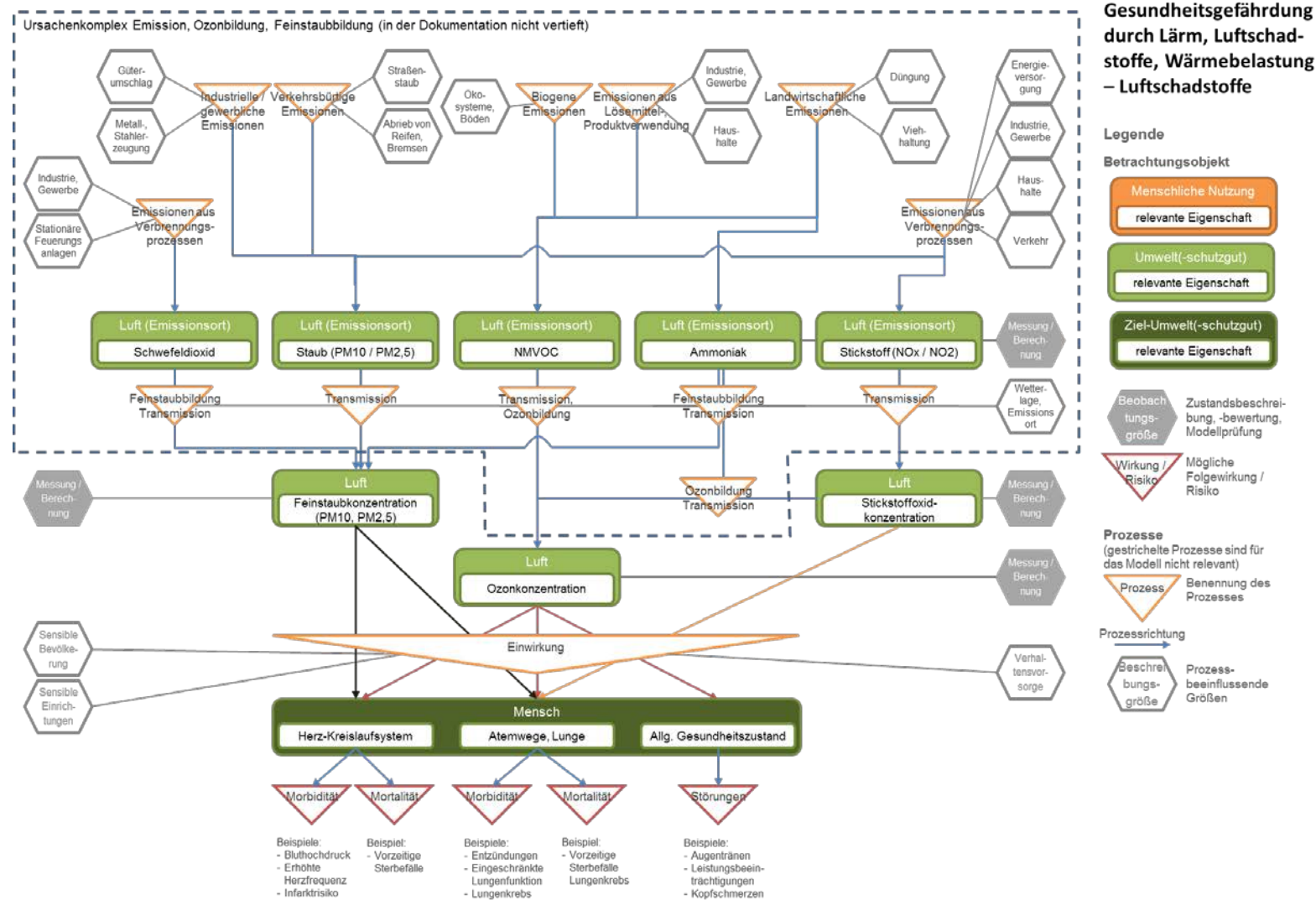


Abbildung 41: Analysemodell „Gesundheitsgefährdung durch Lärm, Luftschadstoffe und Hitze“ – Teilmodell Lärm



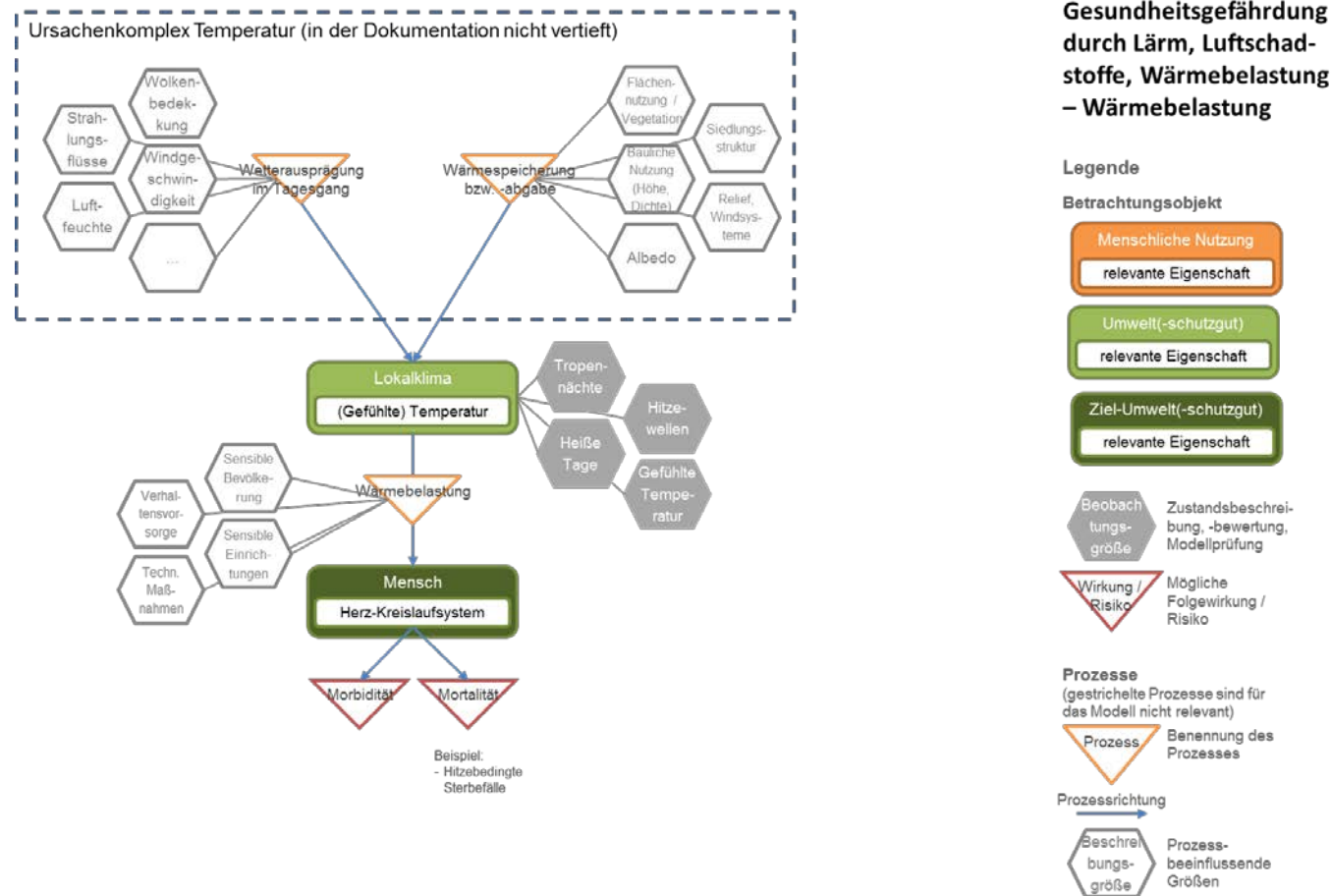
Quelle: Bosch & Partner GmbH, eigene Darstellung

Abbildung 42: Analysemodell „Gesundheitsgefährdung durch Lärm, Luftschadstoffe und Hitze“ – Teilmodell Luftschadstoffe



Quelle: Bosch & Partner GmbH, eigene Darstellung

Abbildung 43: Analysemodell „Gesundheitsgefährdung durch Lärm, Luftschadstoffe und Hitze“ – Teilmodell Hitze



Quelle: Bosch & Partner GmbH, eigene Darstellung

### 5.1.3 Visualisierung

#### 5.1.3.1 Datengrundlage

Die Visualisierungen zum Modellgegenstand „Gesundheitsgefährdung durch Lärm, Luftschadstoff und Hitze“ wurden in enger Abstimmung mit Experten des UBA entwickelt. Grundlage für die Ausarbeitung waren die folgenden Datensätze, deren Auswahl ein Ergebnis der Expertengespräche im UBA war. Zur Verfügbarkeit weiterer Datensätze s. auch die Dokumentation des Analysemodells in Anlage 1.

Tabelle 11: Verwendete Daten für die Visualisierung des Modellgegenstands „Gesundheitsgefährdung durch Lärm, Luftschadstoffe und Hitze“

| Teilthema                        | Parameter                             | Raumbezug                                  | Datenquelle |
|----------------------------------|---------------------------------------|--|-------------|
| <b>Lärm</b>                      | Lärm-Index $L_{DEN}$                  | Immissions-Polygone (Isophonen-Klasse END) | UBA         |
| <b>Luftschadstoffe</b>           | $PM_{10}$ – Jahresmittelwert          | 7km*8km-Raster                             | UBA         |
|                                  | $PM_{10}$ – Überschreitungshäufigkeit | 7km*8km-Raster                             | UBA         |
|                                  | Ozon – Überschreitungshäufigkeit      | 7km*8km-Raster                             | UBA         |
|                                  | Stickstoffdioxid – Jahresmittelwert   | 7km*8km-Raster                             | UBA         |
| <b>Hitze</b>                     | Heiße Tage                            | 1km*1km-Raster                             | DWD         |
|                                  | Hitzewarnungen                        | Warnkreise                                 | DWD         |
| <b>Potenzielle Betroffenheit</b> | Bevölkerungsdichte                    | Kreise, kreisfreie Städte                  | StBA        |

#### 5.1.3.2 Erzeugte Visualisierungen

Auf der Basis der genannten Datensätze wurden die möglichen Visualisierungsgegenstände zum Analysemodell „Gesundheitsgefährdung durch Lärm, Luftschadstoffe und Hitze“ herausgearbeitet und in Abstimmung mit den UBA-Experten für die Umsetzung ausgewählt. Die Visualisierungen umfassen die in Tabelle 12 genannten Darstellungen, differenziert nach den Modellzwecken. Sämtliche Visualisierungen sind dem Schlussbericht als Anlage 2 in Kap. 1 beigelegt.

Tabelle 12: Visualisierungen zum Modellgegenstand „Gesundheitsgefährdung durch Lärm, Luftschadstoffe und Hitze“

| Modellzweck        | Visualisierungsgegenstand            | Umsetzung   |
|--------------------|--------------------------------------|---|
| <b>Beschreiben</b> | Auftreten von Belastungen durch Lärm | Deutschlandweite gemeinsame Darstellung von vektorbasierten Datensätzen der Lärmbelastung durch Straßen-, Schienen- und Luftverkehr außerhalb von Ballungsräumen<br>Modellgestützte Gesamtlärberechnung ausgehend von diesen Datensätzen für das Beispiel Sachsen |

| Modell-zweck                              | Visualisierungsgegenstand  | Umsetzung   |
|---|--|---|
|   | Auftreten von Belastungen durch Feinstaub  | Deutschlandweite Abbildung von rasterbasierten Datensätzen für die Kurz- und für die Langzeitbelastung durch Feinstaub PM <sub>10</sub>   |
|   | Auftreten von Belastungen durch Ozon   | Deutschlandweite Abbildung von rasterbasierten Datensätzen für die Kurzzeitbelastung durch Ozon   |
|   | Auftreten von Belastungen durch Stickstoffoxide  | Deutschlandweite Abbildung von rasterbasierten Datensätzen für die Langzeitbelastung durch Stickstoffoxide  |
|   | Auftreten von Belastungen durch Hitze  | Deutschlandweite Abbildung von Hitzewarnungen für die Warnkreise des DWD (vektorbasierter Datensatz der Gebietsabgrenzungen)<br>Deutschlandweite Abbildung von rasterbasierten Datensätzen für die Heißen Tage                                |
|   | Bevölkerungsdichte je Gebietseinheit   | Deutschlandweite Abbildung der Bevölkerungsdichte auf Ebene der Kreise und kreisfreien Städte (vektorbasierter Datensatz der Gebietseinheiten)  |
|   | Mehrfachbelastung durch gesundheitsgefährdende Faktoren Lärm, Luftschadstoffe, Hitze                     | Teiltransparente Überlagerung von raster- bzw. vektorbasierten Daten für Gebiete mit Richtwert- bzw. Grenzwertüberschreitungen<br>Verschneidung von raster- bzw. vektorbasierten Daten für Gebiete mit Richtwertüberschreitungen <sup>7</sup> |
|   | Mehrfachbelastung durch Kurz- und Langfristbelastungen durch PM <sub>10</sub>                            | Verschneidung von vektorbasierten Daten für Gebiete mit Richtwertüberschreitungen von Feinstaub PM <sub>10</sub>  |
| <b>Erklären</b>                           | Keine eigene Darstellung   |   |
| <b>Risiken / Konflikte identifizieren</b> | Von Mehrfachbelastungen durch gesundheitsgefährdende Faktoren betroffene Bevölkerung                     | Teiltransparente Überlagerung der Verschneidung bzw. Überlagerung von raster- bzw. vektorbasierten Daten für Gebiete mit Richtwert- bzw. Grenzwertüberschreitungen und der Bevölkerungsdichte je Gebietseinheit                               |
|   | Von Mehrfachbelastung durch Kurz- und Langfristbelastungen durch PM <sub>10</sub> betroffene Bevölkerung | Teiltransparente Überlagerung der Verschneidung von raster- bzw. vektorbasierten Daten für Gebiete mit Richtwertwertüberschreitungen von PM <sub>10</sub> und der Bevölkerungsdichte je Gebietseinheit  |

## 5.1.4 Herausforderungen und Lösungen

### 5.1.4.1 Inhaltliche Herausforderungen

#### Harmonisierung der Bewertung der verschiedenen Parameter

<sup>7</sup> zu den Begriffen „Teiltransparente Überlagerung“ bzw. Verschneidung s. Abschnitt „Darstellung der räumlichen Überlagerung unterschiedlicher Sachverhalte“, S. 94

Die verschiedenen Parameter, die für die Charakterisierung der Mehrfachbelastung ausgewählt worden waren, werden in verschiedenen (physikalischen) Einheiten gemessen. Der Lärm-Index  $L_{DEN}$  wird in Dezibel dB(A) angegeben. Für die Luftqualität erfolgen die Angaben zu den Jahresmittelwerten der Stoffkonzentrationen von Feinstaub  $PM_{10}$  bzw. Stickstoffdioxid in der Einheit  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Die Angabe zur Überschreitungshäufigkeit von Grenz-, Richt- oder Zielwerten für Feinstaub  $PM_{10}$  bzw. Ozon erfolgt ebenso wie die Angabe zur Hitze (Heiße Tage bzw. Hitzewarnungen) als Anzahl von Tagen. Für eine gemeinsame Darstellung der Mehrfachbelastung anhand dieser Parameter bzw. eine Bewertung oder rechnerische Zusammenführung der Datensätze bedurfte es eines methodischen Ansatzes, der es erlaubt, unterschiedliche Aspekte trotz ihrer Verschiedenartigkeit gemeinsam zu betrachten. Wissenschaftliche Vorgaben im Sinne definierter Algorithmen oder quantifizierter Ursache-Wirkungsbeziehungen, die Grundlage für die Ermittlung einer quantifizierten Mehrfachbelastung durch Lärm, Luftschadstoffe und Hitze bzw. die Visualisierung der Gesundheitsgefährdungen durch diese Faktoren sein könnten, liegen bislang nicht vor. Daher wurde ein an planerischen Methoden und Verfahren orientiertes Verfahren gewählt, nach dem als Grundlage für die Zusammenführung der Faktoren zunächst eine Kategorisierung vorgenommen wird.

Im Rahmen der Expertengespräche wurden entschieden, eine zweistufige Kategorisierung (Überschreitung bzw. Nicht-Überschreitung) der verschiedenen Parameter unter Bezugnahme auf gesundheitsbezogene Wertschwellen aus Richtlinien, Gesetzen und deren Umsetzungsverordnungen, aber auch aus bestehenden Warnsystemen (z. B. Hitzewarnungen des DWD) zu verwenden. Eine in der planerischen Praxis häufig angewendete mehrstufige Kategorisierung (z. B. Kühling 2012, Fürst & Scholles 2008, Klimeczek et al. 2011) konnte nicht durchgeführt werden, da keine ausreichenden Kenntnisse für eine vergleichbare, auf die jeweiligen gesundheitlichen Auswirkungen bezogene Definition von Kategorien vorliegen. Die gemeinsame Darstellung bzw. die Verschneidung von Parametern zum Analysemodell „Gesundheitsgefährdung durch Lärm, Luftschadstoffe und Hitze“ wurde unter Bezugnahme auf die in Tabelle 13 zusammengestellten Wertschwellen umgesetzt.

Tabelle 13: Wertschwellen für die Visualisierung des Modellgegenstands „Gesundheitsgefährdung durch Lärm, Luftschadstoffe und Hitze“

| Belastungs-faktor      | Parameter                           | Wertschwelle 1<br>(Richtwert / Zielwert)  | Wertschwelle 2<br>(Grenzwert / Zulässige Zielwertüberschreitung)  |
|------------------------|-------------------------------------|---|---|
| <b>Lärm</b>            | Lärm ganztägig                      | EU Quality Target: $L_{DEN}$ 50 dB(A) WHO / UBA: 50 / 55 dB(A) (LAeq16h)  | UBA: 65 dB(A) Auslösekriterium für Lärmaktionsplanung (Handlungsziel)   |
| <b>Luftschadstoffe</b> | $PM_{10}$ – Jahresmittelwert        | WHO: $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  | EU: $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$   |
|                        | $PM_{10}$ – Überschreitungen        | WHO: 3 Überschreitungen des Tagesmittelwerts $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zulässig   | EU: 35 Überschreitungen des Tagesmittelwerts $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zulässig                             |
|                        | Stickstoffdioxid – Jahresmittelwert | WHO: $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  | EU: $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$   |
|                        | Ozon - Überschreitungen             | WHO: keine Überschreitung eines 8h-Mittelwerts von $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ EU: keine Überschreitung eines 8h-Mittels von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Langfrist-Ziel) | 25 Überschreitungen des 8h-Mittelwerts $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (gleitendes 3jährliches Mittel, Zielwert) |



| Belastungs-<br>faktor | Parameter      | Wertschwelle 1<br>(Richtwert / Zielwert)   | Wertschwelle 2<br>(Grenzwert / Zulässige Zielwert-<br>überschreitung)                  |
|-----------------------|----------------|--|--|
| <b>Hitze</b>          | Heiße Tage     | Für diesen Parameter ist die begründete Definition einer Wertschwelle nicht möglich. |  |
|                       | Hitzewarnungen | Vorliegen mindestens einer Hitzewarnung  | Für diesen Parameter ist die begründete Definition einer Wertschwelle 2 nicht möglich. |

### Vergleichbare Legenden für verschiedene Parameter

Mit Blick auf die separate Darstellung von einzelnen Belastungsfaktoren konnte kein Visualisierungsansatz ermittelt werden, der für alle Parameter, die für den Modellgegenstand „Gesundheitsgefährdung durch Lärm, Luftschadstoffe und Hitze“ dargestellt werden sollen, eine einheitliche Visualisierungsvorgabe, z. B. mit einer einheitlich an vergleichbaren, gesundheitsbezogenen Wertschwellen orientierten Legende mit einheitlicher Farbgebung, anbietet. Für die Visualisierungen wurde daher in Abstimmung mit den Experten der Klassifizierungsansatz direkt bzw. sinngemäß angewendet, der für den Kartendienst „Luftschadstoffbelastung in Deutschland“ des UBA entwickelt wurde<sup>8</sup>. Dieser sieht eine weitgehend gleiche Anzahl von i. d. R. elf Klassen mit definierten, weitgehend äquidistanten Grenzen vor. Die Klassengrenzen und die Farbgebung orientieren sich dabei in Teilen an Richt-, Grenz- oder Zielwerten, indem z. B. für Parameter mit einer gesetzlich festgelegten Anzahl maximal zulässiger Überschreitungstage die Anzahl zulässiger Überschreitungstage den Übergang von Blau nach Gelb markiert (s. Abbildung 44).

Abbildung 44: Legende für die Häufigkeit der Überschreitung des Tagesmittelwerts von 50 µg/m<sup>3</sup> für Feinstaub PM<sub>10</sub> im Kartendienst „Luftschadstoffbelastung in Deutschland“

| Klasse 1 | Klasse 2 | Klasse 3  | Klasse 4  | Klasse 5  | Klasse 6  | Klasse 7  | Klasse 8  | Klasse 9  | Klasse 10 | Klasse 11 |
|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 0-7 Tage | > 7 Tage | > 14 Tage | > 21 Tage | > 28 Tage | > 35 Tage | > 42 Tage | > 49 Tage | > 56 Tage | > 63 Tage | > 70 Tage |

Bosch & Partner GmbH: eigene Darstellung nach Kartendienst „Luftschadstoffbelastung in Deutschland“

Diese Herangehensweise wurde unter Bezugnahme auf die in Tabelle 13 enthaltenen Wertschwellen umgesetzt und für die Kartendarstellungen zum Modellzweck „Beschreiben“ angewendet (s. Tabelle 12, s. Anlage 2 Kap. 1).

### Darstellung der räumlichen Überlagerung unterschiedlicher Sachverhalte

Neben der Bildung von vergleichbaren Legenden stellte die Darstellung der sich räumlich überlagern den Belastungsfaktoren eine weitere Herausforderung zum Thema „Gesundheitsgefährdung durch Lärm, Luftschadstoffe und Hitze“ dar. Die Herausforderung besteht darin, dass der Ablesbarkeit bzw. der einem Betrachter zumutbaren Komplexität von grafischen räumlichen Darstellungen, z. B. Karten, Grenzen gesetzt sind. Bei den Visualisierungsüberlegungen zur Mehrfachbelastung durch die genannten Faktoren wurden insgesamt sechs Parameter berücksichtigt (s. Tabelle 13; der Parameter Heiße Tage konnte nicht berücksichtigt werden, da keine gesundheitsbezogenen Wertschwellen definiert

<sup>8</sup> <http://gis.uba.de/Website/luft/index.html>

werden konnten). Selbst in dem einfachen Fall, dass für die Darstellung der Parameter jeweils nur zwischen der Überschreitung bzw. Nicht-Überschreitung einer Wertschwelle unterschieden wird, ergeben sich daraus bereits 64 denkbare Kombinationen unterschiedlicher Belastungsausprägungen. Da diese Komplexität nicht visuell in einer Karte ablesbar ist wurde vereinbart, lediglich die Häufigkeit der Überschreitungen je Raumeinheit darzustellen. Auf eine visuelle Differenzierung der Parameter wird verzichtet. Hierfür wurden zwei unterschiedliche Darstellungs- bzw. Berechnungsmethoden angewendet:

- ▶ **Teiltransparente Darstellungen:** Die einzelnen Belastungsfaktoren werden im gleichen Farbton jeweils transparent dargestellt. Dabei wird jeder Parameter im gleichen Transparenzgrad dargestellt; überschreiten alle Parameter die jeweilige Wertschwelle, ist die Fläche vollständig abgedeckt (0 % Transparenz). Beispiel: Bei fünf Parametern wird jeweils ein Transparenzgrad von 80 % bzw. ein Deckungsgrad von 20 % verwendet (s. Abbildungen 10 in Anlage 2). Die Darstellung unterschiedlicher Farben ist in diesem Fall nicht möglich.
- ▶ **Verschneidung:** Die Häufigkeit der Überschreitung von Wertschwellen wird mittels einer GIS-Verschneidung ermittelt. Das Ergebnis kann im Gegensatz zur Darstellung mit Transparenzen in einer Farbskala, z. B. von Gelb über Rot nach Violett dargestellt werden (s. Abbildungen 11 in Anlage 2).

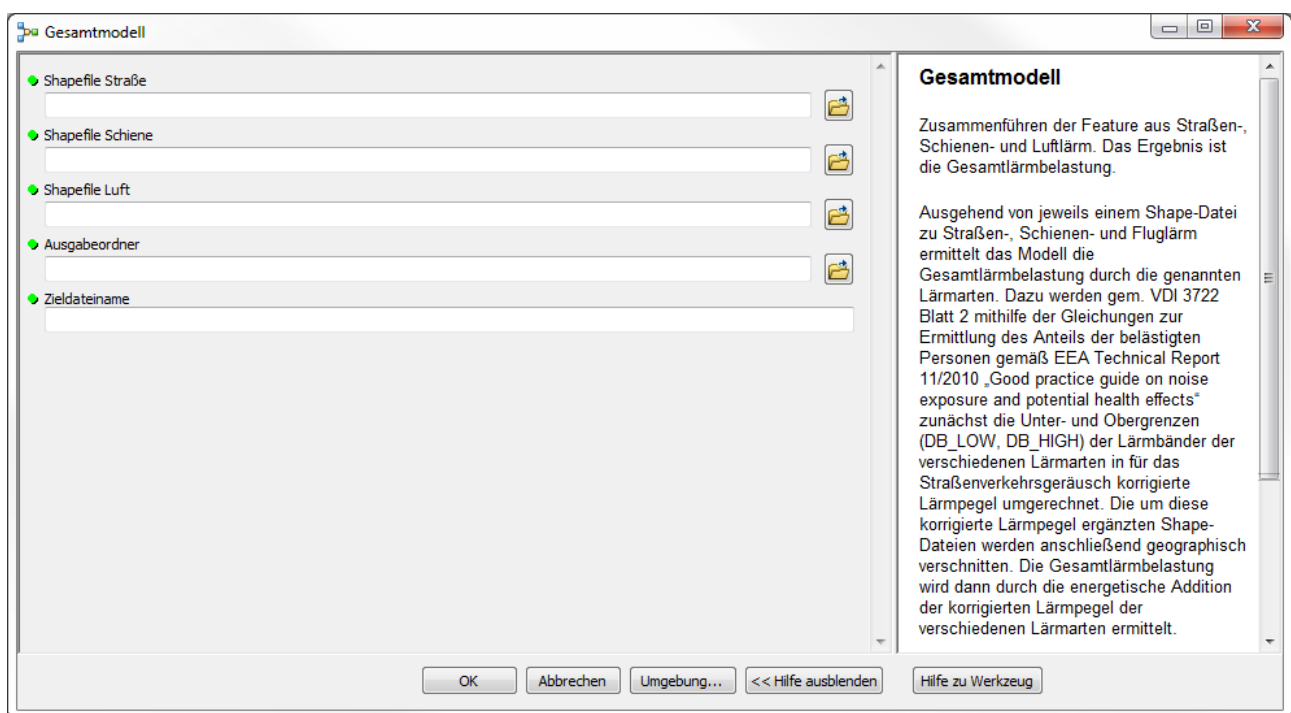
#### 5.1.4.2 DV-technische Herausforderungen

##### Berechnung der Gesamtbelastung durch Lärm

Für den Belastungsfaktor Lärm lagen Daten aus den Lärmkartierungen im Kontext der EU-Umgebungslärm-Richtlinie für die Verkehrsträger Straße und Schiene sowie für die Fluglärmbelastung vor. Die Kartierungen wurden getrennt für die verschiedenen Lärmarten durchgeführt, d. h. die Informationen für die einzelnen Lärmarten können sich räumlich überlagern, ohne dass die additiven Effekte der Überlagerung aber berücksichtigt werden können. In VDI 3722 Blatt 2 (VDI 2013) ist ein Vorgehen für die Ermittlung der Gesamtlärmbelastung beschrieben, das auf den im EEA-Technical Report 11/2010 (EEA 2010) vorgestellten Expositions-Wirkungsbeziehungen aufbaut. Das Vorgehen sieht im Kern die Ermittlung eines auf Straßenverkehrsräusche bezogenen Substitutionspegels für die verschiedenen Lärmarten und dessen anschließende logarithmische Addition vor. Für die Berechnung der Substitutionspegel ist als Zwischenschritt zunächst die Berechnung des Anteils der durch die einzelnen Lärmarten belastigten Personen erforderlich.

Dieses Vorgehen wurde mithilfe des ArcGIS-Modelbuilder in ein GIS-Tool umgesetzt, das es erlaubt, jeweils eine Shape-Datei zu den Lärmarten Straßen-, Schienen- und Fluglärm als Eingangsdatensätze zu überlagern und daraus neue eine Shape-Datei mit der Gesamtlärmbelastung durch die drei Lärmarten zu erzeugen (s. Abbildung 45). Als Eingangslärmpegel werden dabei jeweils die Mittelwerte der Lärmbänder verwendet, die jeweils einen Bereich von 5 dB(A) abdecken. Das GIS-Tool kann als Teil einer Toolbox direkt in den Expert-Client ArcMap eingebunden werden.

Abbildung 45: Benutzeroberfläche des GIS-Tools zur Gesamtlärberechnung



Bosch & Partner GmbH: eigene Darstellung

Im Rahmen der Testphase wurde das entwickelte Tool erfolgreich anhand von Lärmdaten des Freistaates Sachsen getestet (s. Anlage 2, Abbildung 2). Eine bundesweite Anwendung war im Rahmen des Vorhabens aufgrund des hohen Aufbereitungsbedarfs für die Daten nicht möglich.

### Harmonisierung von Raster- und Shape-Dateien

In die Berechnung zur Mehrfachbelastung gehen zahlreiche Inputdatensätze in z. T. sehr unterschiedlichen Datenformaten ein. U. a. stehen beispielsweise Daten zu den unterschiedlichen Luftschadstoffen als Vektordaten zur Verfügung; die Anzahl der Hitzetage liegt hingegen im Rasterformat vor. Rasterdaten wiederum können in unterschiedlicher Zellgröße vorliegen. Mit keinem der ESRI ArcGIS-Tools ist es möglich, in einer Funktion beide Datenformate (Vektor und Raster) zu verarbeiten. Um hier dem Nutzer die Arbeit einer getrennten Berechnung und anschließenden Zusammenführung von wiederum unterschiedlichen Ergebnisformaten abzunehmen, wurde ein Workflow zur Harmonisierung von Raster- und Vektordaten entwickelt. Dieser Workflow ist generisch angelegt, d. h. es können sowohl Vektor- als auch Rasterdaten als Inputdatensätze verarbeitet werden. Im Workflow selbst werden die Vektor- und Rasterdaten jeweils auf Basis eines Rastertemplates harmonisiert. Die Auflösung des Ergebnisdatensatzes wurde wiederum generisch gehalten und kann je nach Bedarf eingegeben werden.

#### 5.1.5 Fazit

##### 5.1.5.1 Einschränkungen

Im Zuge der Bearbeitung des Analysemodells „Gesundheitsgefährdung durch Lärm, Luftschadstoffe und Hitze“ traten mehrere Umstände zutage, die eine Visualisierung von kumulativen Belastungen durch die verschiedenen Faktoren und deren Interpretation einschränken.

**Fehlende Informationen zu Expositions-Wirkungsbeziehungen für die verwendeten Parameter:**

Wirkungswissen liegt für die verschiedenen Parameter in unterschiedlichem Maß vor. Während z. B. für Lärm Expositions-Wirkungsbeziehungen für den verwendeten Parameter  $L_{DEN}$  in Form mathematischer Funktionen vorliegen, sind entsprechende Konkretisierungen z. B. für die Auswirkungen einer unterschiedlichen Häufigkeit von klimatischen Kenntagen, z. B. Heiße Tage oder Tage mit Tropennächten, oder von Tagen mit einer Überschreitung des Grenzwerts für Feinstaub  $PM_{10}$  nicht bekannt. Eine Abschätzung und Visualisierung der gesundheitlichen Auswirkungen schon der einzelnen Parameter, z. B. des Anteils von Menschen mit gesundheitlichen Einschränkungen, ist damit nicht konsistent möglich.

#### **Fehlende Kenntnisse zur kumulativen Wirkung der verschiedenen Belastungsfaktoren:**

Hinsichtlich der kumulativen Auswirkung der verschiedenen Belastungsfaktoren Lärm, Luftschadstoffe und Hitze auf die menschliche Gesundheit bestehen große Unsicherheiten. So sind die einzelnen Belastungsfaktoren zwar gut hinsichtlich ihrer gesundheitlichen Auswirkungen untersucht (Lärm: z. B. WHO 1999, WHO 2009, EEA 2010; Luftschadstoffe: z. B. WHO Europe 2006, WHO Europe 2013a und b; Hitze: z. B. Scherer et al. 2013). Die Faktoren sind aber zum einen nicht durchgängig hinsichtlich der im Vorhaben zur Verfügung stehenden Parameter untersucht (z. B. liegen Auswertungen zum Zusammenhang von unterschiedlichen Temperaturschwellen und deren gesundheitlichen Auswirkungen vor, nicht aber Untersuchungen zur jährlichen Häufigkeit von Heißen Tagen oder Tropennächten und deren gesundheitlichen Folgen). Zum anderen liegen für die gewählten Parameter für Lärm, Luftschadstoffen und Hitze keine Erkenntnisse vor, die für eine Bewertung der kumulativen gesundheitlichen Auswirkungen oder des kumulativen Risikos ausreichen würden. So ist unklar, ob und wie sich z. B. kumulative Richtwert-, Grenzwert- oder Zielwert-Überschreitungen der unterschiedlichen Belastungsfaktoren verstärken und wie diese den Ausprägungsgrad von einzelnen oder multiplen gesundheitlichen Wirkungen beeinflussen.

#### **Daten geben keine Auskunft über das tatsächliche kumulative Auftreten von Belastungen:**

Für die Auswertungen und Visualisierungen wurden Daten zum jährlichen Auftreten von Belastungssituationen (Hitze, Luftschadstoffe) bzw. zur durchschnittlichen Belastung (Lärm) verwendet. Anhand dieser Daten kann aber zum einen nicht abgeleitet werden, ob die ermittelten Belastungssituationen zeitlich synchron erfolgt sind, d. h. ob es überhaupt zu einer kumulativen Belastung gekommen ist. Zum anderen kann anhand einer Überlagerung der Überschreitungshäufigkeit von unterschiedlichen Wertschwellen nicht ermittelt werden, in welcher Intensität diese Überschreitungen aufgetreten sind. Auch die Intensität von möglicherweise aufgetretenen kumulativen Belastungssituationen kann nicht dargestellt werden, da keine ausreichenden Kenntnisse für eine vergleichbare, auf die jeweiligen gesundheitlichen Auswirkungen bezogene Definition für eine mehrstufige Kategorisierung vorliegen (s. Kap. 4.1.4.1).

#### **Unterschiedliche Qualität der Datengrundlagen:**

Zwar ist allen verwendeten Datensätzen gemein, dass sie mittels Modellierungen erzeugt werden. Während die Datensätze sowohl zur Luftschadstoffbelastung als auch zur Hitze jährlich in einem Raster für das ganze Gebiet der Bundesrepublik Deutschland erzeugt werden, erfolgt die Ermittlung der Daten zur Lärmbelastung nur für ausgewählte Teilbereiche und nur im sechsjährlichen Turnus der Berichterstattung für die EU-Umgebungs-lärmrichtlinie.

#### **Eingeschränkte räumliche Informationen zur potenziellen Betroffenheit:**

Informationen zu Bevölkerungsstand und -struktur liegen als Raster bzw. bezogen auf Gebietseinheiten vor. Die rasterbezogenen Informationen werden i. d. R. anhand der Bebauungsdichte und der Bevölkerungszahl der Gebietseinheiten ermittelt. Die Bevölkerungszahl von Gebietseinheiten wird ausgehend von den Melderegistern und den Ergebnissen von Zensusbefragungen ermittelt. Die Informationen treffen allerdings keine Aussage dazu, ob sich Menschen zum Zeitpunkt einer möglichen Belastung tatsächlich in diesem Raum aufhalten und gegenüber der Belastung tatsächlich exponiert sind. Zudem ist die Vulnerabilität unterschiedlicher Personen bzw. Personengruppen z. B. gegenüber den Belastungsfaktoren sehr verschieden. Es gibt Personen, die als multi-morbid gelten und gegenüber allen genannten Faktoren vulnerabel sein können. Es gibt aber auch Personen oder Personengruppen die nur gegenüber einzelnen Faktoren wie z. B. Ozon und Hitze (Sommer) oder Feinstaub (Winter) vulnerabel sind. Die Vulnerabilität gegenüber der kumulativen Wirkung der Belastungsfaktoren ist insgesamt noch wenig untersucht. Es ist davon auszugehen, dass die Vulnerabilität gegenüber den kumulativen Wirkungen ebenfalls individuell sehr verschieden ist oder aber andere, bislang nicht berücksichtigte Faktoren, z. B. Pollen, noch hinzukommen. Die Darstellung der potenziellen Betroffenheit anhand der Bevölkerungsdichte kann daher nur als sehr grobe Annäherung gelten. Aufgrund der unterschiedlichen Vulnerabilitäten konnten die Auswertungen aber auch nicht auf eine konkrete, besonders vulnerable Bevölkerungsgruppe, z. B. Altersgruppe, zugeschnitten werden.

Die verschiedenen Einschränkungen führen dazu, dass eine gesundheitsbezogene Bewertung hinsichtlich der kumulativen oder evtl. exponentiellen gesundheitlichen Wirkung der Faktoren aus den Darstellungen derzeit nicht abgeleitet werden kann. Die Darstellungen zeigen vielmehr deskriptiv, in welchen Räumen es in welcher Häufigkeit zu Überschreitungen der verschiedenen definierten Wertschwellen kommt.

#### **5.1.5.2 Weiterentwicklungsmöglichkeiten und Forschungsbedarf:**

Folgende Möglichkeiten bzw. Anforderungen bestehen, um das Analysemodell und die auf seiner Grundlage entwickelten Visualisierungen weiterzuentwickeln:

##### **Spezifizierung von Auswertungen anhand der bestehenden Daten bzw. Datenquellen:**

Eine differenzierende Auswertung kann z. B. vorgenommen werden, in dem die zu kombinierenden Belastungsfaktoren nach ihrem jahreszeitlichen Auftreten ausgewählt werden. Z. B. könnten für die Sommermonate die Belastungsfaktoren Ozon und Hitze sowie die ganzjährig auftretenden Faktoren Lärm und Stickstoffdioxid kombiniert werden; für die Wintermonate könnte die Belastung von Feinstaub zusammen mit den ganzjährig auftretenden Belastungsfaktoren ausgewertet werden.

Eine Weiterentwicklungsmöglichkeit für die Auswertung der DWD-Hitzewarnungen könnte über eine differenzierende Auswertung nach den zwei unterschiedlichen Schwellenwerten der Wärmebelastung erfolgen. Die Ausgabe von Hitzewarnungen wird wie folgt differenziert:

- ▶ Vorhersage einer starken Wärmebelastung ab einer Gefühlten Temperatur (GT) von 32 °C an zwei aufeinanderfolgenden Tagen sowie zusätzlich nur geringe nächtliche Abkühlung,
- ▶ Vorhersage einer extremen Wärmebelastung ab einer GT von 38 °C.

##### **Verwendung präziserer Datengrundlagen zur Darstellung der Synchronität und zeitlichen Verteilung von Belastungen:**

Für die Parameter, die letztlich auf tagesbezogenen Auswertungen beruhen, z. B. Hitzewarnungen, Häufigkeit von Überschreitungstagen, wäre zu prüfen, ob durch eine Verwendung der Tagesdaten oder ggf. sogar von tageszeitbezogenen Daten die tatsächliche Häufigkeit von kumulativen Belastungssituationen herausgearbeitet werden könnte, d. h. das synchrone Auftreten von Überschreitungen definierter Wertschwellen für verschiedene Belastungsfaktoren. Darüber hinaus wäre zu prüfen, ob auf der

Grundlage tagesgenauer Daten z. B. auch Auswertungsformen entwickelt werden können, welche die zeitliche Verteilung bzw. Dauer der Belastungssituation berücksichtigen und darstellen können.

Zeitlich differenzierte Daten würden es auch erlauben, die Intensität der Überschreitung von Richt- oder Grenzwerten zu berücksichtigen. Der bisher verwendete Parameter für die Ozonbelastung (Anzahl der Überschreitungstage des EU-Zielwerts) erlaubt z. B. keine Differenzierung der tatsächlich vorliegenden Konzentrationen. Es ist daher nicht ablesbar, ob an einzelnen Tagen auch die Informations- oder gar die Alarmschwelle ( $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bzw.  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  jeweils im 1-Stunden-Mittel) überschritten wurde. Die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen bei verschiedenen Konzentrationen können aber sehr unterschiedlich sein und wären für eine Gefährdungsbeurteilung schon für den einzelnen Stoff zwingend erforderlich.

Anhand präziserer Datenquellen wäre auch ein direkter Bezug zum WHO-Richtwert möglich. Der aktuell verwendete Datensatz zu Ozon (Anzahl der Überschreitungstage des EU-Zielwerts) ermöglicht keine Legendenbildung oder Bewertung, die sich einerseits auf den WHO-Richtwert, andererseits auf den EU-Zielwert bezieht. Der Richtwert gemäß WHO Air Quality Guidelines beträgt  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Luft, die nicht überschritten werden sollen. Der EU-Zielwert liegt hingegen bei  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und darf derzeit 25 Mal im dreijährlichen Mittel überschritten werden. Ab 2020 sollen auch für den EU-Zielwert keine Überschreitungen mehr auftreten. Für die Weiterentwicklung der Darstellung ist zu berücksichtigen, dass die eingehenden Datensätze so zur Verfügung gestellt werden, dass ein möglichst einheitlicher Maßstab für alle Parameter verwendet werden kann.

#### **Berücksichtigung weiterer Belastungsfaktoren:**

Neben den bereits berücksichtigten Faktoren könnten zukünftig weitere Belastungsfaktoren, z. B. die Pollenbelastung, einbezogen werden, um zusätzliche Auswertungsmöglichkeiten zu schaffen. Voraussetzung hierfür ist eine ausreichende deutschlandweite Verfügbarkeit entsprechender Datensätze.

#### **Konkretisierung der potenziellen Betroffenheit:**

Es ist zu prüfen, ob die Auswertungen noch konkreter auf bestimmte Personengruppen zugeschnitten werden können. Dies wäre z. B. möglich durch die Festlegung eines einzelnen Ziel-Umweltschutzguts, um die Bewertung der Belastungsfaktoren ggf. noch stärker auf diesen Aspekt fokussieren zu können.

#### **Berücksichtigung neuer Daten bzw. neuer Methoden:**

Für die Darstellungen zur Luftqualität kann demnächst auf die derzeit in Weiterentwicklung befindliche optimierte Interpolation der Luftqualitätsdaten zugegriffen werden. Diese erlauben eine feiner räumlich Auflösung in einem  $1\text{km} \times 1\text{km}$ -Raster. Für eine zusammenfassende Darstellung zur Luftqualität sollte zukünftig die Entwicklung des harmonisierten europäischen Luftqualitätsindex berücksichtigt werden (DG Environment 2015).

#### **Forschungsaktivitäten:**

Um der grundlegenden Schwierigkeit zu begegnen, dass bislang nicht die notwendigen fachlichen Grundlagen existieren, um die kumulativen Belastungen durch die Faktoren Lärm, Luftschadstoffe und Hitze zu bewerten, wären vertiefende Untersuchungen erforderlich. Zur Frage der Bewertung von Mehrfachbelastungen wäre insbesondere detaillierter zu untersuchen, ob und wie sich z. B. kumulative Richtwert-, Grenzwert- oder Zielwert-Überschreitungen unterschiedlicher Belastungsfaktoren verstärken und wie sich dies auf den Ausprägungsgrad von einzelnen oder multiplen gesundheitlichen



Wirkungen auswirkt. In diesem Zuge könnte auch untersucht werden, ob eine Wichtung der unterschiedlichen Faktoren als Grundlage für eine Zusammenschau abgeleitet werden kann, was auf der Basis des aktuellen Wissensstands nicht sinnvoll möglich ist.

Im Rahmen von Forschungsaktivitäten wäre auch zu untersuchen, ob für die Parameter Heiße Tage in Kombination mit Tropennächten, die durch den DWD flächendeckend bereitgestellt werden, Werteschwellen definiert werden können, die Aussagen hinsichtlich einer Gesundheitsgefährdung zulassen. Es wäre außerdem prüfenswert, ob die Entwicklung eines neuen Parameters zu Hitzeperioden möglich ist, der das gemeinsame Auftreten von Heißen Tagen und Tropennächten beinhaltet, die aufgrund des Fehlens einer thermophysiologischen Entlastung mit besonders starken Gesundheitsgefährdungen verbunden sind.

## **5.2 Modellgegenstand „Verlust wertvoller landwirtschaftlicher Böden durch Flächeninanspruchnahme“**

### **5.2.1 Vorstellung des Modellgegenstands**

#### **5.2.1.1 Relevanz**

Flächen(neu)inanspruchnahme (Flächenverbrauch) ist die nichtstoffliche Bodenbelastung, die durch anthropogene Einflüsse auf die Bodenqualität verursacht wird. Der Sachverständigenrat für Umweltfragen stellt im Umweltgutachten 2016 fest, dass der zu hohe Flächenverbrauch nach wie vor eines der schwerwiegenden ungelösten Umweltprobleme in Deutschland ist. Die dadurch entstehenden Schäden an Natur und Umwelt durch Versiegelung und Zerschneidung sind erheblich und zumeist irreversibel (SRU 2016a: 10). Die Reduzierung der Flächeninanspruchnahme für bauliche Tätigkeiten ist daher eines der zentralen Nachhaltigkeitsthemen. Die Nationale Nachhaltigkeitsstrategie gibt als Ziel vor, bis zum Jahr 2020 eine maximale tägliche Flächenneuinanspruchnahme von 30 Hektar nicht mehr zu überschreiten. Andere Strategien wie z. B. die Nationalen Biodiversitätsstrategie übernehmen dieses Ziel. Das 30-Hektar-Ziel bemisst sich anhand der in der Flächennutzungsstatistik ausgewiesenen Größe der Siedlungs- und Verkehrsfläche bzw. an deren Zuwachs. Für die Zeit nach 2020 unterstützt der SRU die vom Bundesrat beschlossene Zielvorstellung, den Flächenverbrauch bereits bis spätestens 2030 auf netto null zu senken, d. h. unter Berücksichtigung von Flächenrecycling und der Rückführung von Flächen keine zusätzliche Fläche für Siedlung und Verkehr in Anspruch zu nehmen (SRU 2016: 268). Für das Umweltschutzgut Boden bedeutet die bauliche Inanspruchnahme von Flächen den kompletten oder partiellen Verlust seiner verschiedenen Funktionen. Diese genießen grundsätzlich gesetzlichen Schutz, z. B. durch das Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG), das Bundes-Naturschutzgesetz (BNatSchG) oder das Raumordnungsgesetz (ROG); im Bodenschutzgesetz schließt dieser Schutz ausdrücklich auch die Produktionsfunktion ein.

Die Schwierigkeiten bei der Erreichung des 30-Hektar-Ziels führen dazu, dass die Problematik immer wieder auf die politische Agenda kommt, wobei sich der Blickwinkel auf die Thematik verändert. Unter anderem vor dem Hintergrund einer steigenden Nachfrage nach produktiven landwirtschaftlichen Flächen (u. a. als Folge der Energiewende und des steigenden Bedarfs von energetisch nutzbarer Biomasse) erfolgt zunehmend eine differenzierte Bewertung der Qualität und Funktion der Flächen, die am stärksten für bauliche Zwecke in Anspruch genommen werden. Die ursprünglich vor allem mit ökologischen Argumenten geführte Debatte um Flächeninanspruchnahme und Zerschneidung erhält damit auch eine stärker ökonomische geprägte Komponente. Ökonomische Faktoren haben ihrerseits allerdings wiederum Rückwirkungen auf die Ökologie: Der Verlust landwirtschaftlicher Flächen führt aufgrund der damit verbundenen Pachtpreissteigerung in der Tendenz zu einer Intensivierung der landwirtschaftlichen Nutzung und erhöht den Druck auf naturschutzfachlich und ökologisch hochwertigere Flächen.

### 5.2.1.2 Ursache-Wirkungsbeziehungen

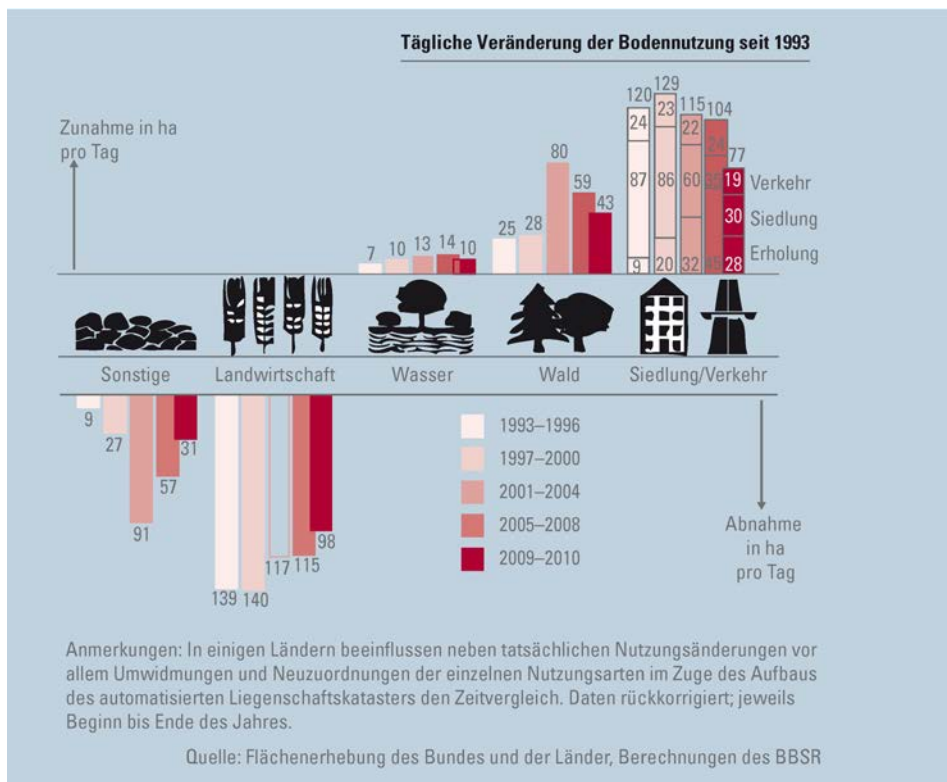
#### Ursachen der Umweltbelastungen

Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum führen i. d. R. zu einer vermehrten Nachfrage nach Flächen (Wohngebäude- und Freiflächen sowie Flächen für industrielle / gewerbliche Nutzung). Eine stärkere Abkoppelung des Flächenverbrauchs vom Bruttoinlandsprodukt wird zwar angestrebt, konnte aber bisher nicht realisiert werden. Insbesondere hohe Bevölkerungszahlen, eine hohe Zahl von Haushalten, hohe Beschäftigtenzahlen und ein starkes BIP steigern die Nachfrage nach zusätzlichen baulich nutzbaren Flächen (zu den Einflussfaktoren auf die Flächeninanspruchnahme vgl. Siedentop et al. 2009; Distelkamp et al. 2009). Die Flächennachfrage hat Auswirkungen auf die Baulandpreise, die Preise für Wohneigentum und Mieten. Vor allem in prosperierenden Ballungszentren steigen die Baulandpreise überproportional und erhöhen den Druck auf bisher nicht baulich genutzte Flächen. Die Flächeninanspruchnahme für bauliche Zwecke konzentriert sich besonders stark in den Ballungsräumen, in denen ein hohes Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum stattfindet. So entstehen die meisten neuen Siedlungsflächen im verdichteten Umland von Kernstädten; gemeinsam mit den Kernstädten machen sie über die Hälfte des Gesamtanstiegs der Siedlungs- und Verkehrsfläche aus (Hoymann et al. 2012). Aufgrund der oftmals bereits bestehenden Flächenknappheit und der hohen Preise wird gerade in Ballungszentren die verfügbare Fläche i. d. R. aber sorgsamer bewirtschaftet als in eher ländlichen Räumen und wächst pro Kopf und auch prozentual langsamer. In stagnierenden und schrumpfenden Räumen werden die Ausweisung von Baugebieten und deren kostengünstige Vermarktung dagegen in Teilen als eine Maßnahme gesehen, der Dynamik von Abwanderung etc. entgegenzuwirken. Trotz stagnierender oder gar abnehmender Bevölkerungszahlen kann es hier zu einer weiteren Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche kommen.

#### Wirkungen der Umweltbelastungen

In der Gesamtbilanz geht der Siedlungsflächenzuwachs nach wie vor im Wesentlichen zu Lasten von Landwirtschaftsflächen (s. Abbildung 46). Der Verlust wertvoller Acker- und Weideflächen durch Bebauung und Versiegelung ist jedoch nicht umkehrbar; die wertvollen Böden sind für die landwirtschaftliche Produktion dauerhaft verloren. Nach den Ergebnissen einer Modellierung durch das BBSR wird auch für die weitere Entwicklung davon ausgegangen, dass Böden mit hoher Ertragsfähigkeit von Umwidmungen überproportional betroffen sein werden (Goetzke et al. 2014).

Abbildung 46: Tägliche Veränderung der Bodennutzung seit 1993



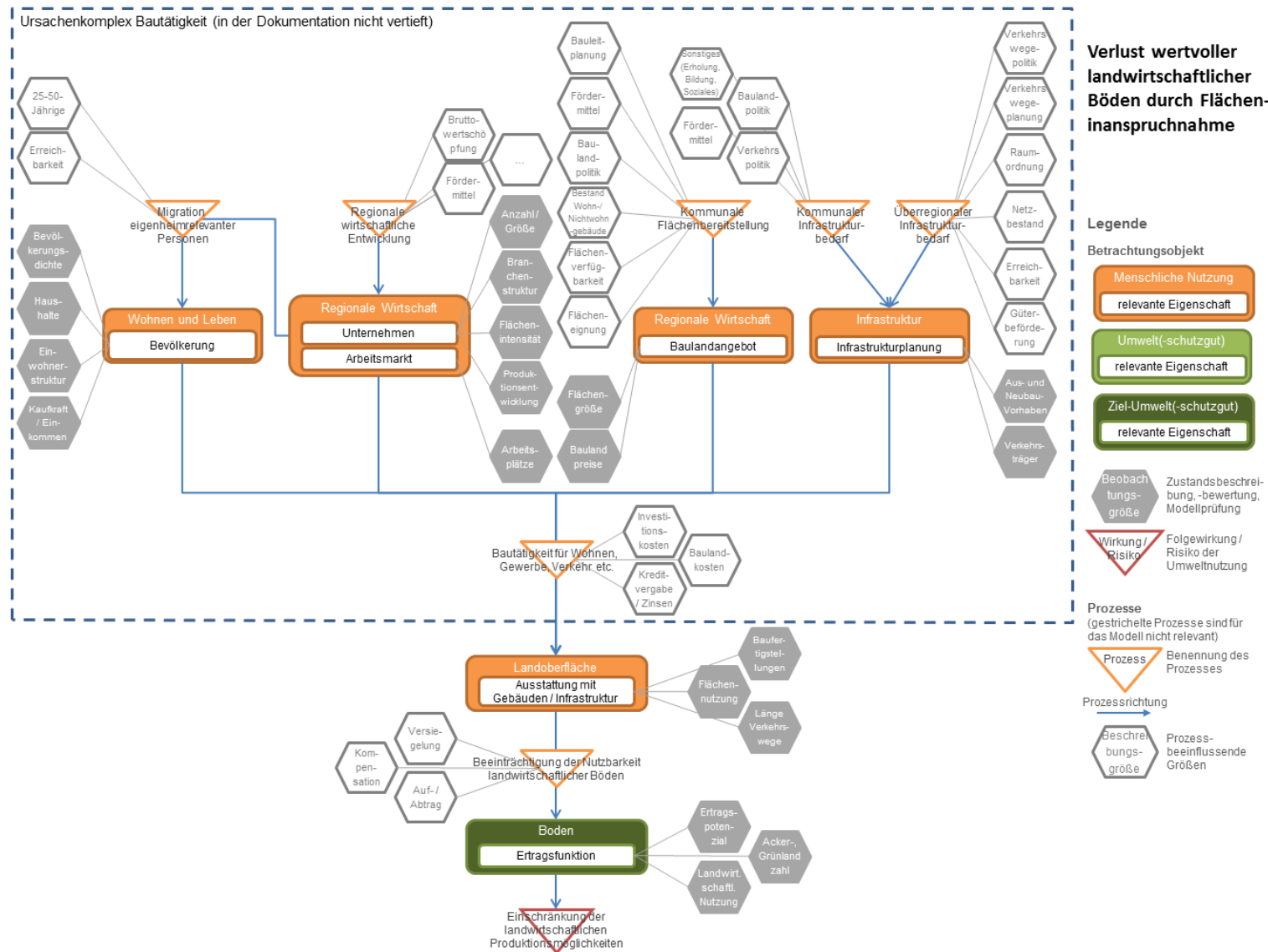
Quelle: Hoymann et al. 2012

Es ist zu beachten, dass die in der Flächennutzungsstatistik ausgewiesene Siedlungs- und Verkehrsfläche verschiedene (statistische) Kategorien umfasst: Gebäude- und Freifläche einschließlich Wohnen, Betriebsfläche ohne Abbau- und Erholungsfläche einschließlich Grünanlagen, Friedhofsfläche, Verkehrsfläche. Siedlungs- und Verkehrsfläche umfassen damit auch einen erheblichen Anteil unbebauter und nicht versiegelter Flächen. d. h. die Siedlungs- und Verkehrsfläche darf nicht mit „versiegelter Fläche“ gleichgesetzt werden. Hochrechnungen ergeben, dass rund die Hälfte der Siedlungs- und Verkehrsfläche versiegelt ist, Verkehrsflächen stärker, Erholungsflächen weniger stark (Gunreben et al. 2007). Während bei der Versiegelung von Flächen die Bodenfunktionen einschließlich der Produktionsfunktion i. d. R. vollständig verloren gehen, ist das bei den nicht versiegelten Flächenanteilen der Siedlungs- und Verkehrsfläche nicht der Fall. Für eine landwirtschaftliche Nutzung stehen aber auch diese Flächen nicht mehr zur Verfügung.

### 5.2.2 Analysemodell

Die Recherche der Ursache-Wirkungsbeziehungen zur Flächeninanspruchnahme und zu deren möglichen Auswirkungen auf landwirtschaftliche Böden mündete in die Entwicklung des Analysemodells „Verlust wertvoller landwirtschaftlicher Böden durch Flächeninanspruchnahme“ (s. Abbildung 47). Das Ziel-Umweltschutzgut des Modells ist das Ertragspotenzial des Bodens. Als Einflussgröße für den Verlust wird ausschließlich die menschliche Siedlungs- und Infrastrukturentwicklung mit ihren verschiedenen nachfrage- und angebotsseitigen Einflussfaktoren in den Blick genommen. Weitere mögliche Einflussfaktoren, z. B. die Erosion durch Wind oder Wasser, wurden in Abstimmung mit den Experten nicht berücksichtigt.

Abbildung 47: Analysemodell „Verlust wertvoller landwirtschaftlicher Böden durch Flächeninanspruchnahme“



Bosch & Partner GmbH:  
eigene Darstellung

### 5.2.3 Visualisierung

#### 5.2.3.1 Datengrundlage

Die Visualisierungen zum Modellgegenstand „Verlust wertvoller landwirtschaftlicher Böden durch Flächeninanspruchnahme“ wurden in Abstimmung mit Experten des UBA entwickelt. Grundlage für die Ausarbeitungen war die in Tabelle 14 dargestellte, ebenfalls mit den Experten des UBA abgestimmte Auswahl an Datensätzen. Zur Verfügbarkeit weiterer Datensätze s. auch die Dokumentation des Analysemodells in Anlage 1.

Tabelle 14: Verwendete Daten für die Visualisierung des Modellgegenstands „Verlust wertvoller landwirtschaftlicher Böden durch Flächeninanspruchnahme“

| Teilthema  | Parameter   | Raumbezug                 | Datenquelle |
|--|---|---------------------------|-------------|
| <b>Bodenfruchtbarkeit</b>                          | Ackerbauliches Ertragspotenzial nach dem Müncheberger Soil Quality Rating                             | 250m*250km-Raster         | BGR         |
| <b>Siedlung und Infrastruktur</b>                  | Bodenfläche nach Art der tatsächlichen Nutzung  | Kreise, kreisfreie Städte | StBA        |
|  | Siedlungsstrukturelle Kreistypen in Deutschland   | Kreise, kreisfreie Städte | BBSR        |
| <b>Einflussfaktoren der Flächeninanspruchnahme</b> | Verfügbares Einkommen der privaten Haushalte einschließlich privater Organisationen ohne Erwerbszweck | Kreise, kreisfreie Städte | StBA        |
|  | Personen im Bauherrenalter (30 bis 50 Jahre) – Bevölkerungsstand nach Altersgruppen                   | Kreise, kreisfreie Städte | StBA        |
|  | Baulandverkäufe   | Kreise, kreisfreie Städte | StBA        |

#### 5.2.3.2 Erzeugte Visualisierungen

Auf der Basis der genannten Datensätze wurden die möglichen Visualisierungsgegenstände zum Analysemodell „Verlust wertvoller landwirtschaftlicher Böden durch Flächeninanspruchnahme“ herausgearbeitet und in Abstimmung mit den UBA-Experten für die Umsetzung ausgewählt. Die Visualisierungen umfassen die in Tabelle 15 genannten Darstellungen, differenziert nach den Modellzwecken. Sämtliche Visualisierungen sind dem Schlussbericht als Anlage 2 in Kap. 2 beigelegt.

Tabelle 15: Visualisierungen zum Modellgegenstand „Verlust wertvoller landwirtschaftlicher Böden durch Flächeninanspruchnahme“

| Modellzweck        | Visualisierungsgegenstand                                       | Umsetzung  |
|--------------------|---|--|
| <b>Beschreiben</b> | Ausdehnung und Verteilung wertvoller landwirtschaftlicher Böden | Deutschlandweite Abbildung des rasterbasierten Datensatzes zum „Ackerbaulichen Ertragspotenzial“ nach dem Müncheberger Soil Quality Rating |

| Modellzweck                               | Visualisierungsgegenstand   | Umsetzung  |
|---|---|--|
|   | Ausdehnung und Verteilung wertvoller landwirtschaftlicher Böden differenziert nach siedlungsstrukturellem Raumtyp | Deutschlandweite Abbildung des „Ackerbaulichen Ertragspotenzials“ nach dem Müncheberger Soil Quality Rating bezogen auf die Gebietseinheiten der Kreise und kreisfreien Städte; differenziert nach städtischem und ländlichem Raum |
|   | Veränderung der für Siedlung und Infrastrukturen genutzten Bodenfläche  | Deutschlandweite Abbildung auf Ebene der Kreise und kreisfreien Städte (vektorbasierter Datensatz der Gebietseinheiten)  |
|   | Ursachenkomplex Bautätigkeit – Ausprägung des Einflussfaktors Bevölkerung im Bauherrenalter                       | Deutschlandweite Abbildung auf Ebene der Kreise und kreisfreien Städte (vektorbasierter Datensatz der Gebietseinheiten)  |
|   | Ursachenkomplex Bautätigkeit – Ausprägung des Einflussfaktors Kaufwert baureifen Baulands                         | Deutschlandweite Abbildung auf Ebene der Kreise und kreisfreien Städte (vektorbasierter Datensatz der Gebietseinheiten)  |
|   | Ursachenkomplex Bautätigkeit – Ausprägung des Einflussfaktors Verfügbares Einkommen der privaten Haushalte        | Deutschlandweite Abbildung auf Ebene der Kreise und kreisfreien Städte (vektorbasierter Datensatz der Gebietseinheiten)  |
| <b>Erklären</b>                           | Gegenüberstellung der Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung und des Ursachenkomplexes Bautätigkeit            | Deutschlandweite Abbildung einer Überlagerung aus der kombinierten Darstellung von Baulandpreisen und Bevölkerungsanteil im Bauherrenalter mit der Flächeninanspruchnahme auf Ebene der Kreise und kreisfreien Städte              |
| <b>Risiken / Konflikte identifizieren</b> | Siedlungsdynamik in Regionen mit wertvollen landwirtschaftlichen Böden  | Deutschlandweite Abbildung einer Überlagerung aus dem Ertragspotenzial mit der Flächeninanspruchnahme auf Ebene der Kreise und kreisfreien Städte  |

## 5.2.4 Herausforderungen und Lösungen

### 5.2.4.1 Inhaltliche Herausforderungen

#### Auswahl der Datengrundlage für die Darstellung der Flächeninanspruchnahme

Das Analysemodell sollte die Flächeninanspruchnahme als wesentlichen Einflussfaktor für den Verlust wertvoller landwirtschaftlicher Böden in den Blick nehmen. Im Rahmen des Vorhabens wurden zunächst verschiedene Möglichkeiten für die Darstellung der Flächeninanspruchnahme geprüft. Die folgenden Datengrundlagen wurden dabei aus unterschiedlichen, im Folgenden kurz dargestellten Gründen nicht berücksichtigt, obwohl sie grundsätzlich den Vorteil bieten würden, flächenscharfe Aussagen bezogen auf das betroffene Ertragspotenzial zuzulassen:

- **CORINE Land Cover (CLC):** CLC ist ein europaweit harmonisierter Datensatz zur Landnutzung und Landbedeckung auf Basis von Satellitendaten im Maßstab 1:100 000. Die Ersterfassung fand für das Jahr 1990 statt und basierte auf Satellitenbildern aus den Vegetationsperioden der Jahre 1989 bis 1992. Für die Ersterfassung betrug die kleinstmögliche Fläche 25 ha. Lineare Elemente bedürfen einer Breite von mindestens 100 m. Aufgrund des groben Erfassungsmaßstabs sind z. B. in an



sich heterogenen städtischen Bereichen Flächennutzungen nur in geringer Differenzierung erfasst, z. B. werden nur sehr große Gewerbe- und Logistikflächen oder Erholungsflächen ausgewiesen.

- ▶ CORINE Land Cover Changes (LCC): Im Zuge der Berichtspflichten für CORINE wird CLC durch sogenannte Veränderungs-Layer LCC ergänzt. Diese fokussieren auf Veränderungen mit einer Mindestkartierfläche (MKF) von 5 ha. Diese Auflösung ist für die Ermittlung der Flächeninanspruchnahme aber zu gering und konnte daher nicht berücksichtigt werden.
- ▶ Landbedeckungsmodell für Deutschland:  
Das LBM-DE wurde vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) entwickelt und beschreibt geometrische Objekte der Landbedeckung und Landnutzung im Vektorformat. Es basiert auf Teilen des ATKIS-Objektartenkatalogs und ergänzt diese Informationen mithilfe von Satellitenbildmaterial. Die in ATKIS vorhandenen Landbedeckungs- und Landnutzungsinformationen werden dabei in ein neues Klassensystem überführt, aus denen sich dann die CORINE Land Cover-Kategorien (CLC2012) ableiten lassen. Der Datensatz wird dreijährlich aktualisiert. Die Mindestkartierfläche (MMU) beträgt 1 ha und ist damit gegenüber der bisherigen CORINE Land Cover-Auflösung deutlich genauer. Bislang liegt das LBM-DE für den Datenstand 2012 vor. Für die Feststellung der Flächeninanspruchnahme ist die Veränderung zwischen zwei Zeitschnitten zu berechnen. Ein sogenannter Change-Layer wurde für die CORINE-Berichtspflichten für den Zeitschnitt 2006-2012 mit einer Mindestkartierfläche (MKF) von 5 ha ermittelt (s. o). Diese Auflösung ist für die Ermittlung der Flächeninanspruchnahme aber zu gering und konnte daher nicht berücksichtigt werden. Für die Fortschreibung des LBM-DE werden durch das BKG Veränderungen der Landbedeckung mit einer MKF von einem 1 ha Flächengröße detektiert, und es wird ein eigener Change-Datensatz erzeugt. Dieser könnte es zukünftig ermöglichen, die Beeinträchtigung von landwirtschaftlich wertvollen Böden flächenscharf zu ermitteln.

Da aus den oben genannten Gründen die genannten Datensätze nicht für eine flächenscharfe Auswertung hinsichtlich der Beeinträchtigung wertvoller landwirtschaftlicher Böden verwendet werden konnten, wurde für das Vorhaben entschieden, die Flächeninanspruchnahme auf der Grundlage der amtlichen Flächenstatistik (Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung) auf Ebene der Kreise und kreisfreien Städte zu analysieren. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Aussagen zur räumlichen Verteilung der Flächeninanspruchnahme innerhalb der Gebietseinheiten nicht möglich sind.

### Bewertung des Ertragspotenzials auf Landkreisebene

Grundlage für die Visualisierungen zur Qualität ackerbaulich genutzter Böden und deren Inanspruchnahme durch die Siedlungs- und Infrastrukturentwicklung ist eine deutschlandweit nach einheitlichen Kriterien vorgenommene Bewertung des Ertragspotenzials. Diese Bewertung wurde im Jahr 2013 durch die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) vorgenommen. Dazu wurde das vom Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) entwickelte Müncheberger „Soil Quality Rating“ durch die BGR modifiziert. Die Bodenqualität wird im Ergebnis auf einer Skala von 0 bis 102 Punkten bewertet, wobei höhere Werte eine bessere landwirtschaftliche Bodenqualität bedeuten (s. Tabelle 16). Diese Bewertung kann als Referenz zur Beurteilung zukünftiger Entwicklungen verwendet werden.

Tabelle 16: Ackerbauliches Ertragspotenzial nach dem Müncheberger Soil Quality Rating

| Soil Quality Rating | Kategorie     |
|---------------------|---------------|
| < 35                | Extrem gering |
| 35 - < 50           | Sehr gering   |
| 50 - < 60           | Gering        |

| Soil Quality Rating | Kategorie |
|---------------------|-----------|
| 60 - < 70           | Mittel    |
| 70 - < 85           | Hoch      |
| ≥ 85                | Sehr hoch |

Quelle: BGR 2014

Die Bewertung des ackerbaulichen Ertragspotenzials der Böden in Deutschland erfolgte in einem Raster von 250 m\*250 m. Um für eine Zusammenschau mit der Flächeninanspruchnahme (s. o.) eine Auswertung auf Landkreisebene zu ermöglichen, war daher eine flächenmäßige Auswertung des Ertragspotenzials erforderlich. Dazu wurde zunächst die in den jeweiligen Kreisen und kreisfreien Städten liegende Bodenfläche differenziert nach den Kategorien des Soil Quality Ratings ermittelt. Für die Auswertung im Rahmen des Vorhabens wurde mit dem beteiligten UBA-Experten abgestimmt, dass alle Böden ab der Wertstufe „mittel“ als wertvolle Böden für die Auswertung berücksichtigt werden sollen. Um das auf Landkreisebene ermittelte Ertragspotenzial bundesweit vergleichbar darstellen zu können, wurden zwei Ansätze angewendet:

- ▶ Variante 1: Anteil der Fläche mit mittlerem bis sehr hohem Ertragspotenzial an der bundesweiten Fläche dieser Kategorien
- ▶ Variante 2: Verhältnis des Flächenanteils mit mittlerem bis sehr hohem Ertragspotenzial an der jeweiligen Kreisfläche zum Flächenanteil mit mittlerem bis sehr hohen Ertragspotenzial an der bundesweiten Fläche dieser Kategorien

Die unterschiedlichen Ergebnisse der Herangehensweisen, differenziert zusätzlich nach der Lage im städtischen bzw. ländlichen Raum, sind in den Abbildungen 19 und 20 in Anlage 2 dargestellt. Für die Überlagerung des Ertragspotenzials mit der Flächeninanspruchnahme wurde die zweite Variante gewählt, da durch die Berechnung in dieser Herangehensweise die Flächengröße der Landkreise als Einflussfaktor ausgeschlossen wird und die Bewertung bundesweit besser vergleichbar ist.

### Gemeinsame kartografische Darstellung von Ursachen und möglichen Auswirkungen

Wie bereits oben dargestellt erreichen überlagernde Visualisierungen schon bei der Darstellung weniger unterschiedlicher Sachverhalte eine hohe Komplexität (vgl. Kap. 4.1.4.1). Dies betrifft auch die gleichzeitige Darstellung verschiedener Ursachenfaktoren mit deren Wirkung, in diesem Fall die gleichzeitige Darstellung der Einflussfaktoren „Bevölkerung im Bauherrenalter“ sowie „Baulandpreise“ und der damit teilweise zusammenhängenden Flächeninanspruchnahme (s. Anlage 2, Abbildung 26). Als Grundlage für die gemeinsame Darstellung wurden für die beiden Einflussfaktoren Quartile der jeweiligen Wertemenge berechnet. Die Quartile wurden als Grundlage für die Farbwahl der Visualisierung verwendet, wobei die Farben von Blau über Grün und Gelb nach Rot die verschiedenen Quartile der Baulandpreise beschreiben, die Farbsättigung beschreibt die Quartile des Bevölkerungsanteils im Bauherrenalter. Die Flächeninanspruchnahme wiederum wird über unterschiedlich große Punktsymbole im Vordergrund dargestellt. Der Berücksichtigung weiterer Faktoren setzt die Ablesbarkeit und Nachvollziehbarkeit von Visualisierungen allerdings Grenzen.

#### 5.2.4.2 DV-technische-Herausforderungen

##### Auswertung der statistischen Daten zur Flächennutzung

Für die Darstellung der Flächeninanspruchnahme war aufgrund der Datenlage und auch in Anlehnung an die Zielstellung der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie die statistische „Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung“ als Datenquelle gewählt worden (s. o.). Mit den UBA-Experten des FG I 3.5

Nachhaltige Raumentwicklung, Umweltprüfungen wurde hierzu abgestimmt, dass die Flächeninanspruchnahme als mittlere jährliche Veränderung der Siedlungs- und Verkehrsfläche je Einwohner zu berechnen ist. Im Zuge dieser Berechnung war mit den im Folgenden beschriebenen Herausforderungen umzugehen.

Derzeit wird die Erhebungsgrundlage der amtlichen Flächenstatistik auf das amtliche Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS) umgestellt, womit langfristig eine Harmonisierung mit dem Datenbestand von ATKIS verbunden ist. Durch die Änderungen der Erhebungsgrundlage und -methode ist aktuell die Aussagekraft von Zeitreihen vor allem während der Umstellungsphase allerdings beeinträchtigt. Zukünftig wird eine Verbesserung von Zeitreihenanalysen und der länderübergreifenden Nutzungsartenzuordnung erwartet (Hoymann 2013). Für bundesweite Auswertungen auf Ebene der Kreise und kreisfreien Städte wird die Ermittlung der Flächeninanspruchnahme des Weiteren dadurch erschwert, dass die Umstellung der Erhebungsgrundlage in den unterschiedlichen Bundesländern in verschiedenen Jahren erfolgt. Hinzu kommt, dass die Flächeninanspruchnahme auf Ebene der Bundesländer zwar seit dem Jahr 2000 jährlich ausgewiesen wird, auf Ebene der Kreise und kreisfreien Städte allerdings erst seit dem Jahr 2008. In den vorangegangenen Jahren liegen die Daten für diese Ebene nur vierjährlich vor. Um Auswirkungen, die sich aus der Änderung der Erhebungsgrundlage und -methode der Flächenstatistik ergeben, auf die Darstellung der Flächeninanspruchnahme zu minimieren, war daher für jedes Bundesland die Auswahl der zu berücksichtigenden Jahre individuell zu treffen.

Hierfür wurden wie in Tabelle 17 dargestellt zwei unterschiedliche Ansätze angewendet, die sich hinsichtlich der Berücksichtigung der nur für Vierjahreszeiträume vorliegenden Daten unterscheiden. In Ansatz 1 wurden bei größeren Unregelmäßigkeiten der Siedlungs- und Verkehrsfläche auf Bundeslandebene in den Jahren 2000 bis 2008 die auf Kreisebene nur vierjährlich vorliegenden Daten gänzlich aus der Berechnung ausgeschlossen. In Ansatz 2 wurden nach einer Interpolation der Flächeninanspruchnahme für die Vierjahreszeiträume nur diejenigen Jahre aus der Berechnung auf Kreisebene ausgeschlossen, die auf der Landesebene Unregelmäßigkeiten gezeigt hatten.

Tabelle 17: Umgang mit Unregelmäßigkeiten der Flächennutzungsstatistik

| Bundesland                    | Unregelmäßigkeiten   | Ansatz 1  | Ansatz 2                    |
|-------------------------------|--|---|-----------------------------|
| <b>Baden-Württemberg</b>      | Keine  |   |                             |
| <b>Bayern</b>                 | Keine  |   |                             |
| <b>Berlin</b>                 | 2009, 2012   | Ausschluss 2009, 2012   | Ausschluss 2009, 2012       |
| <b>Brandenburg</b>            | 2008, 2009, 2013   | Ausschluss 2005-2008, 2009, 2013                              | Ausschluss 2008, 2009, 2013 |
| <b>Bremen</b>                 | 1997-2000, 2012  | Ausschluss 1997-2000, 2012                                    | Ausschluss 1997-2000, 2012  |
| <b>Hamburg</b>                | 2012   | Ausschluss 2012   | Ausschluss 2012             |
| <b>Hessen</b>                 | Keine  |   |                             |
| <b>Mecklenburg-Vorpommern</b> | Wegen Kreisreformen nur Berücksichtigung der Jahre 2012 und 2013 |   |                             |
| <b>Niedersachsen</b>          | 2011   | Ausschluss 2011   | Ausschluss 2011             |
| <b>NRW</b>                    | Keine  |   |                             |
| <b>Rheinland-Pfalz</b>        | 2004, 2005   | Ausschluss 2001-2004 (2005-2008 zum Ausgleich berücksichtigt) | Ausschluss 2004, 2005       |
| <b>Saarland</b>               | 2004   | Ausschluss 2001-2004  | Ausschluss 2004             |

| Bundesland                | Unregelmäßigkeiten   | Ansatz 1   | Ansatz 2                        |
|---------------------------|----------------------|--|---------------------------------|
| <b>Sachsen</b>            | 2009, 2013           | Ausschluss 2009, 2013  | Ausschluss 2009, 2013           |
| <b>Sachsen-Anhalt</b>     | 1997-2000, 2003-2006 | Ausschluss 1997-2000, 2005-2008 (2001-2004 zum Ausgleich berücksichtigt) | Ausschluss 1997-2000, 2003-2006 |
| <b>Schleswig-Holstein</b> | 2011                 | Ausschluss 2011  | Ausschluss 2011                 |
| <b>Thüringen</b>          | 2013                 | Ausschluss 2013  | Ausschluss 2013                 |

Die Visualisierungen für die unterschiedlichen Herangehensweisen sind in Anlage 2 in den Abbildungen 21 und 22 enthalten. Unterschiede ergeben sich vor allem für Landkreise in den Bundesländern Brandenburg, Rheinland-Pfalz und Sachsen-Anhalt.

## 5.2.5 Fazit

### 5.2.5.1 Einschränkungen

Im Zuge der Bearbeitung des Analysemodells „Verlust wertvoller landwirtschaftlicher Böden durch Flächeninanspruchnahme“ traten mehrere Umstände zutage, die die inhaltliche Aussagekraft der Visualisierungen einschränken.

#### Eingeschränkte räumliche Genauigkeit der Flächeninanspruchnahme

Die Datengrundlage zum Ertragspotenzial bietet grundsätzlich bezogen auf das zugrundeliegende 250 m\*250 m-Raster das Potenzial für eine flächenscharfe Auswertung. Bislang wurde dieses Potenzial nicht genutzt, da aus verschiedenen Gründen als Grundlage für die Darstellungen zur Flächeninanspruchnahme Daten aus der amtlichen Statistik ausgewählt und verwendet wurden. Diese haben den Nachteil, dass sie sich auf die statistischen Gebietseinheiten beziehen, d. h. Gemeinden, Kreise und kreisfreie Städte, Bezirke, Bundesländer. Eine flächenscharfe Lokalisierung der für Siedlung und Infrastruktur neu in Anspruch genommenen Flächen ist damit nicht möglich, sodass hinsichtlich der tatsächlich beeinträchtigten wertvollen landwirtschaftlichen Böden eine Unschärfe verbleibt.

#### Eingeschränkte inhaltliche Genauigkeit der Flächeninanspruchnahme

Mit der Überbauung von Böden ist der in menschlichen Zeitmaßstäben irreversible Verlust des gewachsenen Bodens einschließlich seiner Funktionen verbunden. Bei der Auswertung statistischer Daten zur Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung besteht in der Regel die Schwierigkeit, dass zum einen Aussagen zum Umfang der Versiegelung nicht konkret und flächenscharf möglich sind und zum anderen die in Anspruch genommene Fläche nur in Teilen versiegelt wird (s. Kap. 4.2.1.2). Während das Ertragspotenzial des Bodens bei einer Flächenversiegelung vollständig verloren ist, ist bei unversiegelten Flächen der Siedlungs- und Verkehrsfläche zwar die landwirtschaftliche Nutzung nicht mehr möglich, das Ertragspotenzial ist hier aber nicht irreversibel verloren gegangen. Diese Differenzierung kann anhand der derzeitigen Auswertung nicht abgebildet werden.

#### Verantwortung für Bodenschutz nicht auf Landkreise mit wertvollen landwirtschaftlichen Böden beschränkt

Grundsätzlich tragen alle Regionen in gleichem Maße Verantwortung für den Schutz und den sorgsamen Umgang mit der Ressource Boden. Aufgrund der unterschiedlichen Ausstattung mit unterschiedlichen Bodenqualitäten und deren unterschiedlichen Funktionen (Produktionsfunktion, Funktion als

Lebensraum für Tiere und Pflanzen etc.) können lediglich die Schwerpunkte der Verantwortung verschieden sein. Die Darstellungen zum Analysemodell fokussieren auf die Qualität landwirtschaftlicher Böden in den Regionen und das Risiko, dass wertvolle landwirtschaftliche Böden in der Vergangenheit durch Flächeninanspruchnahme beeinträchtigt wurden. Zwar kann die Darstellung hierfür ggf. das Bewusstsein schärfen und dazu beitragen, dass sowohl bei der Planung von Eingriffen in den Naturhaushalt als auch von Kompensationsmaßnahmen der Aspekt der landwirtschaftlichen Bodenqualität besonders berücksichtigt und der besondere Steuerungsbedarf wahrgenommen wird. Es ist aber darauf zu achten, dass neben der ökonomischen auch die ökologische Bedeutung von Böden Berücksichtigung findet und die grundsätzlich bestehende Verantwortung für den Bodenschutz in allen Regionen wahrgenommen wird.

#### **5.2.5.2 Weiterentwicklungsmöglichkeiten**

##### **Verwendung von flächenscharfen Daten zur Flächeninanspruchnahme bzw. Versiegelung**

Eine wesentliche Weiterentwicklungsmöglichkeit besteht zukünftig in der Verwendung von Datenquellen für die Flächeninanspruchnahme, die eine flächenscharfe Darstellung und Analyse des Themas erlauben. Hierfür können ggf. die sogenannten Change Layer verwendet werden, die zukünftig im Zuge der Weiterführung des LBM-DE zur Ermittlung der Flächennutzungsänderung in einer Auflösung von 1 ha erzeugt werden. Durch eine Verschneidung der hierbei ermittelten Änderung der Siedlungs- und Verkehrsfläche mit den Rasterdaten zum Ertragspotenzial kann räumlich präzise ermittelt werden, wo eine Inanspruchnahme wertvoller landwirtschaftlicher Böden tatsächlich stattfindet.

Eine weitere Präzisierung könnte die Analyse erfahren, indem anstelle der Flächennutzungskategorien Datensätze zum Versiegelungsgrad bzw. zur Änderung des Versiegelungsgrads verwendet werden. Hierfür könnten perspektivisch Daten des Copernicus High Resolution Layer (HRL) Imperviousness Verwendung finden. Dieser stellt in der räumlichen Auflösung eines 20 m\*20 m-Rasters (HRL Imperviousness 20 m) sowie eines 100 m\*100 m-Rasters (HRL Imperviousness 100 m) für die Jahre 2006, 2009 und 2012 und künftig alle drei Jahre einen Datensatz zur räumlichen Verteilung und zum Grad der Versiegelung der Böden zu Verfügung. Der HRL Imperviousness weist bislang allerdings noch deutliche Datenlücken für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland auf. Vor allem die Daten für 2009 und 2012 zeigen größere Datenlücken. Diese Lücken erschweren eine bundesweite Auswertung der Daten, weswegen er bislang noch nicht zur Detektion der Beeinträchtigung von wertvollen landwirtschaftlichen Böden verwendet werden kann.

##### **Einbeziehung weiterer landwirtschaftlich genutzter Böden**

Der Datensatz zum Ertragspotenzial bezieht sich nur auf die ackerbaulich genutzten Flächen und bezieht damit nur einen Teilbereich der Landnutzung zur landwirtschaftlichen Wertschöpfung in die Analyse ein. Daten zur landwirtschaftlichen Bodenqualität liegen grundsätzlich aus der Bodenschätzung weitgehend flächendeckend vor. Die Bewertung erfolgt separat für Acker (Ackerzahl) und Grünland (Grünlandzahl) anhand des sogenannten Schätzrahmens der Bodenschätzung. Diese Schätzrahmen für Acker- und Grünland geben in Wertzahlen von 7-100 (Ackerschätzungsrahmen) bzw. 7-88 (Grünlandschätzungsrahmen) über die Bodengüte in Bezug auf die landwirtschaftliche Ertragsfähigkeit Auskunft. Die Daten zur Bodenschätzung liegen allerdings im Zuständigkeitsbereich der Länder und sind nicht einheitlich in digitaler Form verfügbar. Unter der Voraussetzung, dass hierzu Abhilfe geschaffen wird, könnten sie aber die Grundlage für eine inhaltliche Weiterentwicklung der Auswertung bieten.

## 5.3 Modellgegenstand „Grünlandumbruch“

### 5.3.1 Vorstellung des Modellgegenstands

#### 5.3.1.1 Relevanz

Grünland erfüllt über die landwirtschaftliche Produktion hinaus vielfältige Funktionen in der Agrarlandschaft. Grünlandstandorte beherbergen über die Hälfte aller in Deutschland vorkommenden Arten und haben somit eine große Bedeutung für den Schutz und den Erhalt der Artenvielfalt (Biodiversität). Insbesondere extensiv bewirtschaftetes Grünland ist ein wichtiger Standort für Pflanzengesellschaften, die durch Nährstoffarmut gekennzeichnet und daher in der Agrarlandschaft eher selten sind. Über ein Drittel aller heimischen Farn- und Blütenpflanzen haben ihr Hauptvorkommen im Grünland. Die Vielfalt an Strukturen und zeitlich gestaffelten Blühabfolgen bietet eine große Vielfalt an Tierlebensräumen, sowohl für Wirbeltiere wie (Klein-)säuger, Vögel und Amphibien als auch für Wirbellose in der Kleinlebewelt von Blüten und Blütenständen (BfN 2014: 5; UBA 2014).

Grünland stellt darüber hinaus eine landwirtschaftliche Nutzungsform dar, die aufgrund der permanenten Bodenbedeckung und der Humusanreicherung einen wichtigen Beitrag zum Bodenschutz leistet. Grünland schützt den Boden u. a. vor Wind- und Wassererosion. Von besonderer Bedeutung ist die Erhaltung oder Ausdehnung von (Dauer-)grünland insbesondere in empfindlichen Lagen (wie landwirtschaftlich genutzten Hangbereichen oder Überschwemmungsgebieten). Auch mit Blick auf den Klimaschutz und die Anpassung an Klimawandelfolgen ist Grünland eine erhaltenswerte Nutzung, die die Humusanreicherung fördert und den Boden vor Austrocknung bei Sommertrockenheit und Abtrag u. a. bei Starkregen schützt. Mit Blick auf die vielfältigen Funktionen und die naturschutzfachliche Relevanz von Dauergrünland hat das Bundesamt für Naturschutz (BfN) im Sommer 2014 den Grünlandreport veröffentlicht, in dem Bedeutung, Zustand und Gefährdungsursachen von Grünland dargestellt sind und Handlungsempfehlungen abgeleitet werden (BfN 2014).

Das Grünland ist in Deutschland in den letzten Jahren stark unter Druck geraten. Der sich derzeit vollziehende Rückgang der landwirtschaftlichen Nutzfläche in Deutschland ist fast vollständig auf den Verlust von Grünland zurückzuführen, während die Ackerfläche seit 1999 annähernd stabil geblieben ist (BfN 2014: 12, 19).

Aufgrund der hohen Bedeutung von Grünland und der verschiedenen wichtigen Ökosystem-Dienstleistungen, die es erfüllt, werden zunehmend Maßnahmen zum Schutz und zur Erhaltung des Grünlands getroffen. In Natura 2000-Gebieten verstößt der Umbruch von Grünland in FFH-Lebensraumtypen gegen das Verschlechterungsverbot der FFH-Richtlinie und ist somit verboten. In der Nationalen Biodiversitätsstrategie (BMUB 2015) ist der Schutz von Grünland mit hohem Naturwert als eine Maßnahme zum Grünlandschutz angeführt. In der EU-Agrarpolitik ist das Grünlanderhaltungsgebot für die Förderperiode 2014-2020 über das sogenannte „Greening“ verankert. In der Förderperiode 2008-2014 war die Grünlanderhaltung über die Cross-Compliance-Regelung (Direktzahlungen-Verpflichtungen) enthalten. In Deutschland wurde diese Regelung über das Direktzahlungen-Verpflichtungengesetz (DirektZahlVerfplG) umgesetzt. Danach haben die Bundesländer für die Erhaltung des Dauergrünlandanteils Sorge zu tragen. Die Bundesländer sind ermächtigt, ab einem Rückgang des Dauergrünlandanteils von mehr als 5 % gegenüber dem Referenzjahr 2003 bzw. 2005 ein Umbruchverbot für Dauergrünland zu verhängen bzw. den Umbruch von Dauergrünland unter Genehmigungsvorbehalt zu stellen. Die Länder haben von dieser Regelung in unterschiedlicher Weise Gebrauch gemacht und teilweise Gesetze zur Erhaltung des Dauergrünlands erlassen, z. B. die Dauergrünlanderhaltungsgesetze in Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern.

#### 5.3.1.2 Ursache-Wirkungsbeziehungen:

##### Ursachen der Umweltbelastungen



Ein Blick in die Flächenstatistik (Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung) zeigt, dass die landwirtschaftliche Fläche in Deutschland in den letzten zwei Jahrzehnten sowohl im Zeitraum 1992 bis 2004 als auch im Zeitraum 2004 bis 2012 stark rückläufig war. Im gleichen Zeitraum hat sich die Waldfläche stark ausgedehnt, starke Zuwächse waren aber vor allem auch bei der Neuinanspruchnahme von Flächen für Siedlungs- und Verkehrszwecke festzustellen. Es liegt, mit Blick auf die zwischen 1999/2004 bis 2012 nahezu konstant gebliebene Nutzung als Ackerland und die rückläufige Nutzung als Grünland (BfN 2014: 12) der Schluss nahe, dass Grünland entweder direkt für Siedlungs- und Verkehrszwecke in Anspruch genommen wurde oder dass es zu Verdrängungseffekten kam. Für Ackerland, das in Siedlungsfläche umgewandelt wurde, wurde an anderer Stelle Grünland zu Acker umgebrochen.

Besonders deutlich ist der Rückgang von Grünland in Regionen, in denen der aktuelle Intensivierungsschub in der Landwirtschaft durch die Entwicklung der Agrarpreise und die derzeitigen agrarpolitischen Rahmenbedingungen stark ausgeprägt ist. In der Milchviehwirtschaft führen niedrige Milchpreise und die daraus resultierende Intensivierung der Milchviehwirtschaft dazu, dass Landwirte bevorzugt Hochleistungstiere einsetzen, auf eine ganzjährige Stallhaltung umstellen und verstärkt Kraftfutter (wie z. B. Mais, Rapsschrot und Soja) füttern, anstatt die Tiere auf der Weide zu halten. Dies führt in diesen Regionen zu einer höheren Notwendigkeit von ackerbaulich genutzten Flächen. Gleichzeitig hat die stark gestiegene Nachfrage nach energetisch nutzbarer Biomasse vor allem einen vermehrten Anbau von Mais zur Folge (BfN 2014: 19, 21). In manchen Regionen, z. B. im Nordwesten und Norden Deutschlands, überlagern sich diese Entwicklungen.

Parallel zu den Intensivierungsprozessen bleibt eine Nutzungsaufgabe in Gebieten mit ungünstigen Produktionsbedingungen (z. B. Hangneigung, Bodenstruktur), insbesondere in Mittelgebirgslagen zwar problematisch, jedoch ist sie aufgrund der derzeitig angezogenen Flächennachfrage in der Bedeutung deutlich gesunken (BfN 2014: 20).

Neben dem quantitativen Verlust von Dauergrünland haben auch qualitative Veränderungen der Grünlandnutzung Auswirkungen auf die biologische Vielfalt. Im Zuge der Intensivierung der Landwirtschaft nehmen Intensivwiesen und Mähweiden mit hohen Erträgen und Futterqualitäten gegenüber den biologisch vielfältigen, für die landwirtschaftliche Nutzung jedoch ertragsärmeren extensiven Grünlandflächen einen immer höheren Flächenanteil ein.

Hinzu kommen weitere Entwicklungen, die im Zuge der Intensivierung der landwirtschaftlichen Nutzungen die biologische Vielfalt negativ beeinflussen: Hierzu gehörten vor allem die zur Produktion von Biomasse in großem Umfang erfolgte Wiederaufnahme der Nutzung auf Stilllegungsflächen, die wichtige Lebens- und Rückzugsräume für Tier- und Pflanzenarten der Agrarlandschaft waren, sowie der Verlust von Kleinstrukturen in der Flur.

### **Wirkungen der Umweltbelastungen**

Durch den Umbruch von Grünland und auch durch die Intensivierung der Nutzung werden die ökologischen Funktionen der Standorte stark eingeschränkt. Die positiven Wirkungen für den Naturhaushalt und die hohe naturschutzfachliche Bedeutung der Flächen als Lebensraum für Pflanzen und Tiere gehen weitgehend verloren.

Bezogen auf die Funktion als Lebensraum für Tiere und Pflanzen ist neben dem allgemeinen Flächenrückgang vor allem der Verlust naturschutzfachlich hochwertiger Flächen bzw. Nutzungen relevant. Der BfN-Grünlandreport zeigt, dass in den vergangenen Jahren zum einen der Anteil naturschutzfachlich hochwertiger Grünländer (High Nature Value Farmland) abgenommen hat, und sich zum anderen artenreiche Grünländer in der atlantischen und in der kontinentalen biogeografischen Region nach den Ergebnissen des nationalen FFH-Berichts in einem unzureichenden bis schlechten Erhaltungszustand befinden (BfN 2014: 12-15).

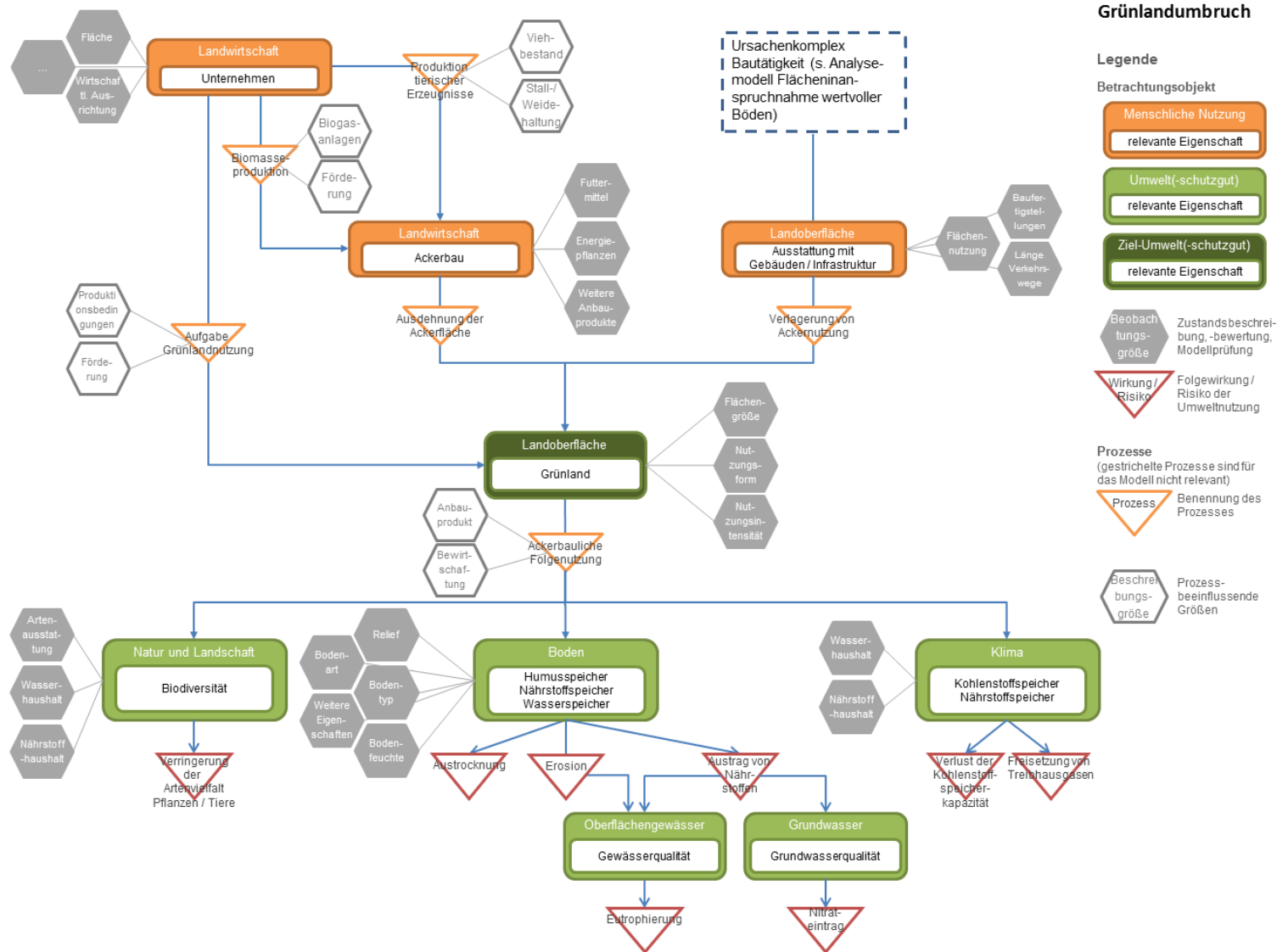
Der Verlust an Grünland, insbesondere wenn er auf naturschutzfachlich und ökologisch besonders wertvollen und sensiblen Standorten der Halbtrockenrasen und Feuchtgrünländer (Nieder- und Anmoorstandorte) stattfindet, hat gravierende Folgen für die biologische Vielfalt (UBA 2014). Er wird direkt in Beziehung zum Verlust der Artenvielfalt in der Kulturlandschaft gesetzt (BfN 2014: 17-18): Durch den Umbruch und die Entwässerung von Grünland ist beispielsweise die Fläche des Lebensraums für Brutvögel der Feuchtwiesen erheblich verringert worden. Die Umwandlung von Wiesen und Weiden in Äcker für den Anbau von Bioenergiepflanzen hat die Situation in den letzten Jahren zusätzlich drastisch verschärft. Als eine Folge setzen sich bei den vorwiegend in Feuchtwiesen am Boden brütenden Arten wie Kiebitz und Uferschnepfe die Bestandsverluste seit Jahrzehnten fort. So sind die Bestände des Kiebitzes in den letzten 20 Jahren auf ein Viertel geschrumpft, bei der Uferschnepfe haben sie sich halbiert.

Mit dem Grünlandrückgang verlieren insbesondere auch die auf ein reiches Blüten- und Nektarangebot angewiesenen Insekten wie Bienen und Schmetterlinge ihre Nahrungsgrundlage und ihren Lebensraum. In der aktuellen Roten Liste der wirbellosen Tiere (Binot-Hafke et al. 2011) zeigt sich, dass sich der negative Bestandstrend insbesondere der auf Magerrasen und Trockenrasen vorkommenden Tagfalter-Arten und der in Mähwiesen, Magerrasen und Heiden vorkommenden Bienen, fortgesetzt hat.

### **5.3.2 Analysemodell**

Die Recherche der Ursache-Wirkungsbeziehungen zum Themen Grünlandumbruch, zu dessen Ursachen und seinen möglichen Auswirkungen auf unterschiedliche Umweltmedien, namentlich die Biodiversität in Natur und Landschaft, den Boden und seine Funktionen als Humus-, Wasser- und Nährstoffspeicher, die Qualität von Oberflächengewässern und Grundwasser, nicht zuletzt das Klima mündeten in die Entwicklung des Analysemodells „Grünlandumbruch“ (s. Abbildung 48). Das Ziel-Umweltschutzgut des Modells ist in diesem Fall das Grünland als Bestandteil der Landoberfläche. Das bedeutet, für die Visualisierungen wurden Faktoren untersucht, die eine Veränderung der Grünlandfläche nach sich ziehen. Die Auswirkungen auf die genannten Umweltmedien werden an dieser Stelle nur nachrichtlich dargestellt und in Abstimmung mit den UBA-Experten nicht in weiterem Detail untersucht. Als Einflussgrößen für den Grünlandumbruch werden die menschliche Siedlungs- und Infrastrukturentwicklung sowie die Ausdehnung der Silomaisfläche als Folge der zunehmenden Viehhaltung und der Biomasseerzeugung für erneuerbare Energien in den Blick genommen.

Abbildung 48: Analysemodell „Grünlandumbruch“



Bosch & Partner GmbH:  
eigene Darstellung

### 5.3.3 Visualisierung

#### 5.3.3.1 Datengrundlage

Die Visualisierungen zum Modellgegenstand „Grünlandumbruch“ wurden in Abstimmung mit Experten des UBA entwickelt. Grundlage für die Ausarbeitungen war die in Tabelle 18 dargestellte, ebenfalls mit den Experten des UBA abgestimmte Auswahl an Datensätzen. Zur Verfügbarkeit weiterer Datensätze siehe auch die Dokumentation des Analysemodells in Anlage 1.

Tabelle 18: Verwendete Daten für die Visualisierung des Modellgegenstands „Grünlandumbruch“

| Teilthema                         | Parameter   | Raumbezug                 | Datenquelle |
|-----------------------------------|---|---------------------------|-------------|
| <b>Grünlandfläche</b>             | Als Dauergrünland landwirtschaftlich genutzte Fläche          | Kreise, kreisfreie Städte | StBA        |
| <b>Silomais</b>                   | Für die Silomaisproduktion landwirtschaftlich genutzte Fläche | Kreise, kreisfreie Städte | StBA        |
| <b>Siedlung und Infrastruktur</b> | Bodenfläche nach Art der tatsächlichen Nutzung                | Kreise, kreisfreie Städte | StBA        |

#### 5.3.3.2 Erzeugte Visualisierungen

Auf der Basis der genannten Datensätze wurden die möglichen Visualisierungsgegenstände zum Analysemodell „Grünlandumbruch“ herausgearbeitet und in Abstimmung mit den UBA-Experten für die Umsetzung ausgewählt. Die Visualisierungen umfassen die in Tabelle 19 genannten Darstellungen, differenziert nach den Modellzwecken. Sämtliche Visualisierungen sind dem Schlussbericht als Anlage 2 in Kap. 3 beigefügt.

Tabelle 19: Visualisierungen zum Modellgegenstand „Grünlandumbruch“

| Modellzweck        | Visualisierungsgegenstand  | Umsetzung  |
|--------------------|--|--|
| <b>Beschreiben</b> | Veränderung der als Dauergrünland landwirtschaftlich genutzten Fläche          | Deutschlandweite Abbildung der Entwicklung der Dauergrünlandfläche auf Ebene der Kreise und kreisfreien Städte (vektorbasierter Datensatz der Gebietseinheiten)  |
|                    | Veränderung der für die Silomaisproduktion landwirtschaftlich genutzten Fläche | Deutschlandweite Abbildung der Entwicklung der Silomaisfläche bezogen auf die Gebietseinheiten der Kreise und kreisfreien Städte (vektorbasierter Datensatz der Gebietseinheiten)  |
|                    | Veränderung der für Siedlung und Infrastrukturen genutzten Bodenfläche         | Deutschlandweite Abbildung auf Ebene der Kreise und kreisfreien Städte (vektorbasierter Datensatz der Gebietseinheiten) (s. Modellgegenstand „Verlust wertvoller landwirtschaftlicher Böden durch Flächeninanspruchnahme“ Kap. 4.2.3 bzw. Anlage 2 Kap. 2) |
| <b>Erklären</b>    | Zunehmende Silomaisproduktion als Treiber des Grünlandumbruchs                 | Deutschlandweite Abbildung einer Überlagerung der Entwicklung des Silomaisanbaus mit der Entwicklung der Grünlandfläche auf Ebene der Kreise und kreisfreien Städte  |

| Modellzweck                        | Visualisierungsgegenstand   | Umsetzung  |
|------------------------------------|---|--|
|                                    | Flächeninanspruchnahme und zunehmende Silomaisproduktion als Treiber des Grünlandumbruchs | Deutschlandweite Abbildung einer Überlagerung aus der kombinierten Darstellung der Entwicklungen von Silomaisanbau und Flächeninanspruchnahme mit der Entwicklung der Grünlandfläche auf Ebene der Kreise und kreisfreien Städte |
| Risiken / Konflikte identifizieren | Keine eigene Darstellung  |  |

### 5.3.4 Herausforderungen und Lösungen

#### 5.3.4.1 Inhaltliche Herausforderungen

##### Visualisierung der Entwicklung von Sachverhalten

Für das Analysemodell „Verlust wertvoller landwirtschaftlicher Böden durch Flächeninanspruchnahme“ (s. Abbildung 47) war die Flächeninanspruchnahme als mittlere tägliche Flächeninanspruchnahme je Einwohner über den gesamten betrachteten Zeitraum berechnet worden. In Anlehnung daran waren auch die Darstellungen für die Werte für die einzelnen Einflussfaktoren (Kaufwert für baureifes Bauland, Bevölkerungsanteil im Bauherrenalter, Verfügbares Einkommen privater Haushalte) für den Modellzweck „Beschreiben“ jeweils als Mittel des untersuchten Zeitraums berechnet worden.

Im Unterschied hierzu sollte für die Visualisierungen zum Analysemodell „Grünlandumbruch“ jeweils die Veränderung der Flächennutzung für den Silomaisanbau sowie für Dauergrünland dargestellt werden. Es war also die jeweilige Flächengröße am Ende des Betrachtungszeitraums mit dem Anfangsbestand zu vergleichen und für die Berechnung zu verwenden. Grundsätzlich stehen hierfür verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung, u. a.:

- a) absolute Veränderung:  $P_{t1} - P_{t0}$  [Hektar]
- b) relative Veränderung bezogen Ausgangsbestand:  $\left(\frac{P_{t1}}{P_{t0}} - 1\right) * 100$  [%]
- c) Veränderung des Flächenanteils bezogen auf LF:  $\left(\frac{P_{t1}}{LF_{t1}} - \frac{P_{t0}}{LF_{t0}}\right) * 100$  [Prozentpunkte]

Dabei sind:

- P (Parameter): für den Silomaisanbau bzw. als Dauergrünland genutzte Fläche
- LF: Landwirtschaftlich genutzte Fläche
- t1: letztes Jahr des Betrachtungszeitraums
- t0: erstes Jahr des Betrachtungszeitraums

Für einen Vergleich zwischen unterschiedlichen, verschieden großen Gebietseinheiten scheidet Möglichkeit a) aus, da hier die absolute Größe der Gebietseinheit die Ergebnisse der Auswertung dominiert. Aus diesem Grund wurde diese Herangehensweise nicht für eine Visualisierung gewählt.

Visualisierungen zu den beiden Möglichkeiten b) und c) sind in Anlage 2 in den Abbildungen 28 bis 33 umgesetzt. Die Visualisierungen zu Möglichkeit c) weisen dabei aufgrund der Normierung mittels der landwirtschaftlich genutzten Fläche den Vorteil auf, dass die anteilige Veränderung jeweils gleich gewichtet wird. Bei einer nicht normierten Berechnung ergeben sich bei einem sehr niedrigen oder sehr hohen Anfangsbestand Verzerrungen, die die Interpretation der Ergebnisse erschweren. Ein Beispiel: In einem fiktiven Landkreis mit einer landwirtschaftlich genutzten Fläche von 10.000 Hektar nimmt die Silomaisfläche von 100 auf 200 Hektar zu. Nach Möglichkeit b) bedeutet dies eine Verdopplung,

d. h. eine Zunahme um 100 %. Bei einer Normierung anhand der landwirtschaftlich genutzten Fläche nimmt der Anteil von 1 % auf 2 %, also um 1 Prozentpunkt zu. Der Bedeutung der Veränderung wird diese Form der Berechnung in der Regel besser gerecht.

#### **5.3.4.2 DV-technische Herausforderungen**

##### **Zusammenstellung verwertbarer Datensätze**

Eine größere Herausforderung für die Visualisierungen zum Analysemodell „Grünlandumbruch“ stellte die Zusammenstellung vergleichbarer Datensätze dar. Aufgrund von Änderungen von Gebiets-einheiten in den verschiedenen Bundesländern im Zuge von Landkreisreformen werden nicht alle Datensätze durchgängig für den aktuellen Gebietsstand durch das Statistische Bundesamt bereitgestellt. Für die Bundesländer Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen und Sachsen-Anhalt musste daher für die Datenbeschaffung auch auf Daten der Landesstatistikämter zugegriffen werden, um die Datensätze der Bundesstatistik zu ergänzen. Nicht für alle Parameter liegen allerdings Rückrechnungen der Datenbestände für den aktuellen Gebietsstand vor. In diesen Fällen konnte nur eine eingeschränkte und in Ausnahmefällen keine Visualisierung für die betroffenen Länder durchgeführt werden. Die entsprechenden Einschränkungen sind in den Visualisierungen jeweils vermerkt.

#### **5.3.5 Fazit**

##### **5.3.5.1 Einschränkungen**

###### **Keine unmittelbar verwendbaren Daten zu Biogasanlagen**

Als ein wichtiger Einflussfaktor für die Veränderung der Grünlandfläche wird die Entwicklung des Bestands an Biogasanlagen gesehen. Hierfür wurde eine Verwendung von Daten der Bundesnetzagentur geprüft. Mit Bezug zur Grünlandfläche wäre die Auswertung auf reine Vergärungsanlagen (Gasproduktion) zu beschränken, Verstromungsanlagen und Rest- sowie Feststoffanlagen wären aus der Betrachtung auszuschließen. Diese Differenzierung kann anhand der Daten der Bundesnetzagentur allerdings nicht vorgenommen werden. Eine ausreichende inhaltliche Differenzierung bieten grundsätzlich Daten des Deutschen Biomasseforschungszentrums, die im Rahmen einer jährlichen Betreiberbefragung ermittelt werden. Diese Daten konnten im Rahmen des Vorhabens allerdings nicht verfügbar gemacht werden. Zudem können diese aufgrund der zwischen den Jahren wechselnden Beteiligung an den Befragungen auch nicht für Auswertungen auf Ebene von Landkreisen genutzt werden. Eine Auswertung zu den Biogasanlagen konnte daher nicht umgesetzt werden.

##### **5.3.5.2 Weiterentwicklungsmöglichkeiten**

###### **Einbeziehung weiterer Datensätze zur Ursachenanalyse des Grünlandumbruchs**

Als weiterer Ursachenfaktor für den Grünlandumbruch gilt neben der Zunahme an Biogasanlagen auch die Intensivierung der landwirtschaftlichen Viehhaltung. Hierfür liegen Datensätze aus der landwirtschaftlichen Statistik vor, die im Rahmen des Vorhabens allerdings nicht ausgewertet werden konnten. Hierzu könnte eine ergänzende Visualisierung zum Modellgegenstand Grünlandumbruch erfolgen.

###### **Untersuchung der Auswirkungen des Grünlandumbruchs auf nachgelagerte Umweltschutzgüter**

Bislang ist das Ziel-Umweltschutzgut Landoberfläche – Grünland der Endpunkt der Visualisierung. Wie oben beschrieben sind mit dem Grünlandverlust Auswirkungen auf eine Reihe weiterer Umweltschutzgüter verbunden. Eine weitere Bearbeitung des Modellgegenstands könnte diese Ursache-Wirkungsbeziehungen im Detail in den Blick nehmen und über die Recherche entsprechender Datensätze die bisherigen Visualisierungen inhaltlich ergänzen und vertiefen.



## Regionale Untersuchung der Ursachen von Grünlandumbruch

Neben einer weiteren Detaillierung der Analysen zu den Ursachen und Auswirkungen von Grünlandumbruch besteht eine Weiterentwicklungsmöglichkeit auch hinsichtlich der Untersuchung regionaler Einflussfaktoren. Ein Untersuchungsgegenstand in diesem Zusammenhang könnten die Auswirkungen der in den letzten Jahren wieder zunehmenden Suburbanisierungstendenz und die damit verbundene Flächeninanspruchnahme im Umfeld von Städten sein. Als Grundlage für diese Untersuchungen können zumindest perspektivisch Daten aus der (Satelliten-)Fernerkundung verwendet werden, mit denen die Thematik Flächeninanspruchnahme räumlich konkret nachvollzogen werden kann (vgl. Kap. 4.2).

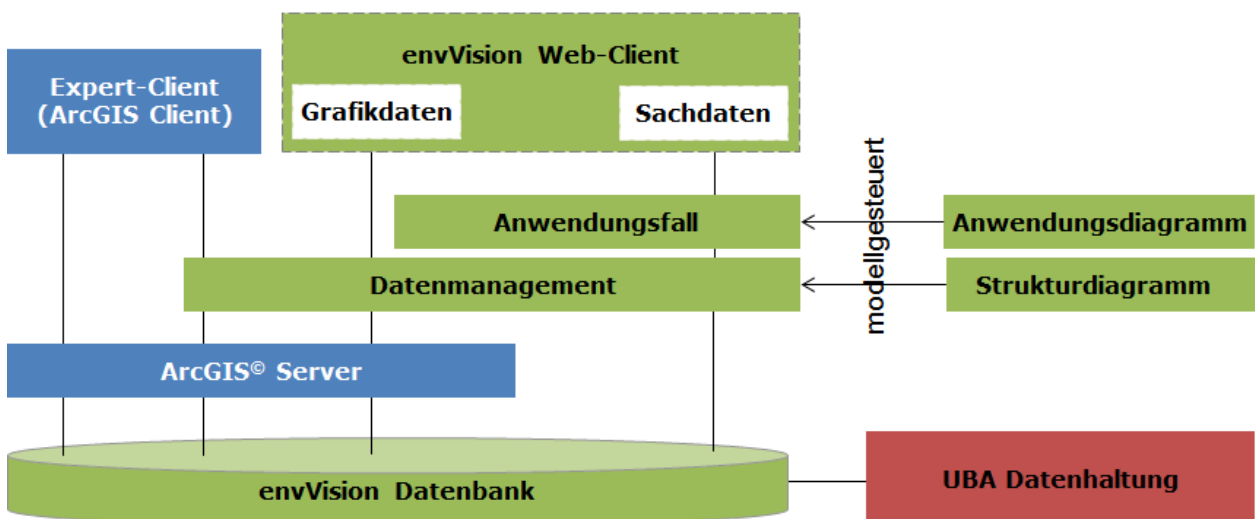
## 5.4 Software-Applikation

### 5.4.1 Systementwurf

#### 5.4.1.1 Systemkomponenten

Das envVision-System für den Einsatz im UBA im Bereich der Umweltberichterstattung besteht aus drei Komponenten. Einerseits sind das die Daten selbst bzw. die Datenhaltung in der Datenbank. Das kann sowohl die Datenhaltung im UBA oder in der envVision-Datenbank sein. Anwenderseitig stehen zur Bearbeitung und Verwaltung dieser Daten zwei Clients zur Verfügung – der ExpertClient und der WebClient. Der ExpertClient wird dabei für die Verarbeitung der Daten in ArcGIS (ArcMap) verwendet. Im WebClient erfolgt die Verwaltung und Verknüpfung der Daten untereinander bzw. mit Betrachtungsobjekten und Prozessen. Der technische Lösungsentwurf des Systems wird in Abbildung 49 abgebildet.

Abbildung 49: Systemarchitektur envVision im Umweltbundesamt



Quelle: M.O.S.S., eigene Darstellung

Die Systemarchitektur umfasst die folgenden Komponenten:

- **envVision-Datenbank**: Datenbank zur strukturierten Ablage der beschriebenen Umweltprozesse, Zustände, Belastungen, Konflikte u. ä. und von Metainformationen und Links auf die zur Visualisierung aufbereiteten Daten; die Datenbank ist entsprechend dem envVision-Strukturdiagramm aufgebaut und strukturiert. Die aufbereiteten Daten können als Binary Large Objects (BLOB) in die envVision-Datenbank importiert werden, sie können aber auch auf den Komponenten des UBA zur Datenhaltung abgelegt sein.

- ▶ ArcGIS Server: Basistechnologie (GIS), die alle zur Aufbereitung, Verarbeitung und Visualisierung notwendigen Funktionalitäten anbietet.
- ▶ ExpertClient: ArcGIS Desktop, der von den Nutzern zur Aufbereitung, Verarbeitung und Visualisierung der konkreten Daten eingesetzt wird; der ExpertClient wird um eine envVision-Extension erweitert, die die Basisfunktionalitäten strukturiert für die Umweltberichterstattung anbietet und das Zusammenspiel mit der envVision-Datenbank organisiert.
- ▶ envVision Base: Basisfunktionalitäten für das Datenmanagement und die Bearbeitung von Anwendungsfällen; envVision Base wird von den Modellen des envVision-Strukturdiagramms und envVision-Anwendungsdiagramms gesteuert.
- ▶ envVision WebClient: Client im Web-Browser zur Bearbeitung der Daten in der envVision-Datenbank.

#### 5.4.1.2 Funktionsweise des Systems

ArcGIS Server wird für die eigentliche Datenverarbeitung eingesetzt. envVision ist ein Datenmanagementsystem. In der für das UBA entwickelten envVision-Applikation ist die Datenverwaltung anhand der fachlich ausgearbeiteten Ursache-Wirkungsbeziehungen strukturiert. Hierfür können die Objekte im Web-Client miteinander funktional verknüpft werden.

Jeder GIS-User kann seine Daten ablegen. Über ein System von Zugriffsrechten kann geregelt werden, welcher User welche Daten sehen und bearbeiten darf.

Die bestehende Datenhaltung des UBA bleibt auch bei einem Einsatz von envVision unangetastet. Es ist aber sowohl der Zugriff von envVision auf die Technologie des UBA möglich als auch der Zugriff in umgekehrter Richtung.

Abbildung 50: Systemkomponenten



Quelle: M.O.S.S., eigene Darstellung

Der ExpertClient umfasst ArcMap sowie das envVision Add-In. Der ExpertClient stellt Werkzeuge für die Verarbeitungsfunktionen und zum Visualisieren bereit. Das sind sowohl Standard-Tools von ArcGIS, können aber auch selbst erstellte Tools mit eigenen Workflows (Algorithmen) sein (s. Kap. 3.4.2.1 sowie Handbuch zu den Programminhalten, s. Anlage 5).

Der envVision WebClient entsteht automatisch aus den UML-Klassendiagrammen und dient dem Management der verarbeiteten Geo-Daten (s. Kap. 3.4). Der envVision WebClient verwaltet Geobasisdaten, Umweltprozesse, Visualisierungen und Ursache-Wirkungsbeziehungen. Er zeigt auf, welche Geo-Daten auseinander hervorgegangen sind. Die eigentlichen Visualisierungen werden über Steckbriefe beschrieben (Näheres zu den Objektklassen, deren Inhalten und Verknüpfungen s. Kap 3.4.4 sowie

Handbuch zu den Programminhalten). Die Funktionalitäten und die Bedienung des WebClienten sind im Handbuch zur Programmbedienung erläutert.

Abbildung 50 verdeutlicht, wie die beiden Clients zusammenarbeiten. Die im ExpertClient erzeugten Visualisierungen können über ein vorbereitetes, eigenständig erstelltes Tool ins Dateiverzeichnis des UBA ausgespielt werden (s. Handbuch zu den Programminhalten). Vom envVision WebClient aus können die Steckbriefe auf die konkreten Dateien verweisen, die Visualisierungen können aber auch in der Datenbank als BLOB (Binary Large Object) abgespeichert werden.

## **5.4.2 Testphase im Umweltbundesamt**

### **5.4.2.1 Installation und Bereitstellung des Testsystems**

Ziel der Testphase war es, die DV-technischen Umsetzungen bezüglich ihrer Eignung zur Visualisierung von Modellgegenständen und zur Verwaltung von Ursache-Wirkungsbeziehungen zu analysieren. Da neuartige Modellkonzeptionen ausgearbeitet wurden, war die Frage der praktischen Umsetzbarkeit der Lösungen zu prüfen:

- ▶ Gelingt es methodisch und technisch überhaupt, umweltbezogene Geo-Daten in DV-Systemen anhand von Ursache-Wirkungsbeziehungen zu verwalten?
- ▶ Ist es mit dem vorgeschlagenen Modellkonzept möglich, DV-technische Lösungen für eine Visualisierung von umweltbezogenen Geo-Daten entlang von Ursache-Wirkungsbeziehungen anzubieten?

Für den Test wurden Prototypen bereitgestellt. Entsprechend des DV-technischen Umsetzungskonzepts und des Systementwurfs wurden zwei Testszenarien untersucht:

- ▶ Test des ExpertClient bzgl. der Bereitstellung der notwendigen Verarbeitungsfunktionen für Visualisierungen und bzgl. der selbständigen Implementierung von Tools mit eigenen Workflows
- ▶ Test des WebClient zum Datenmanagement der für die Visualisierung verwendeten, verarbeiteten und neu erstellten Geo-Daten in einer nach Ursache-Wirkungsbeziehungen organisierten Struktur.

### **5.4.2.2 Test der Prototypen**

Das System wurde für den Testbetrieb auf Anlagen der M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH installiert. Für den Test der zwei Szenarien wurden folgende Vorbereitungen getroffen:

- ▶ Datenverarbeitung in ArcMap: Dazu wurden die Daten auf die M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH.-Anlagen übertragen. Ein Zugriff auf im Internet verfügbare (Daten-) Dienste ist möglich. Zu Beginn der Testphase wurden die konkreten Anwendungsfälle und die dazu benötigten Daten abgestimmt.

Im Handbuch zu den Programminhalten (Regelwerk) wurden notwendige Standard-Tools von ArcGIS zusammengetragen. Es wurden Tools prototypisch implementiert, die für die zu testenden Modellgegenstände eigenständige Workflows bearbeiten. Ihre Implementierung und Bedienung wurden ebenfalls im Handbuch zur Programmbedienung erläutert.

- ▶ Datenmanagement in envVision: Da es sich hierbei um eine Web-Applikation handelt, erfolgt der Zugriff mittels Web-Browser. Die verwalteten Daten werden in der Testphase in einer Oracle-Datenbank der M.O.S.S. abgespeichert.

Das Datenmodell (UML-Klassendiagramme mit Stand 11.2015) wurde kompiliert, und die Web-Applikation wurde aufgesetzt. Im Handbuch zu den Programminhalten (Regelwerk) wurden die Objektklassen und ihre Verarbeitung erläutert. Zusätzlich wurde das Handbuch zur Programmbedienung ausgearbeitet, das die Funktionalitäten des WebClient und ihre Bedienung erläutert.

Im WebClient wurden zwei Anwendungsdiagramme angeboten:

1. ein allgemeingültiger Anwendungsfall für die Erfassung beliebiger themenübergreifender Umweltprozesse und Ursache-Wirkungsbeziehungen

2. der Anwendungsfall „Gesundheitsgefährdung durch Lärm, Luftschadstoffe und Hitze“ gemäß dem entsprechenden Anwendungsdiagramm (s. Kap. 3.4.5.2).

Für die Testanwendung wurden die folgenden Dokumentationen bereitgestellt:

- ▶ Handbücher für die Fachadministration im ExpertClient
- ▶ Handbuch zur Bedienung des WebClient
- ▶ Handbuch zu den Programminhalten (Regelwerk), Version 0.1

Die Testphase wurde gemäß dem vereinbarten Konzept im Zeitraum 01.12.2015 bis 30.04.2016 durchgeführt. Im Dezember 2015 wurde die Funktionsfähigkeit der Testumgebung hergestellt. Inhaltlich wurde die Testphase wie folgt ausgestaltet:

#### **Phase 1 von Januar bis Ende Februar 2016:**

- ▶ SG I 1.5: Funktionstest, Fachadministration
- ▶ FG I 1.5: Nutzung des ExpertClient zur Verarbeitung von Daten, Test der Funktionsfähigkeit, Bedienbarkeit und Performance → Bereitstellung von Visualisierungsvarianten und ggf. Qualifizierung der Systembedienung und des Regelwerks

#### **Phase 2 von Februar bis Ende April 2016:**

- ▶ FG I 1.5: Nutzung des WebClient zum Datenmanagement, Test der Funktionsfähigkeit, Bedienbarkeit und Performance → Erfassung von Steckbriefen und Ursache-Wirkungsbeziehungen, ggf. Qualifizierung der Systembedienung und des Regelwerks

#### **5.4.2.3 Ergebnisse**

Die Testphase hat bestätigt, dass es möglich ist, DV-Systeme für ein nach Ursache-Wirkungsbeziehungen strukturiertes Datenmanagement zu erstellen und zu nutzen und davon ausgehend Visualisierungen zu unterschiedlichen Modellgegenständen zu erzeugen und zu verwalten.

Zur Verarbeitung der Daten für Visualisierungen stellt ArcGIS wesentliche Funktionalitäten und Tools bereit. Es ist möglich, diese Tools zu erweitern und eigene Tools mit selbst erarbeiteten Workflows entsprechend den Modellzwecken und -gegenständen zu implementieren. Die Mitarbeiter des FG I 1.5 wurden in die Bedienung von ArcGIS und die Nutzung der Tools eingewiesen.

Mit dem envVision WebClient können Umweltdaten und Visualisierungen in einer Struktur verwaltet werden, die entlang von Umweltprozessen und deren Ursache-Wirkungsbeziehungen ausgestaltet ist. Es ist möglich, Ursache-Wirkungsbeziehungen über Objektverbindungen zu erfassen. Es konnte gezeigt werden, dass das System themenübergreifend verwendet werden kann und weitere Umweltprozesse in die Datenmanagementstruktur integriert werden können, ohne dazu weitere Programmierungen vornehmen zu müssen. Das System kann damit für weitere Modellgegenstände erweitert werden. Grundlage hierfür ist die Entwicklung von spezifischen fachlichen Analysemodellen. Das Handbuch zu den Programminhalten ist in diesem Fall um konkrete Erfassungsregeln zu erweitern.

Es hat sich auch gezeigt, dass konkrete, auf den Modellgegenstand zugeschnittene Masken entsprechend der Anwendungsdiagramme erstellt werden können, sodass Fachabteilungen ohne Kenntnis des allgemeingültigen Ansatzes ihre Fachterminologie wiederfinden können und die konkreten Wirkbeziehungen angeboten bekommen. Dazu ist aber das Modellieren eines Anwendungsdiagramms, abgeleitet aus dem konkreten Analysemodell, und dessen Kompilierung erforderlich. Dieses kann nach entsprechender Schulung und Verfügbarkeit der envVision Modellier- und Compilerumgebung grundsätzlich durch das SG I 1.5 vorgenommen werden.

Mit der zum Programmtest bereitgestellten Version 0.1 des WebClient (Stand 11/2015) konnten zwar die Möglichkeiten des Datenmanagements zu Ursache-Wirkungsbeziehungen ganz allgemein nachgewiesen werden, die konkreten Attribute und Themengliederungen der Schlüssellisten entsprachen aber nicht der Arbeitsweise des FG I 1.5. Gemeinsam mit dem Auftraggeber wurden die notwendigen Inhalte der Steckbriefe und damit die zu verwaltenden Attribute so definiert, dass das System die Arbeitsweise und Begrifflichkeit des Fachgebiets widerspiegelt. Die Ergebnisse wurden im Handbuch zu den Programminhalten eingearbeitet.

Zum Abschluss der Testphase wurden die überarbeiteten Strukturen im Datenmodell (UML-Klassendiagramme) eingearbeitet. Darüber hinaus wurden die Anwendungsdiagramme zu den Modellgegenständen Grünlandumbruch und Flächeninanspruchnahme ergänzt.

Das Datenmodell wurde übersetzt und die entsprechende überarbeitete Programmversion bereitgestellt. Damit konnte auch die Anpassbarkeit des Systems an neue und geänderte Analysemodelle und Begrifflichkeiten nachgewiesen werden.

Auf dem abschließenden Fachgespräch wurde die neue, jetzt auch den Arbeitsprozessen und Begrifflichkeiten des FG I 1.5 adäquate Version des WebClient präsentiert.

## 6 Anwendungsmöglichkeiten

Im Rahmen des Vorhabens wurde ein Modellkonzept (s. Abbildung 3) entwickelt mit dem Ziel, die Umweltberichterstattung des UBA um die Möglichkeiten einer medienübergreifenden Analyse und räumlichen Visualisierung von Umweltproblemen und -konflikten zu ergänzen. Die Instrumente und Konzepte, die im Modellkonzept enthalten sind, setzen dafür an unterschiedlichen Punkten an, die von der theoretischen Analyse von Umweltproblemen (Analysemodell) über das auf Ursache-Wirkungsbeziehungen ausgerichtete Datenmanagement (DV-technisches Modell) bis zur räumlichen Visualisierung von Umweltproblemen und -konflikten reichen. Um abschätzen zu können, wie diese Instrumente und Konzepte die Umweltberichterstattung unterstützen können, werden im Folgenden zunächst die Komponenten der Umweltberichterstattung des UBA insbesondere mit Blick auf den Einsatz von räumlichen Visualisierungen kurz vorgestellt. Anschließend werden die Anwendungsmöglichkeiten der fachlichen und der DV-technischen Modellierung benannt und daraus Anforderungen für die Anwendung des Modellkonzepts im UBA abgeleitet.

### 6.1 Überblick zur Umweltberichterstattung im Umweltbundesamt

#### 6.1.1 Daten zur Umwelt

Die Umweltberichterstattung des UBA im engeren Sinn erfolgt vor dem Hintergrund des Umweltinformationsgesetzes mit dem Ziel, die Öffentlichkeit über Entwicklungen im Umweltbereich zu informieren. Die wesentliche Komponente der Umweltberichterstattung sind die „Daten zur Umwelt“ (DzU). Unter dieser „Dachmarke“ werden wissenschaftliche Themenbeiträge der verschiedenen Fachgebiete des UBA bereitgestellt. Die Veröffentlichung erfolgt zum einen über die Internetseite des UBA unter [www.umweltbundesamt.de/daten](http://www.umweltbundesamt.de/daten), zum anderen werden ausgewählte Ergebnisse in regelmäßigen Abständen in Form von Printveröffentlichungen herausgegeben, zuletzt die Daten zur Umwelt 2015 (UBA 2015).

Sowohl die Online- als auch die Printveröffentlichung der DzU sind in mehreren Ebenen nach Umweltthemen strukturiert aufgebaut (vgl. hierzu auch die thematische Navigationsleiste rechts in Abbildung 51). Der Schwerpunkt der Beiträge liegt auf der textlichen Erläuterung zu den jeweiligen Umweltthemen. Inhalte sind z. B. relevante Ursache-Wirkungsbeziehungen, d. h. es werden die Antriebskräfte von Entwicklungen sowie die Auswirkungen auf weitere Umweltschutzgüter beschrieben. Des Weiteren werden in den Artikeln auch rechtliche und sonstige Rahmenbedingungen erläutert sowie Maßnahmen und Maßnahmenvorschläge z. B. zur Verringerung von Umweltproblemen dargestellt. Die Beiträge werden dabei überwiegend textlich ausgeführt. Als ergänzende Elemente werden vor allem Diagramme und Tabellen sowie Bildmaterial verwendet.

Die Ausarbeitung der Beiträge zu den DzU erfolgt durch die Fachgebiete auf der Grundlage von Datenbeständen, die entweder

- ▶ durch das UBA gemessen werden bzw. für die das UBA im Falle von Berichtspflichten an die EU die Zusammenstellung und -übergabe von Daten aus den Bundesländern übernimmt,
- ▶ die dem UBA im Zuge von Behördenkooperationen von anderen Bundesbehörden, z. B. dem BKG oder der BGR, übergeben werden,
- ▶ die im Zuge von Forschungsvorhaben erarbeitet wurden oder
- ▶ die durch Fachgebiete des UBA von externen Stellen wie dem StBA bezogen werden.

Geo-Daten werden dabei zentral in die Geo-Daten-Infrastruktur des UBA eingepflegt. Für Sachdaten ist eine entsprechende zentrale Datenhaltung bislang nicht eingerichtet.



Abbildung 51: Daten zur Umwelt – Screenshot der Online-Version

The screenshot displays the 'Daten zur Umwelt' website. The header features the 'Umwelt Bundesamt' logo and navigation links: 'Das UBA', 'Themen', 'Presse', 'Publikationen', and 'Daten'. A search bar is located on the right. The main content area is titled 'Klimawandel' and includes a large image of a polar bear on ice. Below the image, a text block explains that industrialization has led to increased greenhouse gas emissions, causing global warming. A section titled 'Wichtiges in Kürze' features a bar chart showing the reduction of greenhouse gas emissions through renewable energy. The sidebar on the right lists various data categories under 'Daten', including 'Klimawandel', 'Atmosphärische Kohlendioxid-Konzentration', 'Treibhausgas-Emissionen in der Europäischen Union', 'Treibhausgas-Emissionen in Deutschland', 'Treibhausgas-Emissionen nach Emissionshandelssektoren u. Branchen', 'Trends der Lufttemperatur', 'Trends der Niederschlagshöhe', 'Veränderung der jahreszeitlichen Entwicklungsphasen bei Pflanzen', 'Beobachtete und künftig zu erwartende Klimaänderungen', 'Beobachtete und erwartete Klimafolgen', 'Klimarahmenkonvention', 'Internationale Marktmechanismen', 'Europäische Energie- und Klimaziele', 'Der Europäische Emissionshandel', and 'Klima- und Energieprogramme in Deutschland'.

UBA 2016b

Räumliche Visualisierungen werden in der Regel dann verwendet, wenn sie z. B. aus Forschungsvorhaben stammen oder wenn die zugrundeliegenden Daten für eine Berichterstattung z. B. an die EU durch das UBA selbst erhoben bzw. zusammengestellt werden. Die Visualisierungen werden dabei in unterschiedlicher Form angeboten:

- ▶ als grafische Abbildung: die räumliche Darstellung ist als statisches Bild in die Internetseite eingebunden;
- ▶ als interaktiver Karten- und Datendienst innerhalb der DzU online: der Nutzer kann sich nach eigenem Bedarf Werte für unterschiedliche Parameter und Zeitpunkte bezogen auf ein festes Kartenformat räumlich darstellen lassen;
- ▶ als Verweis auf die Kartendienste im Geographischen Informationssystem Umwelt (GISU) des UBA: der Nutzer kann sich am UBA verfügbare Datensätze in beliebigen Kombinationen online visualisieren lassen. In den Kartendiensten sind zudem räumliche Grundlagendaten hinterlegt, die eine Suche nach konkreten Orten, z. B. über eine Postleitzahl-Suche, ermöglichen.

Für die in der folgenden Tabelle 20 genannten Umweltthemen werden derzeit räumliche Abbildungen in der Online-Version der DzU angeboten. In der aktuellen Printfassung sind keine räumlichen Abbildungen enthalten. Der inhaltliche Detailgrad der angebotenen Abbildungen und Dienste ist dabei unterschiedlich und reicht von der Darstellung des Messnetzes oder der Standorte von Industrieanlagen bis zur tagesgenauen und räumlich interpolierten Darstellung von Luftschadstoffbelastungen.

Tabelle 20: Verwendung von räumlichen Visualisierungen in den Daten zur Umwelt

| Thema der DzU                        | Kapitel  | Grafik | Interaktiv | Kartendienst |
|--------------------------------------|--|--------|------------|--------------|
| Luftbelastung                        | Aktuelle Luftdaten                                     |        | X          |              |
|                                      | Ozon-Belastung   | X      |            | X            |
|                                      | Stickstoffdioxid-Belastung                             | X      |            | X            |
|                                      | Feinstaubbelastung-Belastung                           | X      |            | X            |
|                                      | Luftqualität in Ballungsräumen                         |        |            | X            |
|                                      | Grenz- und Zielwertüberschreitungen in Ballungsräumen  |        |            | X            |
|                                      | Schwermetalldeposition                                 | X      |            |              |
| Bodenbelastung und Land-Ökosysteme   | Bioindikatoren von Luftverunreinigungen                | X      |            |              |
|                                      | Überschreitung der Belastungsgrenzen für Eutrophierung | X      |            | X            |
|                                      | Überschreitung der Belastungsgrenzen für Versauerung   | X      |            | X            |
| Gewässerbelastung                    | Ökologischer Zustand der Fließgewässer                 | X      |            | X            |
|                                      | Zustand der Seen                                       | X      |            | X            |
|                                      | Nordsee  | X      |            | X            |
|                                      | Ostsee   | X      |            | X            |
| Energiebereitstellung und -verbrauch | Kraftwerke   | X      |            |              |
|                                      | Stromerzeugung   | X      |            |              |
| Industrie                            | Emissionen aus Betrieben der Metallindustrie           | X      |            |              |
| Abfall- und Kreislaufwirtschaft      | Abfallaufkommen  |        |            | X            |

Keine räumlichen Visualisierungen sind in der Online-Version zu den DzU-Themen Klimawandel, Umwelt und Gesundheit, Chemikalien in der Umwelt, Rohstoffe als Ressource, Energie als Ressource, Wasser als Ressource, Flächennutzung, Verkehr, Wasserwirtschaft, Land- und Forstwirtschaft, Private Haushalte und Konsum, Umwelt und Wirtschaft enthalten.

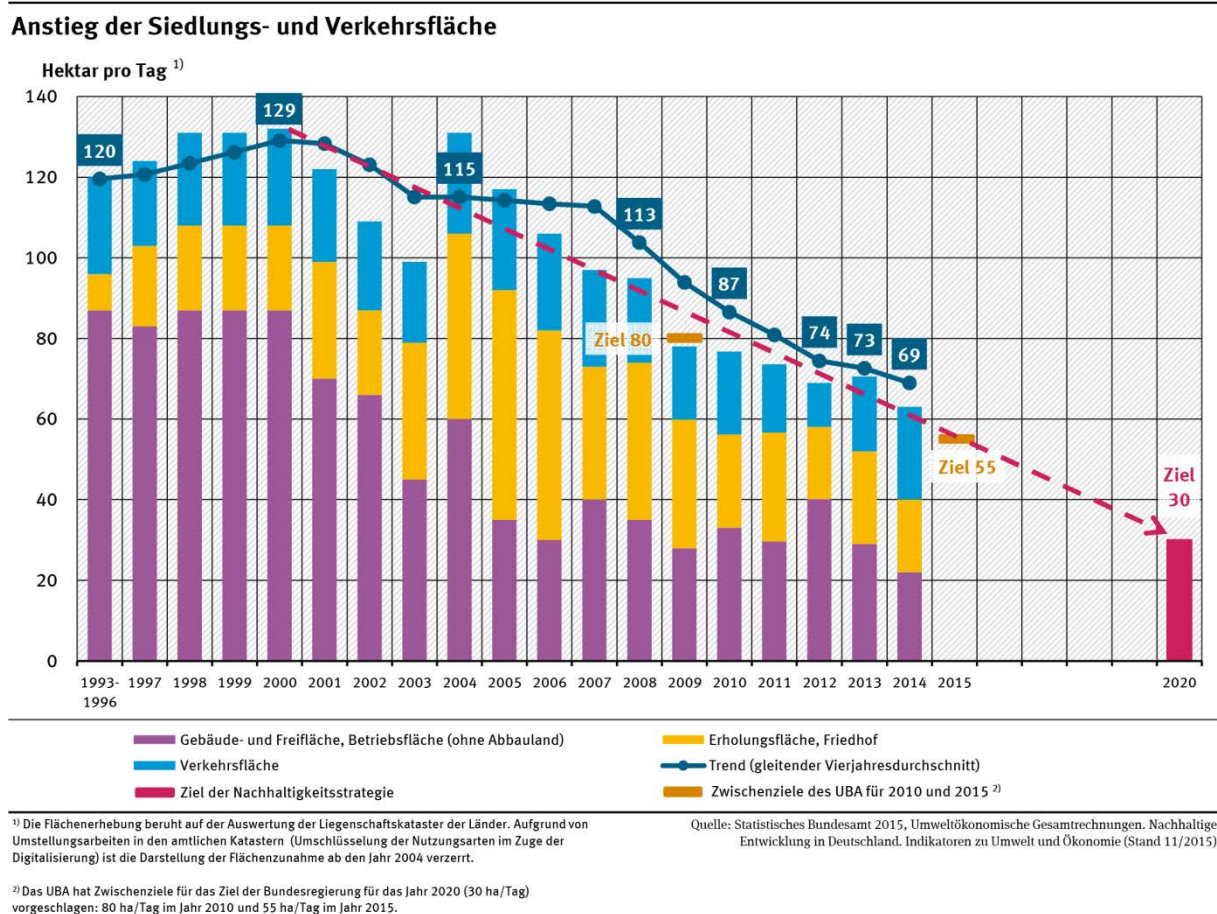
### 6.1.2 Kernindikatorensystem

In die Struktur der „Daten zur Umwelt“ soll zukünftig das Kernindikatorensystem (KIS) des UBA eingebunden werden. Das Kernindikatorensystem wird für alle Umweltthemen der DZU zentrale Indikatoren definieren, die regelmäßig fortgeschrieben werden und über die kontinuierlich berichtet wird. Unter Kernindikatoren werden dabei quantifizierbare oder qualitative repräsentative Messwerte ver-

standen, die in ihrer Zusammenschau ein umfassendes Bild eines thematischen oder politischen Feldes zeichnen. Sie sind für die Mehrzahl der beteiligten Akteure von Interesse und erlauben eine robuste Einschätzung des Gesamtbilds. In der Online-Version der DzU werden derzeit Vorläufer der Kernindikatoren als Aufhänger für die einzelnen Themen verwendet (s. Rubrik „Wichtiges in Kürze“ in Abbildung 51). Alle zu einem Thema definierten vorläufigen Kernindikatoren sind über die jeweilige thematische Einstiegsseite zugänglich.

Die Darstellung der derzeit bestehenden vorläufigen Kernindikatoren erfolgt in Form von Diagrammen (s. Abbildung 52). Räumliche Abbildungen erfolgen bislang nicht.

Abbildung 52: Kernindikatorensystem KIS – Beispiel für einen vorläufigen Kernindikator



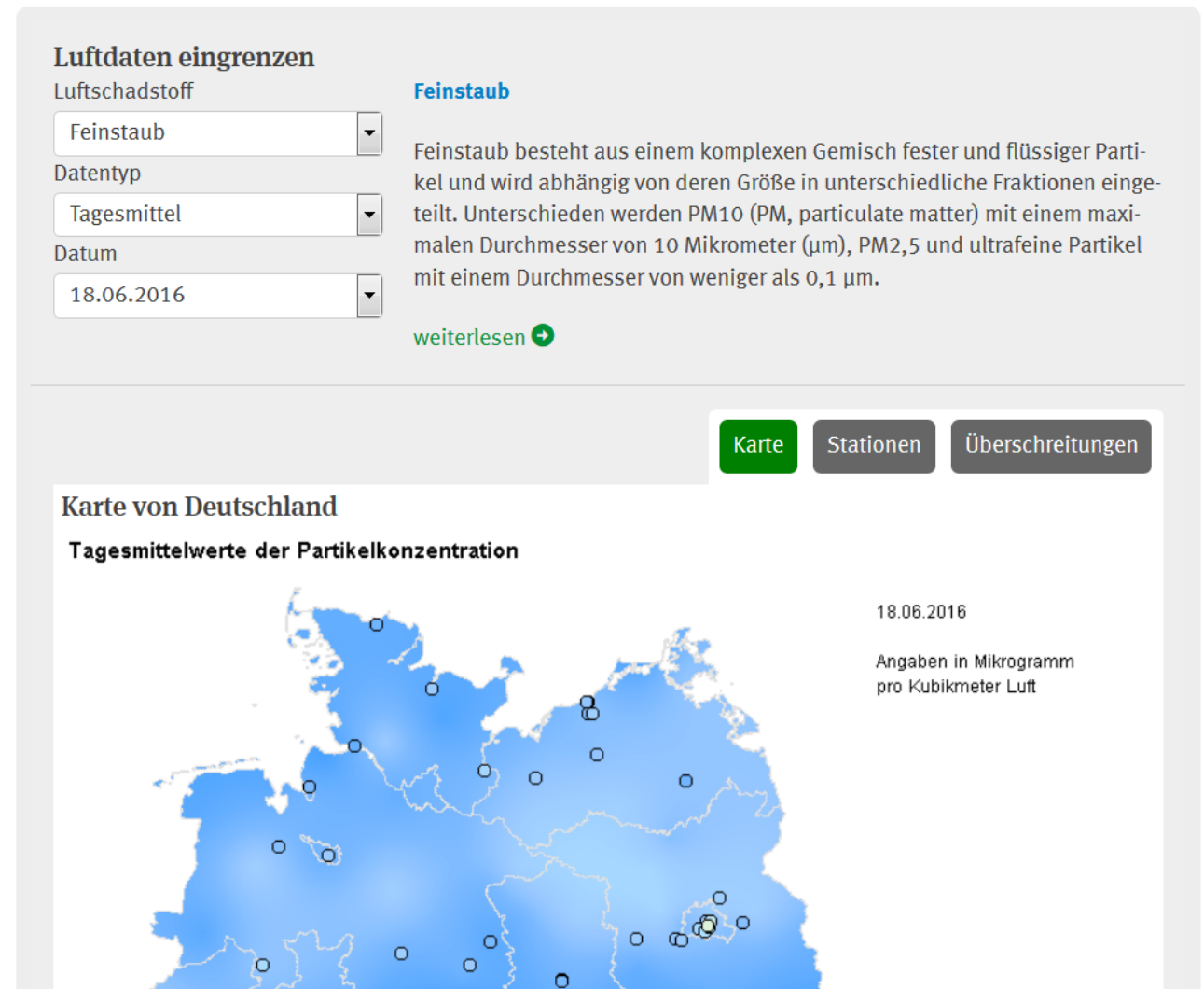
Quelle: UBA 2016b

### 6.1.3 Interaktive Karten- und Datendienste

Die DzU online einschließlich der darin präsentierten Abbildungen sind ebenso wie die veröffentlichten Vorläufer der Kernindikatoren bislang statische Informationsangebote. Das bedeutet, der Nutzer hat keine Möglichkeit, die Darstellung der veröffentlichten Informationen zu beeinflussen. Eine Ausnahme hierzu bildet der Informationsdienst „Aktuelle Luftdaten“. Hier können Informationen aus dem Luftschadstoff-Monitoring des Bundes und der Länder in Form von Karten dargestellt oder auch als Datensätze abgerufen werden. Die angebotenen Karten erlauben die Darstellung sowohl von interpolierten deutschlandweiten Informationen als auch von stationsspezifischen Informationen. Inhaltlich

werden Informationen differenziert nach unterschiedlichen Luftschadstoffen (Feinstaub, Kohlenmonoxid, Ozon, Stickstoffdioxid, Schwefeldioxid) bereitgestellt sowie in Form von absolut gemessenen Werten oder aber der Häufigkeit der Überschreitung gesetzlicher Grenzwerte.

Abbildung 53: Karten- und Datendienst „Aktuelle Luftdaten“



Quelle: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luftbelastung/aktuelle-luftdaten>. Aufgerufen am 17.06.2016.

Die weiteren in Tabelle 20 angeführten Kartendienste sind nicht integraler Bestandteil der DzU online. Vielmehr erfolgt aus den DzU online ein Verweis auf das GISU des UBA<sup>9</sup>. Das GISU dient dem UBA als Plattform für die öffentliche Bereitstellung geografischer Informationen gemäß den Anforderungen der INSPIRE-Richtlinie (Richtlinie 2007/2/EG). Die INSPIRE-Richtlinie trat 2007 in Kraft. Sie definiert den rechtlichen Rahmen für den Aufbau von Geo-Dateninfrastrukturen und erfordert u. a. die Bereitstellung von Geo-Daten im Internet in einem einheitlichen Format, wobei dies die Bereitstellung von Diensten zur Suche, Visualisierung und Download der Geo-Daten umfasst. Die Geo-Daten müssen zu-

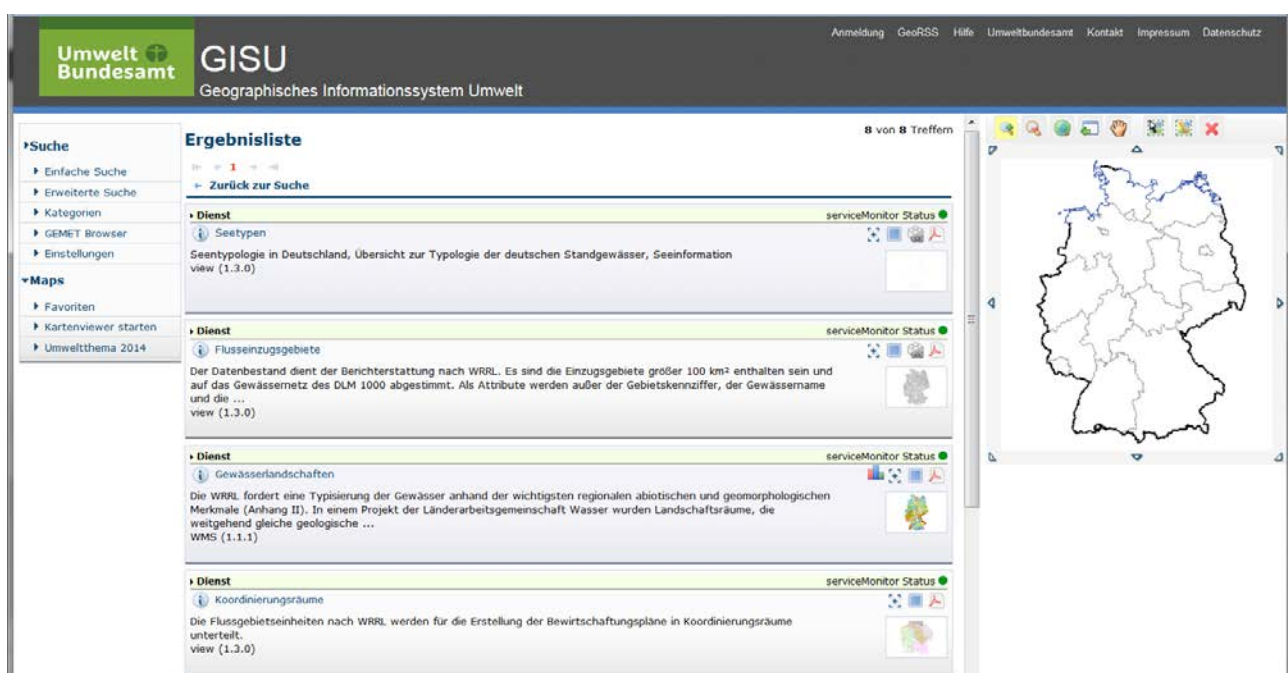
<sup>9</sup> <http://gis.uba.de>. Zuletzt aufgerufen am 17.06.2016



dem nach einheitlichen Vorgaben beschrieben sein; die Datenbeschreibungen sind ebenfalls im Internet bereitzustellen. In deutsches Recht wurde die Richtlinie durch das „Gesetz über den Zugang zu digitalen Geo-Daten (Geo-Datenzugangsgesetz – GeoZG)“ vom 10.02.2009 umgesetzt.

Das GISU erfüllt für den Umweltbereich auf nationaler Ebene die aus INSPIRE entstehenden Verpflichtungen. Entsprechend der rechtlichen Vorgaben umfasst das GISU den sogenannten GISU-Catalog sowie eine internet-gestützte Map-Applikation<sup>10</sup>. Der GISU-Catalog enthält die INSPIRE-konformen Datenbeschreibungen zu den relevanten Umweltdaten und bietet die geforderten Möglichkeiten zu Suche, Visualisierung und auch Download der Geo-Daten. In der Datenübersicht ist dabei jeweils kenntlich gemacht, ob es sich bei den beschriebenen Daten um einen Dienst (z. B. WebMapService), einen Datensatz, eine Anwendung, eine Datenserie oder sonstige Daten handelt. Über die Downloadfunktion besteht hier für Anwender mit entsprechenden Kenntnissen auch die Möglichkeit, Daten für die Weiterverarbeitung und Darstellung zu beziehen.

Abbildung 54: GISU-Catalog



Quelle: <http://gis.uba.de/GISUcatalog/Start.do>. Aufgerufen am 17.06.2016.

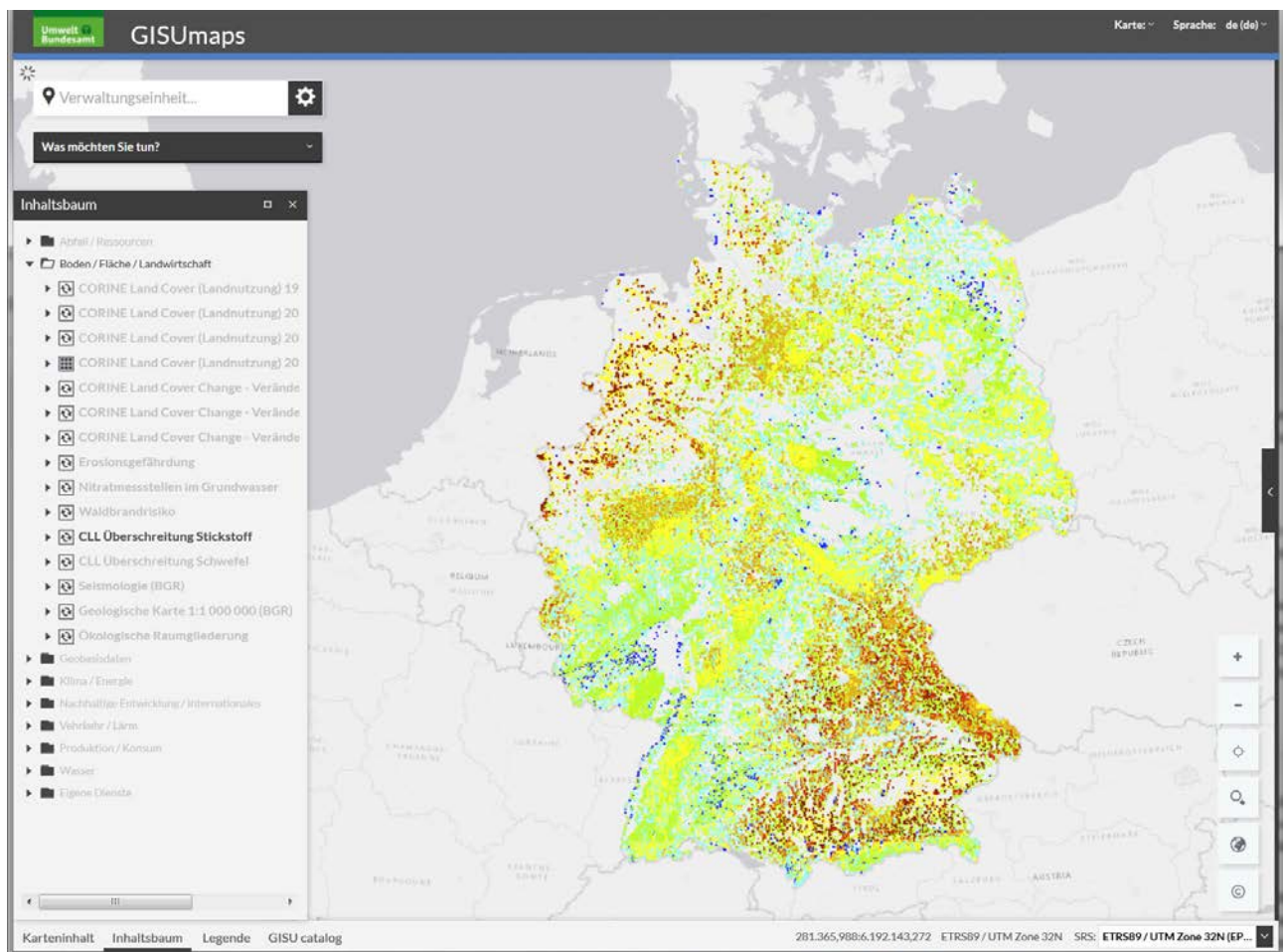
Zusätzlich bietet das GISU dem Nutzer über die dynamische Map-Applikation die Möglichkeit, sich die Geo-Daten online visualisieren zu lassen (s. Abbildung 55). Inhaltlich umfasst die Map-Applikation derzeit die folgenden Themen:

- ▶ Abfall, Ressourcen: Geo-Daten zu Abfallanlagen;
- ▶ Boden, Fläche, Landwirtschaft: u. a. Geo-Daten zu CORINE Land Cover und Land Cover Changes, Erosionsgefährdung, Überschreitungen von Critical Loads und Levels zu verschiedenen Schadstoffen;
- ▶ Geobasisdaten: Geo-Daten zu Staats- und Ländergrenzen, Digitales Geländemodell, Ortschaften;
- ▶ Klima, Energie: Geo-Daten zu Kraftwerken und Stromtrassen;
- ▶ Nachhaltige Entwicklung, Internationales: u. a. Geo-Daten zu den Standorten von Projekten, Projektträgern;

<sup>10</sup> <http://gis.uba.de/mapapps>. Zuletzt aufgerufen am 17.06.2016.

- ▶ Verkehr, Lärm: Geo-Daten rund um die EU-Umgebungslärm-Richtlinie, z. B. zur Betroffenheit durch Flug- und Schienenlärm, zur Lage von Flughäfen und -plätzen;
- ▶ Produktion, Konsum: Geo-Daten zu Großfeuerungsanlagen und PRTR-Anlagen;
- ▶ Wasser: u. a. Geo-Daten aus dem Kontext der EU-Wasserrahmenrichtlinie zu Einzugsgebieten, Gewässerstruktur, Messstellen, Gewässerlandschaften.

Abbildung 55: GISU Map-Applikation, Beispiel CLL Überschreitung Stickstoff



Quelle: <http://gis.uba.de/mapapps>. Aufgerufen am 17.06.2016.

Die Map-Applikation erlaubt es, Geo-Daten aus den unterschiedlichen Themenkomplexen in eigenen Visualisierungen zu kombinieren. Inhaltliche Beschränkungen, z. B. der Ausschluss fachlich nicht sinnvoller Kombinationen, sind dabei nicht implementiert. Eine Veränderung der Darstellung (Legende o. ä.) oder ein Download der bereitgestellten Informationen ist über diese Applikation bislang nicht möglich.

#### 6.1.4 Fazit

Zusammenfassend können zum bisherigen Einsatz von Visualisierungen in der Umweltberichterstattung des UBA die folgenden Punkte festgehalten werden:

##### **Räumliche Visualisierungen finden nur sektoral und nur in wenigen Themenfeldern Verwendung**

Bislang werden räumliche Visualisierungen nur in wenigen Themenfeldern der DzU online zur Illustrierung und räumlichen Konkretisierung der behandelten Umweltthemen eingesetzt. Die Visualisie-



rungen stellen in der Regel Informationen zum Umweltzustand oder zu einem Belastungsfaktor bezogen auf ein einzelnes Umweltmedium dar. Die Visualisierungen werden im jeweiligen inhaltlichen Kontext bezogen auf ein ausgewähltes Umweltthema präsentiert. Querbezüge zu räumlichen Darstellungen aus anderen Themenfeldern, z. B. zur räumlich konkreten Diskussion von Ursache-Wirkungsbeziehungen werden nicht vorgenommen. Eine kontinuierliche Fortschreibung der Darstellungen ist möglich und wird praktiziert, sofern die zugrundeliegenden Daten aus einem Monitoring von Bundes- oder teilweise auch Landesbehörden stammen (z. B. Luftqualität). In anderen Fällen ist dies nicht ohne weiteres möglich, insbesondere wenn für die Illustration der Themen Ergebnisse von spezifischen Forschungsvorhaben verwendet werden, z. B. bei der Überschreitung von kritischen Belastungsgrenzen von Eutrophierung bzw. Versauerung oder bei der Schwermetalldeposition.

### **Unterschiedliche Aktualität der präsentierten Geo-Daten**

Die Aktualität von Visualisierungen hängt grundsätzlich in einem starken Maß von den verwendeten Datenquellen ab. Die in der Umweltberichterstattung des UBA präsentierten Visualisierungen weisen auch aus diesem Grund sehr unterschiedliche Zeitbezüge auf. Die im Karten- und Datendienst „Aktuelle Luftdaten“ präsentierten Informationen sind tagesaktuell und werden über den Kartendienst „Luftschadstoffbelastung“ um jährliche Werte (Überschreitungshäufigkeiten, Jahresmittelwerte) sowohl für Deutschland insgesamt in Form einer Rasterauswertung sowie für einzelne Stationen ergänzt. Andere Visualisierungen, insbesondere wenn sie sich auf Datensätze beziehen, die im Rahmen von Forschungsvorhaben erzeugt wurden, weisen Zeitbezüge auf, die bereits stark in der Vergangenheit liegen und keine bzw. nur eine eingeschränkte Beurteilung des aktuellen Umweltzustands erlauben. Hierzu zählen z. B. die Visualisierungen zu den Schwermetalldepositionen<sup>11</sup> auf der Grundlage von im Zusammenhang mit der EMEP-Konvention ermittelten Daten mit Bezug zu den Jahren 1990 und 2010 oder die Visualisierungen zu den Überschreitungen von Critical Loads zu Eutrophierung bzw. Versauerung aus den Jahren 2009<sup>12</sup> bzw. 2004<sup>13</sup>.

### **Präsentation von vorliegenden Geo-Daten außerhalb des inhaltlichen Kontexts**

Für eine Reihe von Themen bestehen u. a. im Zusammenhang mit der INSPIRE-Richtlinie Verpflichtungen gegenüber der EU zur Erhebung, Bereitstellung und Präsentation von Geo-Daten. Diese räumlichen Informationen werden über die thematischen Kartendienste des GISU in gebündelter Form zentral bereitgestellt, um die Erfordernisse der INSPIRE-Richtlinie zu erfüllen. Die räumlichen Informationen zu den verschiedenen Umweltthemen sind hier in strukturierter Form zugänglich. Je nach Bedarf und Kompetenz des Nutzers können die Daten gesichtet oder auch weiter verarbeitet werden. Das Datenangebot ist allerdings nur mittelbar in das sonstige Informationsangebot des UBA eingebunden, so dass sich der Nutzer Hintergrundinformationen, die für das Verständnis von Ursache-Wirkungszusammenhängen und für eine Einordnung und Bewertung der mit den Daten dargestellten Sachverhalte erforderlich sind, selbst erschließen muss. Innerhalb des GISU werden keine fachlichen Erläuterungen zu den präsentierten Geo-Daten bereitgestellt.

### **Noch kein abgestimmtes Datenmanagement für die Umweltberichterstattung**

<sup>11</sup> <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luftbelastung/schwermetalldepositionen>. Aufgerufen am 20.06.2016.

<sup>12</sup> <https://www.umweltbundesamt.de/daten/bodenbelastung-land-oekosysteme/ueberschreitung-der-belastungsgrenzen-fuer-0>. Aufgerufen am 20.06.2016.

<sup>13</sup> <http://gis.uba.de/mapapps/resources/apps/ubaViewer/index.html?lang=de>. Aufgerufen am 20.06.2016.

Das Datenmanagement in der Umweltberichterstattung zielt aktuell auf die Erzeugung bzw. Bereitstellung von Daten für die Umweltinformation u. a. von Wirtschaft, Behörden, Forschungsinstitutionen und der interessierten Öffentlichkeit. Es wird bislang zumindest teilweise auch durch die Fachgebiete übernommen, die die Fachbeiträge zu den DzU vornehmen. Ein aufeinander abgestimmtes, organisiert und damit nachhaltiges Datenmanagement stand bisher nicht im Fokus der Umweltberichterstattung.

## **6.2 Anwendungsmöglichkeiten der entwickelten Konzepte und Instrumente**

Das im Vorhaben ausgearbeitete Modellkonzept (s. Abbildung 3) umfasst die fachliche und die DV-technische Modellierung. Diese beiden Modellierungsstränge sind eng miteinander verknüpft, können aber mit ihren jeweiligen Werkzeugen unterschiedliche Anwendungsmöglichkeiten abdecken und lassen sich für unterschiedliche Verwendungszwecke einsetzen.

### **6.2.1 Anwendungsmöglichkeiten der fachlichen Modellierung**

#### **6.2.1.1 Analysemodelle**

##### **Mögliche Funktionen**

Der Zielpunkt der fachlichen Modellierung ist die Entwicklung von Visualisierungen zu (medienübergreifenden) Umweltproblemen und -konflikten unter Berücksichtigung von deren Ursache-Wirkungsbeziehungen. Es sind aber nicht allein die Visualisierungen, die für die Umweltberichterstattung nutzbar gemacht werden können. Das Analysemodell und die dazugehörige Dokumentation können eingesetzt werden, um Umweltprobleme als Modellgegenstand aufzubereiten und hinsichtlich der relevanten Ursache-Wirkungszusammenhänge zu strukturieren, zu dokumentieren und auch darzustellen. Die Dokumentation schließt dabei wesentlich den aktuellen Wissensstand zur Themenstellung sowie die Daten-situation ein. Diese Funktionen sind allerdings primär nach innen gerichtet; für eine externe Kommunikation sind die Analysemodelle aufgrund ihrer Komplexität und des damit verbundenen Erklärungsbedarfs eher nicht geeignet.

##### *6.2.1.1.1.1 UBA-interne Kommunikation*

Die Darstellungen können zunächst dazu genutzt werden, um auf der Grundlage der ermittelten Zusammenhänge den innerhalb des UBA zu einem (medienübergreifenden) Umweltproblem bzw. -konflikt anzusprechenden Personenkreis systematisch einzugrenzen. In der Kommunikation zwischen dem FG I 1.5 und den als relevant identifizierten Fachgebieten innerhalb des UBA können sie des Weiteren dazu dienen, ein gemeinsames Verständnis von (medienübergreifenden) Umweltproblemen und -konflikten und deren wesentlichen Komponenten, d. h. den zu berücksichtigenden Objekten und Prozessen zu erreichen. Die ermittelten Ursache-Wirkungsbeziehungen können in Zusammenarbeit mit den Experten ggf. weiter differenziert und detailliert werden.

##### *6.2.1.1.1.2 Grundlage für eine systematische Recherche*

In diesem weiterentwickelten, abgestimmten Stand können die Analysemodelle als Grundlage für eine systematische Recherche nach Datenquellen und geeigneten Daten sowie nach Bewertungsansätzen bzw. Ursache-Wirkungsalgorithmen verwendet werden. Diese Informationen sind ebenfalls in Zusammenarbeit mit den Fachexperten zusammenzustellen und in jedem Fall mit diesen abzustimmen.

##### **Umsetzung**

Für die Erstellung der Analysemodelle sind keine tiefergehenden DV-technischen Kenntnisse erforderlich. Die Abbildungen zu den Ursache-Wirkungsbeziehungen können mittels der Zeichenwerkzeuge von standardmäßiger Office-Software erzeugt werden. Die Dokumentation zu den Analysemodellen

sowie die Ableitung von Visualisierungsmöglichkeiten werden ebenfalls in Standard-Office-Dokumenten vorgenommen.

#### **6.2.1.2 Visualisierungen**

##### **Mögliche Funktionen**

Das Analysemodell und die Ergebnisse des Erarbeitungs- und Abstimmungsprozesses bilden die Grundlage für die zielgerichtete Ableitung von Visualisierungen. Mit dem Wissen um die verfügbaren Daten und deren Interpretation kann systematisch abgeleitet werden, welche Visualisierungen zu einem Thema anhand der bestehenden Daten erzeugt werden können und wie diese Visualisierungen mit Hilfe von Geografischen Informationssystemen themenadäquat gestaltet werden können (z. B. unter Bezug auf gesetzliche Grenzwerte etc.). Die Visualisierungen selbst können für unterschiedliche Verwendungszwecke eingesetzt werden.

##### *6.2.1.2.1.1 Kommunikation von (medienübergreifenden) Umweltproblemen und -konflikten*

Die primäre Aufgabe der Visualisierungen ist es, die Umweltberichterstattung in ihrer Kommunikationsfunktion zu unterstützen. Ziel ist es, die bisherigen (sektoralen) räumlichen Darstellungen um zusätzliche Angebote zu ergänzen. Die strukturierte Herangehensweise unter Verwendung der Analysemodelle ermöglicht es, die räumlichen Visualisierungen in einem weiteren thematischen Zusammenhang zu entwickeln und gezielt für die Darstellung medienübergreifender Zusammenhänge zu verwenden. Um die Kommunikationsfunktion erfüllen zu können, müssen die Visualisierungen die Anforderungen erfüllen, die grundsätzlich für Werkzeuge der Umweltinformation, z. B. auch für Indikatoren, gelten. Dazu gehört u. a. ganz wesentlich, dass die Informationen verständlich aufbereitet sind und die Darstellungen regelmäßig aktualisiert werden können.

- ▶ **Verständlichkeit:** Die an die Öffentlichkeit gerichteten Visualisierungen müssen für einen interessierten Laien rasch nachvollziehbar sein, sie dürfen daher nicht zu viele Informationen kombinieren und nicht zu komplex sein. Des Weiteren ist darauf zu achten, dass Interpretationshindernisse benannt werden. Dies können z. B. zeitliche Datenlücken sein oder sonstige Sachverhalte, die die räumliche Vergleichbarkeit der Daten einschränken. In räumlichen Darstellungen sind zudem Orientierungspunkte zu verwenden, die eine regionale Zuordnung von Ausprägungen ermöglichen.
- ▶ **Fortschreibbarkeit:** Um Entwicklungen sichtbar machen zu können, ist bei der Auswahl von Visualisierungen besonders darauf zu achten, dass zum einen die verwendeten Datenquellen kontinuierlich bestehen bleiben, zum anderen aber auch, dass ein regelmäßiger Bezug der Daten organisiert ist, d. h. dass insbesondere externe Daten regelmäßig bezogen und Datenbestände und Auswertungen aktualisiert werden.

Die Anforderungen gelten gleichermaßen für die Bereitstellung der Visualisierungen in statischer Form (Printpublikation) wie auch in digitaler Form, z. B. als online angebotene (interaktive) Darstellung.

##### *6.2.1.2.1.2 Verknüpfung unterschiedlicher Berichtsprodukte für die Kommunikation*

Die aktuell für die Umweltberichterstattung genutzten Instrumente der DzU online und der Karten- und Datendienste erscheinen bislang weitgehend separat; Verknüpfungen zwischen den beiden Produkten bestehen nur an wenigen Stellen (s. Kap. 5.1). Das vorgelegte Konzept insbesondere zu den Visualisierungen kann ein Ausgangspunkt für Überlegungen zu einer stärkeren Verknüpfung der verschiedenen Berichtsinstrumente sein. Die Präsentation einer Visualisierung zu einem medienübergreifenden Umweltproblem bzw. -konflikte kann z. B. als Aufhänger dienen, um den Zugang zu Informationen in Form von Texten und Diagrammen (DzU, KIS) einerseits und in Form von Karten- und Datendiensten andererseits zu ermöglichen, d. h. um einen integrierenden Zugang zu diesen Informationen

zu schaffen. Anhand der ausgearbeiteten Ursache-Wirkungsbeziehungen können Informationspfade beschritten werden, auf denen unterschiedliche digitale Angebote wahrgenommen werden können.

#### 6.2.1.2.1.3 *Räumliche Analyse von (medienübergreifenden) Umweltproblemen und -konflikten*

Unterstützt das Analysemodell die Arbeit des FG I 1.5 und der Experten aus den weiteren Fachgebieten darin, (medienübergreifende) Umweltproblemen und -konflikten inhaltlich zu strukturieren und zu analysieren, so können die unter Berücksichtigung der Ursache-Wirkungsbeziehungen erarbeiteten Visualisierungen dazu dienen, die räumliche Ausprägung von Umweltproblemen und -konflikten konkret darzustellen und zu analysieren. Die Visualisierung kann innerhalb des UBA als Instrument für räumliche Analyse verwendet werden, um die textlichen Fachbeiträge zur Umweltberichterstattung um eine räumlich differenzierende Interpretation zu ergänzen. Regionen, in denen ein Umweltproblem bzw. -konflikt oder unterschiedliche Gefährdungsfaktoren besonders ausgeprägt sind bzw. in denen das Risiko besteht, dass durch einen Einflussfaktor negative Umweltauswirkungen entstehen, können ermittelt und ggf. konkret angesprochen werden.

Die räumlichen Darstellungen als Arbeitsinstrument für eine solche interne Analyse können grundsätzlich komplexer gestaltet sein als Produkte, die für die externe Kommunikation gedacht sind. Erfüllen die erzeugten Visualisierungen die Anforderungen an Produkte der Öffentlichkeitsinformation, können sie aber auch hierfür eingesetzt werden.

#### 6.2.1.2.1.4 *Unterstützung politischer und planerischer Entscheidungsprozesse*

Visualisierungen werden auf unterschiedlichen räumlichen Ebenen auch genutzt, um politische und planerische Entscheidungsprozesse zu unterstützen. Dabei steht die Auseinandersetzung mit möglichen Zuständen bzw. Risiken im Vordergrund mit dem Ziel, längerfristige Auswirkungen von heute ergriffenen oder unterlassenen Maßnahmen abschätzen zu können. Für die Untersuchung von Risiken können unterschiedliche Maßstäbe zugrunde gelegt werden. Dies können z. B. sein:

- ▶ die Ausmaße vergangener Ereignisse, z. B. im Rahmen des Hochwasserrisikomanagements,
- ▶ die Projektion zukünftiger Zustände, z. B. im Zusammenhang mit der Untersuchung von Auswirkungen der klimatischen Veränderungen z. B. auf die zukünftige Eignung von Waldstandorten (Knölling et al. 2009) oder die Schifffahrt (BMVI 2015) oder die Abschätzung der zukünftigen Flächeninanspruchnahme auf regionaler Ebene zugrunde (Goetzke et al. 2014; Hoymann et al 2012),
- ▶ die Bewertung von aktuellen Zuständen anhand bekannter Wertschwellen wie z. B. gesetzliche Grenzwerte oder empfohlene Richtwerte.

Auf der Basis definierter Ursache-Wirkungsbeziehungen können damit räumlich konkrete Aussagen über die möglichen Ausprägungen von Prozessen oder Zuständen getroffen werden. Diese Aussagen können im Sinne eines Frühwarnsystems genutzt werden, das frühzeitig über nachteilige Prozesse informiert oder die Gefahr von z. B. Grenzwertüberschreitungen erfasst. Wesentliche Voraussetzung für diesbezügliche Visualisierungen ist ein sehr gutes Wissen über die Ursache-Wirkungsbeziehungen zum jeweiligen Sachverhalt.

### **Umsetzung**

Die konkrete Erstellung der Visualisierungen erfolgt unter Nutzung eines GIS. Im UBA ist hierfür als Software-Anwendung ArcGIS implementiert. Die bestehenden GIS-Funktionalitäten können bei Bedarf für wiederkehrende Aufgaben durch die Programmierung eigener GIS-Modelle und deren Integration als Add-In in die ArcGIS-Oberfläche ergänzt werden (vgl. dazu Kap. 4.1.4). Im Rahmen des Vorhabens wurden als Visualisierungen als statische Karten erzeugt. Grundsätzlich können Visualisierungen aber auch interaktiv für Online-Anwendung gestaltet werden. Dies kann dann z. B. auch die Präsentation von Zeitreihen räumlicher Daten in Form von GIS-basierten Filmen umfassen.

Für die Umsetzung der Visualisierungen sind der Bezug, die Aufbereitung und Verarbeitung von Daten zu leisten. Für die Visualisierungen können im Wesentlichen die in Tabelle 21 dargestellten Datentypen verwendet werden.

Tabelle 21: Berücksichtigte Datentypen und Beispiele

| Datentyp                     | Format         | Raumbezug      | Beispiele   |
|------------------------------|----------------|----------------|---|
| Sachdaten                    | xlsx, txt, csv | Fläche         | StBA: Fortschreibung des Bevölkerungsstands, Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung<br>DWD: Hitzewarnungen für die DWD-Warnkreise   |
|                              |                | Punkt          | UBA: Datensätze zur Schadstoffkonzentration in der Luft – Stationswerte für Tagesmittelwerte für PM <sub>10</sub> , 8h-Mittelwert für Ozon  |
| Georeferenzierte Vektordaten | shp, gdb       | Fläche         | UBA: Datensätze zur Schadstoffkonzentration in der Luft – interpolierte Jahresmittelwerte (7km*8km-Raster)<br>BKG: Administrative Einheiten der Bundesrepublik Deutschland (Gemeinden, Kreise und kreisfreie Städte etc.)<br>BfN: Abgrenzung von Schutzgebieten |
|                              |                | Fläche / Linie | EIONET: Ergebnisse der Lärmkartierung   |
| Rasterdaten                  | asc            | Fläche         | DWD: Heiße Tage<br>UBA: Datensätze zur Schadstoffkonzentration in der Luft<br>BGR: Ackerbauliches Ertragspotenzial  |
| Georeferenzierte Bilddaten   | tif            | Fläche         | EUA: CORINE Land Cover  |

Die Verarbeitung der Daten erfolgt im Falle der Daten aus der amtlichen Statistik mit Hilfe von standardmäßiger Office-Software. Die Weiterverarbeitung zur Visualisierung der statistischen sowie die Aufbereitung, Verarbeitung und Visualisierung der vektor- bzw. rasterbasierten Geo-Daten erfolgt mit ArcGIS.

## 6.2.2 Anwendungsmöglichkeiten der DV-technischen Modellierung

Das generalisierte Modellkonzept und die mit dessen Bausteinen erstellten Analysemodelle sind der Ausgangspunkt für die DV-technische Modellierung. Wie in den Kapiteln 3.4 sowie 4.4 ausgeführt, kann das daraus entwickelte Datenmodell als Grundlage für ein Datenmanagementsystem dienen, dessen strukturgebendes Organisationsprinzip die Ursache-Wirkungsbeziehungen der Analysemodelle sind.

### 6.2.2.1 Ursache-Wirkungsbezogenes Datenmanagement

#### Mögliche Funktionen

##### 6.2.2.1.1 Interne Bereitstellung von Daten und / oder Visualisierungen zu (medienübergreifenden) Umweltproblemen und -konflikten

Das Datenmanagementsystem kann dazu verwendet werden, eine UBA-interne Verwaltung und Bereitstellung von Daten zu entwickeln. Das Datenmanagement kann dabei Sachdaten, Geo-Daten und

Visualisierungen gleichermaßen einbeziehen. Damit bietet das System grundsätzlich die Möglichkeit, als UBA-internes Datenportal zu fungieren. Dieses könnte z. B. genutzt werden:

- ▶ zur zentralen Bereitstellung von nach festen Prozeduren harmonisierten Datensätzen, die regelmäßig von unterschiedlichen UBA-Mitarbeitern verwendet werden (z. B. Daten zu Bevölkerungsstand oder Flächennutzung des StBA);
- ▶ zur internen Bereitstellung von fachlich ausgewerteten bzw. weiterverarbeiteten Datensätzen, z. B. zur Sichtung oder zur eigenen weiteren Verwendung;
- ▶ zur internen Bereitstellung von erzeugten Visualisierungen zu (medienübergreifenden) Umweltproblemen und -konflikten.

Der nach den UBA-Umweltthemen bzw. Umweltprozessen aufgebaute Zugang in das Datenmanagementsystem und die nach Ursache-Wirkungsgesichtspunkten ausgerichtete interne Struktur kann Fachanwendern die Nutzung des Systems erleichtern. Das System kann dabei nach den eigenen Erfordernissen ausgebaut werden. Weitere Umweltprobleme bzw. -konflikte können auf der Grundlage von Analysemodellen nach den Vorgaben der Fachanwender ergänzt und konfiguriert werden. Der Umfang, in dem Daten durch andere Nutzer gesichtet, verändert und verarbeitet werden können, lässt sich dabei über die Rechte-Rollen-Administration steuern.

#### 6.2.2.1.1.2 Datenbereitstellung für Nutzer in Wirtschaft, Wissenschaft und Forschung, sonstige Interessen

Mit der zunehmenden Digitalisierung der Gesellschaft und den zunehmenden (auch mobilen) Möglichkeit der Internetnutzung ebenso wie als Folge entsprechender europäischer Richtlinien und Konventionen (z. B. INSPIRE, Aarhus) nimmt der Bedarf zu, Umweltinformationen auch für die Öffentlichkeit in einer weiterverwendbaren Form bereitzustellen. Für den Umweltbereich könnte das UBA perspektivisch eine zentrale Rolle für die Veröffentlichung bzw. Bereitstellung von Umweltdaten übernehmen. Ziel wäre es, die vielfältigen Daten rund um die Umweltberichterstattung einem größeren Kreis an Personen und Institutionen aus Wirtschaft, Wissenschaft und Forschung leichter zugänglich zu machen.

### Umsetzung

Für das Datenmanagement wurde im Rahmen des Vorhabens eine eigene Software-Applikation entwickelt, die auf der envVision-Technologie basiert. Das Datenmanagement erfolgt darin über die strukturierte Dokumentation von Umweltprozessen sowie Geobasis-Daten, Fachdaten und Analysedaten in Form sogenannter Steckbriefe, die Informationen u. a. zur Datenverwaltung, -aufbereitung und -verarbeitung sowie zu Verantwortlichkeiten umfassen. Über die Steuerung von Rechten und Zugängen ist es möglich, unterschiedlichen internen ebenso wie auch externen Nutzergruppen Daten in einem unterschiedlichen Detailgrad bereitzustellen.

## 6.3 Anforderungen für den Einsatz des Modellkonzepts

Um das Modellkonzept für die Zwecke der Umweltberichterstattung des UBA unter Einbindung der Fachexperten aus den weiteren Fachgebieten des UBA dauerhaft umsetzen und dessen Möglichkeiten nutzen zu können, sind verschiedene Anforderungen zu erfüllen. Diese sind zum einen struktureller Natur, zum anderen müssen z. B. mit Blick auf die Datenbeschaffung und -verarbeitung auch praktische arbeitsorganisatorische Fragestellungen beantwortet werden.

### 6.3.1 Strukturelle Anforderungen

Das Modellkonzept wurde entwickelt, um medien- und themenübergreifende Fragestellungen bearbeiten zu können. Hierfür wird regelmäßig eine fachgebietsübergreifende Zusammenarbeit erforderlich sein. So waren in die Abstimmungen zu allen prototypischen bearbeiteten Themenstellungen Experten



aus verschiedenen Fachgebieten des UBA eingebunden. Vor diesem Hintergrund ist zu klären, in welcher Form die mit dem Einsatz des Konzepts verbundenen Aufgaben und Rollen innerhalb der UBA-Fachgebiete verteilt werden können. Die zu teilenden Aufgaben umfassen dabei folgende drei Bereiche:

### **Projektsteuerung und Lenkung**

Auf einer übergeordneten Ebene muss die Projektsteuerung zunächst eine Konzeption für das Zusammenspiel der verschiedenen in die Umsetzung des Modellkonzepts involvierten Akteure entwickeln. Dabei ist zu berücksichtigen, dass GIS-Kompetenzen nicht in allen UBA-Fachgebieten in gleicher Weise verfügbar sind. Die Fachgebiete benötigen daher in unterschiedlichem Umfang Unterstützung für die Entwicklung von Visualisierungen. Grundsätzlich wird aber erwartet, dass sich auch im Zuge der gemeinsamen Anwendung des Modellkonzepts das GIS-Know-how zukünftig verbessern wird.

Die Funktion der Projektsteuerung umfasst des Weiteren die Aufgabe, in einer Zusammenarbeit zwischen dem FG I 1.5 und weiteren Fachgebieten die Umweltprobleme und -konflikte zu entwickeln und festzulegen, für die das Modellkonzept angewendet werden soll. Für die ausgewählten Umweltprobleme und -konflikte sind Facharbeitsgruppen zu bilden und zu koordinieren, die die Modellierung als Experten begleiten. Als weitere Aufgabe kommt der Projektsteuerung die Organisation der Datenakquise und -qualifizierung zu und – je nach Einsatzkonzeption – auch deren Durchführung.

### **Modellierung**

Der Aufgabenbereich der Modellierung umfasst zwei Teilbereiche. In der fachlichen Modellierung erfolgen die Definition der Ursache-Wirkungsbeziehungen zu den ausgewählten Themen und die Ausarbeitung der Analysemodelle einschließlich ihrer Dokumentation. Des Weiteren umfasst die fachliche Modellierung die Ableitung und die Ausarbeitung der Visualisierungen zu den gewählten Themenstellungen. Die fachliche Modellierung ist grundsätzlich in allen Schritten in enger Abstimmung mit der jeweils eingerichteten Facharbeitsgruppe unter Beteiligung der jeweiligen Fach- oder Sachgebiete durchzuführen.

Der Teilbereich der DV-technischen Modellierung umfasst im Wesentlichen die Übersetzung des Analysemodells in ein DV-technisches Anwendungsdiagramm. Zudem umfasst der Teilbereich die Aufgabe, ggf. hilfreiche zusätzliche GIS-Funktionalitäten für bestimmte, z. B. wiederholt durchzuführende Visualisierungsaufgaben bereitzustellen. Des Weiteren ist das Regelwerk für Rechte- und Rollenkonzept auszuarbeiten.

### **DV-technische Administration**

Der DV-technischen Administration kommen die Aufgaben zu, die Schlüssellisten, d. h. die Codierung der Bestandteile des Datenmanagements, zu entwickeln bzw. für neue Fachthemen anzupassen und zu erweitern. Die DV-technische Administration ist zudem dafür verantwortlich, die im Rahmen der Modellierung erarbeiteten GIS-Funktionalitäten für die Visualisierung im GIS-UWB-Add-in zu implementieren und ggf. die Web-Oberfläche der Datenmanagement-Applikation an konkrete Anwendungsfälle anzupassen. Zudem obliegt der DV-technischen Administration die Aufgabe, die Rollen und Rechte gemäß dem Regelwerk der Modellierung zu konfigurieren.

## **6.3.2 Datenbezogene Erfordernisse**

### **6.3.2.1 Erforderliche Datenqualität**

Um für räumlich differenzierte Visualisierungen zu Umweltproblemen und -konflikten für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland verwendet werden zu können, müssen Datenbestände verschiedene Voraussetzungen erfüllen:

#### **Flächendeckende Datenverfügbarkeit**

Die für die Visualisierung zu verwendenden Datensätze decken das gesamte Bundesgebiet ab.

#### **Dauerhafte Datenverfügbarkeit**

Grundvoraussetzung für eine Umweltberichterstattung ist die regelmäßige Darstellung von Entwicklungen zu definierten Sachverhalten auf der Grundlage einer kontinuierlich verfügbaren Datenquelle. Bezogen auf Visualisierungen, die regelmäßig durch das UBA erzeugt und bereitgestellt werden sollen, sind das:

- ▶ UBA-eigene Daten, d. h. Daten, die primär vom UBA erfasst, zusammengestellt und vorgehalten werden,
- ▶ Daten, die sekundär in das UBA.gdi einbezogen sind, d. h. von anderen Behörden, ausgehend von den Anforderungen des Umweltinformationsgesetzes, bereitgestellt werden und dem UBA zur Verwendung zur Verfügung stehen (z. B. raumbezogene Daten des BKG),
- ▶ Daten, die frei verfügbar bzw. deren Datennutzungsrechte mit den datenhaltenden Behörden geklärt sind und die regelmäßig für umweltbezogene Auswertungen von UBA-Fachgebieten genutzt werden (z. B. Daten der amtlichen Statistik des StBA).

Singuläre Ergebnisse von Forschungsvorhaben, die zukünftig nicht reproduziert bzw. weitergeführt werden, sind i. d. R. keine geeignete Datenquelle.

#### **Aktualität**

Für viele Anwendungszwecke ist eine hohe Aktualität der Daten wünschenswert, um zeitgerecht auf Entwicklungen reagieren zu können. Für gesundheitsbezogene Warnsysteme sind Tages- oder sogar stundenbezogene Werte erforderlich. Für die Bewertung von räumlichen Entwicklungen sind für die Bundesebene zumindest jährliche Daten wünschenswert.

#### **Datenkompatibilität**

Die Daten müssen zueinander kompatibel sein, d. h. Schnittstellen für die Zuordnung zwischen unterschiedlichen Datensätzen müssen korrekt sein, GIS-Daten müssen miteinander verarbeitet und verrechnet werden können.

#### **Raumbezug der Datensätze**

Um die Daten in eine räumliche Visualisierung einbeziehen zu können, müssen sie georeferenziert sein oder georeferenziert werden können, d. h. sie besitzen entweder selbst Informationen zu ihrer räumlichen Lage und Ausdehnung (Vektordaten, Shape), oder sie können z. B. im Falle von statistischen Daten an georeferenzierte Datensätze (z. B. Grenzen von Verwaltungsgebieten, Naturräumen etc.) angebunden werden.

#### **Standardisierte, verifizierte Verarbeitungsmethoden**

Für den Bezug und die Verarbeitung der Daten bestehen Routinen und standardisierte Methoden bzw. Algorithmen, die eine dauerhafte und kontinuierliche Datenverfügbarkeit praktisch gewährleisten. Dies schließt einen Qualitätscheck der Daten ein, der Voraussetzung für den fachlich korrekten Umgang mit den Daten ist. Wie im Falle der Datenbereitstellung sollten auch zu verwendende Modelle und Algorithmen direkt im UBA vorhanden sein, damit ihre Nutzbarkeit gewährleistet ist.

#### **6.3.2.2 Erfordernisse für Datenbeschaffung und -haltung**

Ein dauerhafter Einsatz des Modellkonzepts für die Zwecke der Umweltberichterstattung ist eng mit der Frage der Datenbeschaffung und -haltung verbunden, die bislang nach den Erfahrungen aus dem Vorhaben themenbezogen innerhalb der jeweiligen Fachgebiete organisiert ist. Aufgrund der Einbindung anderer Fachgebiete in die Aufgaben der Umweltberichterstattung sollten diese beiden Punkte grundsätzlich in einem fachgebietsübergreifenden Zusammenhang angegangen werden. Mit Blick auf Datenbeschaffung und -haltung müssen mit dem Ziel einer nachhaltigen und effizienten Datennutzung im UBA u. a. die folgenden Aspekte bedacht werden:

- ▶ Entwicklung eines harmonisierten Datenmanagements für eine fachgebietsübergreifende Datennutzung und eine zentrale Bereitstellung der regelmäßig von unterschiedlichen Fachgebieten benötigten Daten;
- ▶ Schaffung eines Überblicks über die von verschiedenen Fachgebieten genutzten und generierten (räumlichen) Daten und deren Verarbeitungen;
- ▶ Verstetigung der Datenflüsse von externen Datenquellen, z. B. der amtlichen Statistik von Bund und Ländern; eine Systematisierung bzw. Standardisierung für die Aktualisierung und Pflege von Datenbeständen ist zu entwickeln;
- ▶ Bereitstellung der notwendigen personellen und technischen Kapazitäten für die Datenakquisition und -qualifizierung; die Aufgaben schließen die Dokumentation der Daten als auch der Datenverarbeitung ein, um die Qualität intern bereitgestellter Daten dauerhaft sicherzustellen.

### **6.4 Perspektiven für die weitere Nutzung des Modellkonzepts**

#### **6.4.1 Thematische Weiterentwicklungsmöglichkeiten**

Im Rahmen des Fachgesprächs zum Vorhaben, das am 24.05.2016 im UBA Dessau stattfand, wurden die folgenden Themen angesprochen, die sich als weitere Anwendungsfälle für das Modellkonzept eignen könnten:

- ▶ Chemikalien: Eintrag von Schadstoffen wie PCB, Glyphosat in den Boden und Ausbreitung in der Umwelt;
- ▶ Stickstoff: Eintragspfade und Auswirkungen von Stickstoff;
- ▶ Klimafolgenanpassung: Auswirkungen des Klimawandels auf die verschiedenen Handlungsfelder der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel unter Berücksichtigung des Fachinformationssystems „Klimafolgen und Anpassung“ (FISKA).

Eine genauere Formulierung von besonders zu berücksichtigenden Ursachen-Faktoren oder von zu untersuchenden Ziel-Umweltschutzgütern wurde im Rahmen des Fachgesprächs allerdings nicht vorgenommen.

#### **6.4.2 Weiterentwicklung der Visualisierung**

Im Rahmen des Fachgesprächs wurden u. a. auch Zielvorstellungen für die zukünftige Nutzung und die gestalterische Weiterentwicklung von Visualisierungen diskutiert. Im Fokus des Gesprächs standen dabei insbesondere die Möglichkeiten einer interaktiven Nutzung von Kartendarstellungen. Angesprochen wurden die folgenden Möglichkeiten:

## Inhaltliche Abschtichung von Informationen

Die Informationen in den Karten werden mit unterschiedlichen inhaltlichen Detailgraden angeboten. Eine Einstiegskarte kann z. B. plakative und schnell erfassbare Informationen präsentieren. Über eine inhaltliche Auswahl können davon ausgehend differenziertere inhaltliche Informationen erreicht werden. Beispielsweise kann die kartografische Darstellung eines Luftqualitätsindex als Einstiegskarte angeboten werden. Die einzelnen Luftschadstoffe können dann in der weiteren Detaillierung separat betrachtet werden.

## Zoomfunktion und Datenbereitstellung

Aus einer leicht erfassbaren bundesweiten Übersicht lassen sich über eine Zoomfunktion räumlich differenziertere Informationen erreichen. Es können dabei auch zusätzliche Datenquellen (z. B. Einzelstationsdaten) eingeschaltet werden, ggf. können hierüber auch konkrete punktbezogene Datenreihen dargestellt oder auch zur weiteren Verwendung z. B. als Tabelle bereitgestellt werden. Die Darstellung und ggf. auch Bereitstellung differenzierterer räumlicher Daten kann Überschneidungen mit den Zuständigkeitsbereichen von Ländern und Kommunen mit sich bringen. Dies ist bei der Ausarbeitung eines entsprechenden Konzepts zu beachten.

## „Spielmöglichkeiten“ – Interaktive Zusammenstellung von Informationen

Der Nutzer sollte sich selbst nach seinen Interessen Informationen zusammenstellen und betrachten können. Für diese eigene Zusammenstellung von Daten durch den Nutzer sollten allerdings Regeln und / oder Empfehlungen vorgegeben werden. Diese Regeln und / oder Empfehlungen zur Datenbetrachtung oder Datenanalyse sind anhand von fachlich validen Faktor-Kombinationen auszuarbeiten. Grundsätzlich ist hierzu eine Steuerung durch das Datenmanagement-System möglich.

### 6.4.3 Weiterentwicklung des Datenmanagements

Ein Datenmanagement nach dem entwickelten DV-technischen Umsetzungskonzept bietet die Möglichkeiten der systematischen Erfassung und Verwaltung der erstellten Visualisierungen einschließlich ihrer Verarbeitungen und der verwendeten Geo-Daten in einer Struktur, die nach Umweltthemen und Umweltprozessen sowie deren Ursache-Wirkungsbeziehungen aufgebaut ist. Zudem bietet es die Möglichkeit, die Verarbeitungsschritte nachzuvollziehen und auch zu standardisieren. Ein harmonisiertes Datenmanagement kann auch helfen, Datensätze konsequent nur einmalig zu verarbeiten oder zu erstellen, sie dann aber mehrfach (wieder) zu nutzen. Somit können Mehrfacherfassungen und Inkonsistenzen vermieden und ein effektiver, zeit- und kostensparender Umgang mit Daten unterstützt werden.

Das ausgearbeitete Datenmodell ist dabei methodisch nach dem Linked Data Konzept umgesetzt: Die konkreten Daten (z. B. die Visualisierungen) werden über sogenannte Steckbriefe beschrieben, die dann auf die eigentlichen Daten verweisen. Das bedeutet zum einen, dass am eigentlichen Datenverwaltungsprinzip des UBA nichts verändert wird: Die Daten werden weiterhin nach der bisherigen Systematik abgelegt, aus dem Datenmanagementsystem heraus wird dann auf sie verwiesen. Zum anderen sind in dieser Form auch Verweise auf Daten, die per Web-Services bereitgestellt werden, möglich, können in das Datenmanagement eingebunden und z. B. mit Umweltprozessen oder anderen Steckbriefen verbunden und in einen Ursache-Wirkungszusammenhang gestellt werden. Dies kann grundsätzlich auch Daten der (Satelliten-) Fernerkundung wie z. B. aus dem Copernicus-Programm) umfassen.

## 7 Quellenverzeichnis

BayLfStAD – Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung (2016): Statistikatlas Bayern – 33111 Flächennutzung, Flächenverbrauch – Veränderung der Siedlungs- und Verkehrsfläche zum 31.12.2014 gegenüber dem 31.12.1992 in % je Jahr. [www.statistik.bayern.de/statistikatlas/](http://www.statistik.bayern.de/statistikatlas/). Aufgerufen am 25.04.2016.

BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2016) Raumentwicklung in Europa – Flächenverbrauch für Siedlungszwecke in Europa. [www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Raumentwicklung/RaumentwicklungEuropa/Projekte/Archiv/Flaechenverbrauch\\_Europa/Flaechenverbrauch.html?nn=413600](http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Raumentwicklung/RaumentwicklungEuropa/Projekte/Archiv/Flaechenverbrauch_Europa/Flaechenverbrauch.html?nn=413600). Aufgerufen am 25.04.2016.

Beck J., Dietz E., Falk W. (2012): Digitales Standortinformationssystem für Bayern – KLIP-Projekt „Karten für die Zukunft“ liefert mit Karten zu Bodeneigenschaft und Baumarteneignung wichtigen Beitrag für bayerische Forstwirtschaft. In: LWF aktuell 87/2012, S. 20-23.

BfN – Bundesamt für Naturschutz (2016): Nationalparke – Nationalparke in Deutschland. [www.bfn.de/0308\\_nlp.html](http://www.bfn.de/0308_nlp.html). Aufgerufen am 25.04.2016.

BfN - Bundesamt für Naturschutz (2014): Grünland-Report – Alles im Grünen Bereich? Bonn, 34 S. [www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/presse/2014/PK\\_Gruenlandpapier\\_30.06.2014\\_final\\_layout\\_barrierefrei.pdf](http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/presse/2014/PK_Gruenlandpapier_30.06.2014_final_layout_barrierefrei.pdf). Aufgerufen am 22.10.2014.

BKG – Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2016): Geoportal.de – Themenkarte Nitrat im Grundwasser: Woher es stammt. [www.geoportal.de/SharedDocs/Karten/DE/Themenkarte\\_Nitrat-im-Grundwasser.html](http://www.geoportal.de/SharedDocs/Karten/DE/Themenkarte_Nitrat-im-Grundwasser.html). Aufgerufen am 25.04.2016.

BMUB – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2015): Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. Kabinettsbeschluss vom 7. November 2007. 4. Auflage, Bonn, 180 S.

BMVI – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.) (2015): KLIWAS – Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland. Abschlussbericht des BMVI – Fachliche Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen des Forschungsprogramms KLIWAS. Berlin, Bonn, 164 S.

Buth M., Kahlenborn W., Savelsberg J., Becker N., Bubeck P., Kabisch S., Kind C., Tempel A., Tucci F., Greiving S., Fleischhauer M., Lindner C., Lückenköter J., Schonlau M., Schmitt H., Hurth F., Othmer F., Augustin R., Becker D., Abel M., Bornemann T., Steiner H. Zebisch M., Schneiderbauer S., Kofler C. (2015): Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. Umweltbundesamt, Climate Change 24/2015, Dessau, 689 S.

Distelkamp M., Großmann A., Hohmann F., Lutz C., Ulrich P., Wolter M. (2009): Panta Rhei Regio – Ein Modellsystem zur Projektion der künftigen Flächeninanspruchnahme in Deutschland und zur Folgenabschätzung fiskalischer Maßnahmen. GWS – Gesellschaft für wirtschaftliche Strukturforshung mbH, gws Discussion Paper 2009 / 7, Osnabrück, 106 S.

DWD – Deutscher Wetterdienst (2016): Warnungen aktuell. [http://www.dwd.de/DE/wetter/warnungen\\_aktuell/warnanwendung\\_node.html](http://www.dwd.de/DE/wetter/warnungen_aktuell/warnanwendung_node.html). Aufgerufen am 10.05.2016.

DG Environment - Directorate-General for Environment (2015): Workshop on Development of Air Quality Index. Ergebnisvermerk zum Meetings vom 29.06.2015, unveröffentlicht.

EA – Environment Agency (2016): Monthly water situation report. Rotherham 23 S.

EEA – Europäische Umweltagentur (2008): The DPSIR framework. [www.eea.europa.eu/publications/92-9167-059-6-sum/page002.html](http://www.eea.europa.eu/publications/92-9167-059-6-sum/page002.html). Aufgerufen am 20.04.2016.

EEA - European Environment Agency (Hrsg.) (2010): Good practice guide on noise exposure and potential health effects. EEA Technical report No 11/2010. Copenhagen, 40 S. <http://www.eea.europa.eu/publications/good-practice-guide-on-noise>. Aufgerufen am 27.02.2015.

Ellenberg H. (Hrsg.) (1986): Ökosystemforschung – Ergebnisse des Sollingprojekts. 1966 - 1986. Ulmer, Stuttgart, 507 S.

Fränze O (2001): Lexikon der Geographie - Ökosystem. <http://www.spektrum.de/lexikon/geographie/oekosystem/5666>. Aufgerufen am 18.04.2016.

Fürst D. & Scholles F. (Hrsg.) (2008): Handbuch Theorien und Methoden der Raum- und Umweltplanung. Rohn, Detmold, 656 S.

- Goetzke R., Hoymann J. (2014): Flächeninanspruchnahme in Deutschland bis 2030 – Auswirkungen auf den Boden. Bodenschutz 3/2014, Erich Schmitt Verlag Berlin, 7 S.
- Gunreben M., Dahlmann I., Frie B., Hensel R., Penn-Bressel G., Dosch F. (2007): Die Erhebung eines bundesweiten Indikators Bodenversiegelung. In: Bodenschutz 2: 34-38.
- Hoymann J., Dosch F., Beckmann G. (2012): Trends der Siedlungsflächenentwicklung - Status quo und Projektion 2030. BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, BBSR-Analysen Kompakt 09/2012, Bonn, 20 S.
- Klimeczek H.-J. (2011): Umweltgerechtigkeit im Land Berlin – Entwicklung und Umsetzung einer neuen ressortübergreifenden Strategie. In: BfS - Bundesamt für Strahlenschutz, BfR - Bundesinstitut für Risikobewertung, RKI - Robert Koch-Institut, UBA - Umweltbundesamt (Hrsg.): II. Themenheft - Umweltgerechtigkeit. UMID - Umwelt und Mensch – Informationsdienst 2/2011: 19-20.
- Knetsch G. (2011): Behördliche Umweltinformationssysteme. In: Handbuch der Umweltwissenschaften – 20. Erg. Lfg. 3/11.
- Kölling C., Knoke T., Schall P., Ammer C. (2009): Überlegungen zum Risiko des Fichtenanbaus in Deutschland vor dem Hintergrund des Klimawandels. DOI 10.237603004112-80-4; forstarchiv 80/2009, S. 42–54.
- Kühling W. (2012): Mehrfachbelastungen durch verschiedenartige Umwelteinwirkungen. In: Bolte G., Bunge C., Hornberg C., Köckler H. & Mielck A. (Hrsg.) (2012): Umweltgerechtigkeit. Chancengleichheit bei Umwelt und Gesundheit: Konzepte, Datenlage und Handlungsperspektiven. Hans Huber, Bern. S. 135-150.
- Lakes T. & Klimeczek H.-J. (2011) Umweltgerechtigkeit im Land Berlin: Eine erste integrierte Analyse der sozialräumlichen Verteilung von Umweltbelastungen und –ressourcen. In: UMID 2/2011: 42-44.
- LBEG- Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (2016): Erosionsgefährdung durch Wind. [http://www.lbeg.niedersachsen.de/boden\\_grundwasser/landwirtschaft/bodenerosion/winderosion/erosionsgefaehrung-durch-wind-606.html](http://www.lbeg.niedersachsen.de/boden_grundwasser/landwirtschaft/bodenerosion/winderosion/erosionsgefaehrung-durch-wind-606.html). Aufgerufen am 02.05.2016.
- LfU – Bayerisches Landesamt für Umwelt (2016): Hochwasserwarnungen. [www.hnd.bayern.de/warnungen](http://www.hnd.bayern.de/warnungen). Aufgerufen am 10.05.2016.
- LfU – Bayerisches Landesamt für Umwelt (2016a): Gefahrenhinweiskarten. [www.lfu.bayern.de/geologie/massenbewegungen/gefahrenhinweiskarten/index.htm](http://www.lfu.bayern.de/geologie/massenbewegungen/gefahrenhinweiskarten/index.htm). Aufgerufen am 10.05.2016.
- Mücke H.-G. (2016 mdl.): Telefonisches Gespräch mit Dr. Hans-Guido Mücke (Umweltbundesamt FG II 1.5 Umweltmedizin und gesundheitliche Bewertung) am 15.01.2016.
- NLWKN – Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (Hrsg.) (2010): Niedersächsisches Modell- und Pilotvorhaben Energiepflanzenanbau, Betrieb von Biogasanlagen und Gärrestmanagement unter den Anforderungen des Gewässerschutzes. In: NLWKN (2010): Grundwasser, Band 10, Norden, 129 S.
- OMG – Object Management Group (2016): Unified Modeling Language™. [www.omg.org/spec/UML/](http://www.omg.org/spec/UML/). Aufgerufen am 18.04.2016.
- Regierungen von Unterfranken, Oberfranken, Mittelfranken und der Oberpfalz (Hrsg.) (2010): Hochwasserrisikomanagement-Plan Einzugsgebiet Bayerischer Main. Blatt 2436-02, Hochwasserrisikokarte HQ 100. [www.hwrmp-main.de/viewer.htm](http://www.hwrmp-main.de/viewer.htm). Aufgerufen am 25.04.2016.
- Rudolf H. (2015): Quo vadis INSPIRE? In: Harzer C. (Hrsg.): GIS-Report 2015/16, Bernhard Harzer Verlag GmbH, Karlsruhe, Seiten 15-20.
- Rudolf H. 2016: Umweltdatenmanagement – Eine Geo-Inspiration. Veröffentlichung für 2017 geplant in Bernhard Harzer Verlag GmbH. Vorab-Version: <http://www.moss.de/deutsch/aktuelles/veroeffentlichungen/veroeffentlichungen.html>. Aufgerufen am 30.06.2015.
- Scherer D., Fehrenbach U., Lakes T., Lauf S., Meier F., Schuster C. (2013): Quantification of heat-stress related mortality hazard, vulnerability and risk in Berlin, Germany. – DIE ERDE 144 (3-4): 238-259.
- Siedentop S., Junesch R., Straßer M., Zakrzewski P., Walter M., Samaniego L., Weinert J. (2009): Einflussfaktoren der Neuinanspruchnahme von Flächen. BMVBS - Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung & BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, Forschungen Heft 139, Bonn, 131 S.



SRU - Sachverständigenrat für Umweltfragen (2012): Umweltgutachten 2012 – Verantwortung in einer begrenzten Welt. Erich Schmidt Verlag, Stuttgart, 422 S.

SRU (2016): Umweltgutachten 2016 – Impulse für eine integrative Umweltpolitik. Hausdruck. [http://www.umwelt-rat.de/SharedDocs/Downloads/DE/01\\_Umweltgutachten/2016\\_Umweltgutachten\\_HD.pdf;jsessionid=4A422E0651B07F01C3BE6D5D1F934153.1\\_cid325?\\_blob=publicationFile](http://www.umwelt-rat.de/SharedDocs/Downloads/DE/01_Umweltgutachten/2016_Umweltgutachten_HD.pdf;jsessionid=4A422E0651B07F01C3BE6D5D1F934153.1_cid325?_blob=publicationFile). Aufgerufen am 20.06.2016

SRU (2016a): Umweltgutachten 2016 – Impulse für eine integrative Umweltpolitik. Kurzfassung. [http://www.umwelt-rat.de/SharedDocs/Downloads/DE/01\\_Umweltgutachten/2016\\_Umweltgutachten\\_KF.html;jsessionid=4A422E0651B07F01C3BE6D5D1F934153.1\\_cid325](http://www.umwelt-rat.de/SharedDocs/Downloads/DE/01_Umweltgutachten/2016_Umweltgutachten_KF.html;jsessionid=4A422E0651B07F01C3BE6D5D1F934153.1_cid325). Aufgerufen am 20.06.2016.

Storm P.-C. & Bunge T. (Hrsg.) (2013): Handbuch der Umweltverträglichkeitsprüfung. Stand XI/13, ESV Berlin, 8192 S.: Band 1, Kap. 3205: 70-71.

UBA - Umweltbundesamt (2014): Grünlandumbruch. Internetinformationen zum Thema Grünland. [www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/landwirtschaft/gruenlandumbruch](http://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/landwirtschaft/gruenlandumbruch). Aufgerufen am 22.10.2014.

UBA (Hrsg.) (2015): Daten zur Umwelt 2015 – Umwelttrends in Deutschland. Dessau-Roßlau, 142 S.

UBA (2016): Aktuelle Luftdaten. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luftbelastung/aktuelle-luftdaten>. Aufgerufen am 10.05.2016.

UBA (2016a): Überschreitung der Belastungsgrenzen für Eutrophierung. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/bodenbelastung-land-oekosysteme/ueberschreitung-der-belastungsgrenzen-fuer-0>. Aufgerufen am 10.05.2016.

UBA (2016b): Daten zur Umwelt – Klimawandel. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klimawandel>. Aufgerufen am 12.05.2016.

WHO – World Health Organization (1999): Guidelines for community noise. [www.who.int/docstore/peh/noise/guidelines2.html](http://www.who.int/docstore/peh/noise/guidelines2.html). Aufgerufen am 04.03.2015.

WHO (2009): Night Noise Guidelines for Europe. WHO Regional Office for Europe, Kopenhagen, 184 S.

WHO Europe (2006): Air Quality Guidelines - Global Update 2005 - Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Copenhagen, 496 S.

WHO Europe (2013a): Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP - First Results. Copenhagen, 33 S.

WHO Europe (2013b): Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project – Technical Report. Copenhagen, 309 S.

## Analysemodell Gesundheit

34. BImSchV: Vierunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Lärmkartierung) vom 6. März 2006 (BGBl. I S. 516).

39. BImSchV: Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen vom 2. August 2010 (BGBl. I S. 1065).

Akkan Z., Voss J.-U., Kalberlah F. (2004): Entwicklung eines Luftqualitätsindex (langfristige Wirkung) für Baden-Württemberg und seine Integration mit anderen Luftqualitätsindizes. Erstellt im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe, 173 S.

Anderson B.G., Bell M.L. (2009): Weather-Related Mortality: How Heat, Cold, and Heat Waves Affect Mortality in the United States. *Epidemiology* 20: 205-213.

Åström D.O., Forsberg B., Ebi K.L., Rocklöv J. (2013): Attributing mortality from extreme temperatures to climate change in Stockholm, Sweden, *Nature Climate Change* 3, 1050–1054, doi:10.1038/nclimate2022.

Babisch W. (2011): Quantifizierung des Einflusses von Lärm auf Lebensqualität und Gesundheit. UMID: Umwelt und Mensch – Informationsdienst, 01/2011, S. 28-36.

- Basu R. & Samet J. M. (2002): Relation between elevated ambient temperature and mortality: a review of the epidemiologic evidence. *Epidemiol Rev* 24(2): 190-202.
- Baumann L. 2005: Die „Hitzetoten“ des Jahres (2003). Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg 4 /2005: 23-27. [www.statistik-bw.de/Veroeffentl/Monatshefte/PDF/Beitrag05\\_04\\_06.pdf](http://www.statistik-bw.de/Veroeffentl/Monatshefte/PDF/Beitrag05_04_06.pdf). Aufgerufen am 23.10.2014.
- Berger M., Finkbeiner M. (2014): Vereinfachte Umweltbewertungen des Umweltbundesamtes (VERUM). UBA Texte 33/2014, Dessau, 155 S.
- BiB – Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung (2014): Informationen zur demographischen Entwicklung. [www.demografie-portal.de](http://www.demografie-portal.de). Aufgerufen am 23.10.2014.
- BImSchG: Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 20. November 2014 (BGBl. I S. 1740) geändert worden ist.
- BMJ – Bundesministerium der Justiz (Hrsg.) (2006): Bekanntmachung der Vorläufigen Berechnungsverfahren für den Umgebungslärm nach § 5 Abs. 1 der Verordnung über die Lärmkartierung (34. BImSchV). Bundesanzeiger Jg. 58, Nr. 154a vom 17.08.2006, Berlin, 218 S.
- Breitner S., Wolf K., Peters A., Schneider A. (2014): Short-term effects of air temperature on cause-specific cardiovascular mortality in Bavaria, Germany. *Heart* doi:10.1136/heartjnl-2014-305578.
- Cercl-Air – Schweizerische Gesellschaft der Lufthygiene-Fachleute (2013): Kurzzeit Luftbelastungs-Index KBI – Gesamtschweizerisches Index-System zur vereinfachten Kommunikation der Kurzzeit-Luftbelastung unter Berücksichtigung der gesundheitlichen Auswirkungen. Empfehlung Nr. 27a vom 6. Mai 2013, 18 S.
- Cercl-Air – Schweizerische Gesellschaft der Lufthygiene-Fachleute (2013b): Langzeit Luftbelastungs-Index LBI – Gesamtschweizerisches Index-System zur vereinfachten Kommunikation der Langzeit-Luftbelastung unter Berücksichtigung der gesundheitlichen Auswirkungen. Empfehlung Nr. 27b vom 30. Mai 2013, 10 S.
- DEFRA – Department for Environment, Food and Rural Affairs (2013): Update on Implementation of the Daily Air Quality Index. London, 14 S.
- DWD – Deutscher Wetterdienst (Hrsg.) (2015): Deutscher Klimaatlas. [www.dwd.de/klimaatlas](http://www.dwd.de/klimaatlas). Aufgerufen am 27.07.2015.
- EEA – European Environment Agency (2009): Ensuring quality of life in Europe's cities and towns 2008. EEA Report No 5/2009, Copenhagen, 108 S.
- EEA (Hrsg.) (2010): Good practice guide on noise exposure and potential health effects. EEA Technical report No 11/2010. Copenhagen, 40 S. [www.eea.europa.eu/publications/good-practice-guide-on-noise](http://www.eea.europa.eu/publications/good-practice-guide-on-noise). Aufgerufen am 27.02.2015.
- Fouillet A., Rey G., Wagner V. (2008): Has the impact of heat waves on mortality changed in France since the European heat wave of summer 2003? A study of the 2006 heat wave. *Int J Epidemiol* 37: 309-317.
- Gergonne, Bernadette, Mazick A., O'Donnell J., Oza A., Cox B., Wuillaume F., Kaufman Z., Virtanen M., Green H., Hardelid P., Andrews N., Pebody R., Holmberg M., Detsis M., Danis C., Uphoff H., Josselin L., Fouillet A., Nunes B., Nogueira P., Junker C., van Assen L., van Klooster T., Simon F., Flores V.M., Tomsic S., Spiteri G., Nielsen J., Mølbak K. (o.J.): A European algorithm for a common monitoring of mortality across Europe. Work Package 7 Report, 42 S.
- Giering K. (2010): Lärmwirkungen – Dosis-Wirkungsrelationen. UBA-Texte 13/2010, Dessau-Roßlau: 120-122.
- Griem P., Kalberlah F., Koppe C., Mayer H. (2000): Ableitung eines tages- und wirkungsbezogenen Luftqualitätsindex. Erstellt im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe, 116 S.
- Griem P., Schuhmacher-Wolz U., Kalberlah F. (2001): Anpassung des abgeleiteten tages- und wirkungsbezogenen Luftqualitätsindex an die Tochterrichtlinien der EU-Rahmenrichtlinie 96/62/EG vom 27.9. 1996. Erstellt im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe, 91 S.
- Hellmeier W, Stausberg J, Hoffmann B. (2007): Untersuchungen in NRW zu Auswirkungen der Hitzewelle 2003 auf die kurzzeitige Mortalität. Materialien "Umwelt und Gesundheit" 67, Iögd NRW, Bielefeld.
- HLUG – Hessisches Landesamt für Umwelt und Gesundheit (o.J.): Feinstaub (PM10) - Eigenschaften - Quellen - gesundheitliche Bewertung – Immissionen. Wiesbaden, 16 S.

- Hoffmann B., Hertel S., Boes T., Weiland D., Jöckel K.-H. (2008): Increased cause-specific mortality associated with 2003 heat wave in Essen, Germany. *J Toxicol Environ Health A*. 7.
- Houthuijs D., van Beek A., Swart W., van Kempen E. (2014): Health implication of road, railway and aircraft noise in the European Union – Provisional results based on the 2nd round of noise mapping. National Institute for Public Health and the Environment (RIVM), RIVM Report 2014-0130, Bilthoven, 59 S.
- IZU – Infozentrum Umweltwirtschaft (2013): Feinstaub - eine Zusammenstellung von Informationen. [www.izu.bayern.de/praxis/detail\\_praxis.php?pid=0206010100187](http://www.izu.bayern.de/praxis/detail_praxis.php?pid=0206010100187). Aufgerufen am 23.10.2014.
- Jendritzky G. (1990): Methodik zur räumlichen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen – Fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell. *Beitr. Akademie f. Raumforschung u. Landesplanung* 114: 7-69.
- Kallweit D. & Wintermeyer D. (2013): Berechnung der gesundheitlichen Belastung der Bevölkerung in Deutschland durch Feinstaub (PM10). In: *UMID 4/2013*, S. 18-24.
- Klimeczek H.-J. (2011): Umweltgerechtigkeit im Land Berlin – Entwicklung und Umsetzung einer neuen ressortübergreifenden Strategie. In: BfS - Bundesamt für Strahlenschutz, BfR - Bundesinstitut für Risikobewertung, RKI - Robert Koch-Institut, UBA - Umweltbundesamt (Hrsg.): II. Themenheft - Umweltgerechtigkeit. *UMID - Umwelt und Mensch – Informationsdienst* 2/2011: 19-20.
- Koppe C. (2005): Gesundheitsrelevante Bewertung von thermischer Belastung unter Berücksichtigung der kurzfristigen Anpassung der Bevölkerung an die lokalen Witterungsverhältnisse. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes* 226. Offenbach am Main.
- Koppe C. (2009): Das Hitzewarnsystem des Deutschen Wetterdienstes. In: BfS, BfR, RKI, UBA 2009: Klimawandel und Gesundheit. *UMID – UmweltMedizinischer InformationsDienst*, Nr. 3/2009: 39-43.
- Kovats R.S., Hajat S., Wilkinson P. (2004): Contrasting patterns of mortality and hospital admissions during hot weather and heat waves in Greater London, UK. *Occup Environ Med*. 2004 Nov;61(11):893-8.
- Kovats S., Wolf T., Menne B. (2004): Heatwave of August 2003 in Europe: provisional estimates of the impact on mortality. *Euro Surveill* 8. 1(11-12):759-65.
- Kühling W. (2012): Mehrfachbelastungen durch verschiedenartige Umwelteinwirkungen. In: Bolte G., Bunge C., Hornberg C., Köckler H. & Mielck A. (Hrsg.) (2012): Umweltgerechtigkeit. Chancengleichheit bei Umwelt und Gesundheit: Konzepte, Datenlage und Handlungsperspektiven. Hans Huber, Bern. S. 135-150.
- LANUV – Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (2014): Aktuelle Luftqualität - Ozon (O3) 1-Stundenwerte. [www.lanuv.nrw.de/luft/immissionen/aktluftqual/eu\\_o3\\_akt.htm](http://www.lanuv.nrw.de/luft/immissionen/aktluftqual/eu_o3_akt.htm). Aufgerufen am 23.10.2014.
- Larsen J. (2006): Plan B Updates – Setting the Record Straight: More than 52,000 Europeans Died from Heat in Summer 2003. Earth Policy Institute. [www.earth-policy.org/index.php?/plan\\_b\\_updates/2006/update56](http://www.earth-policy.org/index.php?/plan_b_updates/2006/update56). Aufgerufen am 03.05.2016.
- Laschewski G. & Jendritzky G. (2002): Effects of thermal environment on human health: an investigation of 30 years of daily mortality data from SW Germany. *Clim Res*; 21: 91-103.
- Mastrangelo G., Hajat S., Fadda E., Buja A., Fedeli U., Spolaore P. (2006): Contrasting patterns of hospital admissions and mortality during heat waves: are deaths from circulatory disease a real excess or an artifact? *Med Hypotheses*. 66(5):1025-8. Epub 2006 Jan 18.
- Mazick A., Gergonne B., Wuillaume F., Danis K., Vantarakis A., Uphoff H., Spiteri G., van 't Klooster T., Junker C., Holmberg M., Mølbak K. (2010): Higher all-cause mortality in children during autumn 2009 compared with the three previous years: pooled results from eight European countries. *Eurosurveillance*, Volume 15, Issue 5, 04 February 2010 Rapid communications.
- MEDDTL - Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement (2011): Arrêté du 21 décembre 2011 modifiant l'arrêté du 22 juillet 2004 relatif aux indices de la qualité de l'air.
- Miedema H. M. E. (2004): Relationship between exposure to multiple noise sources and noise annoyance. *The Journal of the Acoustical Society of America* 116 (2): 949-57.
- Münzel T., Gori T., Babisch W., Basner M. (2014): Cardiovascular effects of environmental noise exposure. *European Heart Journal* (2014) 35, 829–836.

- Raaschou-Nielsen O., Andersen Z., Beelen R., Samoli E., Stafoggia M., Weinmayr G., Hoffmann B., Fischer P., Nieuwenhuijsen M., Brunekreef B., Xun W., Katsouyanni K., Dimakopoulou K., Sommar J., Forsberg B., Modig L., Oudin A., Oftedal B., Schwarze P., Nafstad P., De Faire U., Pedersen N., Östenson C.-G., Fratiglioni L., Penell J., Korek M., Pershagen G., Eriksen K., Sørensen M., Tjønneland A., Ellermann T., Eeftens M., Peeters P., Meliefste K., Wang M., Bueno-de-Mesquita B., Key T., de Hoogh K., Concin H., Nagel G., Vilier A., Grioni S., Krogh V., Tsai M.-Y., Ricceri F., Sacerdote C., Galassi C., Migliore E., Ranzi A., Cesaroni G., Badaloni C., Forastiere F., Tamayo I., Amiano P., Dorronsoro M., Trichopoulou A., Bamia C., Vineis P., Hoek G. (2013): Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE). The Lancet Oncology Volume 14, No. 9, S. 813–822. [http://dx.doi.org/10.1016/S1470-2045\(13\)70279-1](http://dx.doi.org/10.1016/S1470-2045(13)70279-1). Aufgerufen am 03.05.2016.
- RKI – Robert-Koch-Institut (Hrsg.) (2004a): Zu einer Häufung ungeklärter Todesfälle bei Senioren in Deutschland im August 2003. Epibull;24:192.
- RKI (2004b): Bericht zu einer Stellungnahme der Kommission „Hitzetote“ der AWMF. Epibull;24:189-191.
- RKI (2004b): Hitzewellen und extreme Klimaereignisse - Eine Herausforderung für das Gesundheitswesen. Epibull;25:200-201.
- Robinson P.J. (2001): On the definition of a heat wave. Journal of Applied Meteorology 2001, 40, 762–775.
- Scherer D., Fehrenbach U., Lakes T., Lauf S., Meier F., Schuster C. (2013): Quantification of heat-stress related mortality hazard, vulnerability and risk in Berlin, Germany. – DIE ERDE 144 (3-4): 238-259.
- Schoetter R., Grawe D., Hoffmann P., Kirschner P., Grätz A., Schlünzen K.H. (2013): Impact of local adaptation measures and regional climate change on perceived temperature. Meteorologische Zeitschrift, 22, 2, 117-130.
- Semenza J.C., McCullough J.E., Flanders W.D., McGeehin M.A., Lumpkin J.R. (1999): Excess hospital admissions during the July 1995 heat wave in Chicago. Am J Prev Med. 1999 May;16(4):269-77.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt (Hrsg.) (2013): Umweltatlas Berlin – 07.05 Strategische Lärmkarten (Ausgabe 2013). [www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/ia705.htm](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/ia705.htm). Aufgerufen am 25.02.2015.
- SRU – Sachverständigenrat für Umweltfragen (1999): Umwelt und Gesundheit – Risiken richtig einschätzen. Sondergutachten des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen. Drucksache 14/2300 des Deutschen Bundestags, 15. Dezember 1999.
- Staiger H., Laschewski G., Grätz A. (2011): The perceived temperature – a versatile index for the assessment of the human thermal environment. Part A: scientific basics. International Journal of Biometeorology. doi: 10.1007/s00484-011-0409-6.
- UBA – Umweltbundesamt (2006): Richtlinie über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm - Auslösekriterien für die Lärmaktionsplanung.
- UBA (2014a): Informationen zu den Herausforderungen im Konfliktfeld „Lärm und Stadt“. [www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/forum-laerm-stadt](http://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/forum-laerm-stadt). Aufgerufen am 23.10.2014.
- UBA (2014b): Informationen zur Wirkung von Luftschadstoffen auf die Gesundheit. [www.umweltbundesamt.de/themen/luft/wirkungen-von-luftschadstoffen/wirkungen-auf-die-gesundheit](http://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/wirkungen-von-luftschadstoffen/wirkungen-auf-die-gesundheit). Aufgerufen am 23.10.2014.
- UBA (2014c): Informationen zu den Wirkungen von Lärm. [www.umweltbundesamt.de/daten/umwelt-gesundheit/laermwirkungen](http://www.umweltbundesamt.de/daten/umwelt-gesundheit/laermwirkungen). Aufgerufen am 23.10.2014.
- UBA (2014d): Informationen zu den Wirkungen von Stickstoffoxiden. [www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe/stickstoffoxide](http://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe/stickstoffoxide). Aufgerufen am 23.10.2014.
- UBA (2014e): Informationen zu den Wirkungen von Feinstaub. [www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe/feinstaub](http://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe/feinstaub). Aufgerufen am 23.10.2014.
- UBA (2014f): Daten zur Feinstaub-Belastung. [www.umweltbundesamt.de/daten/luftbelastung/feinstaub-belastung](http://www.umweltbundesamt.de/daten/luftbelastung/feinstaub-belastung). Aufgerufen am 23.10.2014.
- UBA (2014g): Informationen zu den Wirkungen von Ozon. [www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe/ozon](http://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe/ozon). Aufgerufen am 23.10.2014.
- UBA (2015a): Lärmkarten. [www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/umgebungslaermrichtlinie/laermkarten](http://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/umgebungslaermrichtlinie/laermkarten). Aufgerufen am 30.01.2015.

UBA (2015b): UBA fragen - Reagieren alle Menschen empfindlich auf Ozon? Gibt es Risikogruppen? [www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/reagieren-alle-menschen-empfindlich-auf-ozon-gibt](http://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/reagieren-alle-menschen-empfindlich-auf-ozon-gibt). Aufgerufen am 04.05.2016.

Uphoff H., Hauri A.M. (2011): Klima, Krankheit und die Erfassung der Zusammenhänge: Gesundheit und Hitze. In: Hessisches Sozialministerium (2011): Gesundheitsbericht Hessen – GesundLeben - GesundBleiben; Wiesbaden: S. 131ff.

van den Elshout S., Bartelds H., Heich H., Léger K. (2012): Citeair II – Common Information to European Air – CAQI Air quality index – Comparing Urban Air Quality across Borders – 2012. Projektbericht aus dem Interreg IVC Projekt Citeair, Schiedam, 38 S.

VDI – Verein deutscher Ingenieure (2013): Wirkung von Verkehrsräuschen – Kenngrößen beim Einwirken mehrerer Quellenarten. VDI 3722 Blatt 2.

Welsch J., Bömermann H., Nagel H. (2011): Datengrundlagen des Berliner Modellvorhabens: Der Umweltatlas Berlin und das Monitoring Soziale Stadtentwicklung Berlin. In: BfS, BfR, RKI, UBA (Hrsg.): II. Themenheft - Umweltgerechtigkeit. UMID - Umwelt und Mensch – Informationsdienst 2/2011: 21-25.

WHO – World Health Organization (1999): Guidelines for community noise. [www.who.int/docstore/peh/noise/guidelines2.html](http://www.who.int/docstore/peh/noise/guidelines2.html). Aufgerufen am 04.03.2015.

WHO (2009): Night Noise Guidelines for Europe. WHO Regional Office for Europe, Kopenhagen, 184 S.

WHO Europe (2006): Air Quality Guidelines - Global Update 2005 - Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Copenhagen, 496 S.

WHO Europe (2013a): Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP - First Results. Copenhagen, 33 S.

WHO Europe (2013b): Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project – Technical Report. Copenhagen, 309 S.

WHO Regional Office for Europe – World Health Organization (2008): Improving Public Health Responses to Extreme Weather/Heat-Waves – EuroHEAT. Meeting Report, Bonn, Germany, 22-23 March, 2007. 86 p.

[www.euro.who.int/\\_data/assets/pdf\\_file/0018/112473/E91350.pdf](http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0018/112473/E91350.pdf). Aufgerufen am 03.05.2015.

Zacharias S., Koppe C., Mücke H.-G. (2014): Influence of Heat Waves on Ischemic Heart Diseases in Germany. Climate 2014, 2, 133-152; doi: 10.3390/cli2030133.

## Analysemodell Grünlandumbruch

BfN - Bundesamt für Naturschutz (2014): Grünland-Report – Alles im Grünen Bereich? Bonn, 34 S. [www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/presse/2014/PK\\_Gruenlandpapier\\_30.06.2014\\_final\\_layout\\_barrierefrei.pdf](http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/presse/2014/PK_Gruenlandpapier_30.06.2014_final_layout_barrierefrei.pdf). Aufgerufen am 22.10.2014.

Binot-Hafke M., Balzer S., Becker N., Gruttke H., Haupt H., Hofbauer N., Ludwig G., Matzke-Hajek G. & Strauch M. (Red.) (2011): Rote Liste gefährdeter Tiere, Pflanzen und Pilze Deutschlands. Band 3: Wirbellose Tiere (Teil 1). BfN - Bundesamt für Naturschutz, Naturschutz und Biologische Vielfalt 70 / 3, Bonn-Bad Godesberg, 716 S.

Deutscher Bundestag (2011): Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Friedrich Ostendorff, Bärbel Höhn, Cornelia Behm, weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN. Entwicklung der Weidehaltung in Deutschland. Drucksache 17/7003. 8 S.

<http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/17/070/1707003.pdf>. Aufgerufen am 23.05.2016.

Distelkamp M., Großmann A., Hohmann F., Lutz C., Ulrich P., Wolter M. (2009): Panta Rhei Regio – Ein Modellsystem zur Projektion der künftigen Flächeninanspruchnahme in Deutschland und zur Folgenabschätzung fiskalischer Maßnahmen. GWS – Gesellschaft für wirtschaftliche Strukturforshung mbH, gws Discussion Paper 2009 / 7, Osnabrück, 106 S.

Distelkamp M., Ulrich P., Siedentop S., Mohr K. (2011): 30-ha-Ziel realisiert - Konsequenzen des Szenarios Flächenverbrauchsreduktion auf 30 ha im Jahr 2020 für die Siedlungsentwicklung. In: BMVBS - Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.), Forschungen 148, Bonn, 84 S.

FNR – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. 2016: Energiepflanzen. <http://energiepflanzen.fnr.de/energiepflanzen>. Aufgerufen am 22.05.2016.

Gerowitt B., Schröder S., Dempfle L., Engels E.M., Engels J., Feindt P.H., Graner A., Hamm U., Heißenhuber A., Schulte-Coerne H., Wolters V. (2013): Biodiversität im Grünland – unverzichtbar für Landwirtschaft und Gesellschaft. Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirats für Biodiversität und Genetische Ressourcen beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. Wissenschaftlicher Beirat für Biodiversität und Genetische Ressourcen beim BMELV. Bonn, 20 S.

Goetzke R., Hoymann J. (2014): Flächeninanspruchnahme in Deutschland bis 2030 – Auswirkungen auf den Boden. Bodenschutz 3/2014, Erich Schmitt Verlag Berlin, 7 S.

Heißenhuber A., Haber W., Krämer C. (2015): Umweltprobleme der Landwirtschaft – eine Bilanz. 30 Jahre SRU-Sondergutachten. Umweltbundesamt, Texte 28/2015, Dessau, 368 S.

Hoymann J. (2013): Neuere Flächennutzungsdaten - Übersicht, Vergleich und Nutzungsmöglichkeiten. BBSR-Analysen KOMPAKT 02/2013, Bonn, 16 S.

Keil M., Esch T., Divanis A., Marconcini M., Metz A., Ottinger M., Voinov S., Wiesner M., Wurm M., Zeidler J. (2015): Aktualisierung der Landnutzungs- und Landbedeckungsdaten CLC für das Jahr 2012 - „Backdating“ des DLM-DE vom Referenzjahr 2009 zurück auf das Jahr 2006. UBA Texte 36 / 2015, Dessau, 84 S.

Scheffelowitz M., Daniel-Gromke J., Denysenko V., Hillebrand K., Krautz A., Lenz V., Liebetrau J., Naumann K., Ortwein A., Rensberg N., Stinner W., Trommler M., Barchmann T., Witt J., Zeymer M., Schaubach K., Büchner D., Thrän D., Peters W., Schicketanz S., Schultze C., Deumelandt P., Reinicke F., Gröber H., Beil M., Beyrich W. (2014): Stromerzeugung aus Biomasse – Vorhaben Ila Biomasse. Wissenschaftlicher Bericht zur Vorbereitung und Begleitung der Erstellung des Erfahrungsberichts 2014 gemäß § 65 EEG im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Unveröffentlicht, 194 S.

Schramek J., Osterburg B., Kasperczyk N., Nitsch H., Wolff A., Weis M., Hüllemeyer K. (2012): Vorschläge zur Ausgestaltung von Instrumenten für einen effektiven Schutz von Dauergrünland. Bonn, 122 S. [https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/service/Skript\\_323.pdf](https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/service/Skript_323.pdf). Aufgerufen am 01.06.2016.

StBA – Statistisches Bundesamt (2015): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Viehbestand. 3. November 2015. Fachserie 3 Reihe 4.1. Wiesbaden, 62 S.

UBA - Umweltbundesamt (2014): Grünlandumbruch. Internetinformationen zum Thema Grünland. [www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/landwirtschaft/gruenlandumbruch](http://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/landwirtschaft/gruenlandumbruch). Aufgerufen am 22.10.2014.

### **Analysemodell Verlust fruchtbaren landwirtschaftlichen Bodens durch Flächeninanspruchnahme**

AdV – Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland – Arbeitskreis Liegenschaftskataster (2015): ALKIS®- Grunddatenbestand und länderspezifische Inhalte. [www.adv-online.de/AdV-Produkte/Liegenschaftskataster/Download/](http://www.adv-online.de/AdV-Produkte/Liegenschaftskataster/Download/). Aufgerufen am 26.06.2015.

BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2012): Ackerbauliches Ertragspotential nach dem Müncheberger Soil Quality Rating (SQR). Neue Methoden und Aktualisierungen der Methodendokumentation Bodenkunde, zu Kapitel 6 "Ackerbauliches Ertragspotential". [www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Netzwerke/Adhocag/methoden.html](http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Netzwerke/Adhocag/methoden.html). Aufgerufen am 24.06.2015.

BGR (2014): Ackerbauliches Ertragspotential der Böden in Deutschland – Erläuterungen zur Karte. [www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Produkte/Schriften/Downloads/SoilQualityRating\\_Handzettel\\_de.html](http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Produkte/Schriften/Downloads/SoilQualityRating_Handzettel_de.html). Aufgerufen am 24.06.2015.

BKG – Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2012): Digitales Landbedeckungsmodell für Deutschland DLM-DE2009. Dokumentation mit Stand 30.03.2012, 16 S.

BLR – Bundesanstalt für Landeskunde und Raumforschung (1958): Übersicht über die Bodengüte der landwirtschaftlich genutzten Flächen in der Bundesrepublik Deutschland. Bodengütekarte 1:1.000.000. [eusoils.jrc.ec.europa.eu/library/maps/country\\_maps/metadata.cfm?mycountry=DE](http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/library/maps/country_maps/metadata.cfm?mycountry=DE). Aufgerufen am 29.06.2015.

BMF – Bundesfinanzministerium (2014): Bodenschätzungsgesetz. [www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Steuern/Weitere\\_Steuerthemen/2014-07-21-bodenschaetzung.html](http://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Steuern/Weitere_Steuerthemen/2014-07-21-bodenschaetzung.html). Aufgerufen am 24.06.2015.



- DDR – Deutsche Demokratische Republik (1952): Bodengütekarte der Deutschen Demokratischen Republik. [eussoils.jrc.ec.europa.eu/library/maps/country\\_maps/metadata.cfm?mycountry=DE](http://eussoils.jrc.ec.europa.eu/library/maps/country_maps/metadata.cfm?mycountry=DE). Aufgerufen am 29.06.2015.
- Distelkamp M., Großmann A., Hohmann F., Lutz C., Ulrich P., Wolter M. (2009): Panta Rhei Regio – Ein Modellsystem zur Projektion der künftigen Flächeninanspruchnahme in Deutschland und zur Folgenabschätzung fiskalischer Maßnahmen. GWS – Gesellschaft für wirtschaftliche Strukturforshung mbH, gws Discussion Paper 2009 / 7, Osnabrück, 106 S.
- Distelkamp M., Ulrich P., Siedentop S., Mohr K. (2011): 30-ha-Ziel realisiert - Konsequenzen des Szenarios Flächenverbrauchsreduktion auf 30 ha im Jahr 2020 für die Siedlungsentwicklung. In: BMVBS - Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.), Forschungen 148, Bonn, 84 S.
- Goetzke R., Hoymann J. (2014): Flächeninanspruchnahme in Deutschland bis 2030 – Auswirkungen auf den Boden. Bodenschutz 3/2014, Erich Schmitt Verlag Berlin, 7 S.
- Goetzke R., Schlump C., Hoymann J., Beckmann G., Dosch F. (2014): Flächenverbrauch, Flächenpotenziale und Trends 2030 – Beiträge zum Siedlungsflächenmonitoring im Bundesgebiet. BBSR - Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, BBSR-Analysen Kompakt 07/2014, Bonn, 20 S.
- Gunreben M., Dahlmann I., Frie B., Hensel R., Penn-Bressel G., Dosch F. (2007): Die Erhebung eines bundesweiten Indikators Bodenversiegelung. In: Bodenschutz 2: 34-38.
- Helbig H., Weniger T. (2014): Bodenfunktionen und Bodennutzung in Sachsen-Anhalt. Vortrag auf der Jahrestagung 2014 des Bundesverbands Boden am 17./18.09.2014 in Halle / Saale zum Thema Schutzgut Boden im Naturschutz. Präsentation, 22 S.
- Hoymann J. (2013): Neuere Flächennutzungsdaten - Übersicht, Vergleich und Nutzungsmöglichkeiten. BBSR-Analysen KOMPAKT 02/2013, Bonn, 16 S.
- Hoymann J., Dosch F., Beckmann G. (2012): Trends der Siedlungsflächenentwicklung - Status quo und Projektion 2030. BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, BBSR-Analysen Kompakt 09/2012, Bonn, 20 S.
- KBU – Kommission Bodenschutz des Umweltbundesamtes (Hrsg.) (2009): Flächenverbrauch einschränken – jetzt handeln – Empfehlungen der Kommission Bodenschutz beim Umweltbundesamt. Umweltbundesamt, Dessau, 18 S.
- Keil M., Esch T., Divanis A., Marconcini M., Metz A., Ottinger M., Voinov S., Wiesner M., Wurm M., Zeidler J. (2015): Aktualisierung der Landnutzungs- und Landbedeckungsdaten CLC für das Jahr 2012 - „Backdating“ des DLM-DE vom Referenzjahr 2009 zurück auf das Jahr 2006. UBA Texte 36 / 2015, Dessau, 84 S.
- Liedtke H., Marschner B. (2002): Bodengüte der landwirtschaftlichen Nutzflächen. Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland. Band 2 Relief, Boden und Wasser. Leibniz-Institut für Länderkunde, Leipzig.
- Siedentop S., Junesch R., Straßer M., Zakrzewski P., Walter M., Samaniego L., Weinert J. (2009): Einflussfaktoren der Neuinanspruchnahme von Flächen. BMVBS - Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung & BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, Forschungen Heft 139, Bonn, 131 S.
- StBA – Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (2014): Nachhaltige Entwicklung in Deutschland – Indikatorenbericht 2014. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, 81 S.
- Wendland F., Albert H., Bach M., Schmidt R. (Hrsg.) (1993): Atlas zum Nitratstrom in der Bundesrepublik Deutschland. Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York.