

TEXTE

34/2023

Wege zum abflussfreien Stadtquartier – Potentiale, Wirkungen und Rechtsrahmen des ortsnahen Schmutz- und Regenwassermanagements

TEXTE 34/2023

Ressortforschungsplan des Bundesministerium für Umwelt,
Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz

Forschungskennzahl 3716 15 333 0

FB000562

Wege zum abflussfreien Stadtquartier - Potentiale, Wirkungen und Rechtsrahmen des ortsnahen Schmutz- und Regenwasser- managements

Abschlussbericht

von

Prof. Dr. Roland A. Müller (Projektleitung)

Helmholtz Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ (Department Umwelt- und
Biotechnologisches Zentrum)

Dr. Manfred van Afferden, Dr. Ganbaatar Khurelbaatar, Dr. Maximilian Ueberham
(Kapitel 1 und 3) / Helmholtz Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ
(Department Umwelt- und Biotechnologisches Zentrum)

Dr. Moritz Reese, Henrik Fischer (Kapitel 6) / Helmholtz Zentrum für
Umweltforschung GmbH – UFZ (Department Umwelt- und Planungsrecht)

Dr. Stefan Geyler, Erik Hofmann, Tobias Wüstneck, Tom Ziegenbein (Kapitel 5) /
Universität Leipzig (Institut für Infrastruktur und Ressourcenmanagement)

Dipl.-Ing. (FH) Tilo Sahlbach (Kapitel 5) / Hochschule für Technik, Wirtschaft und
Kultur Leipzig (IWS - Institut für Wasserbau und Siedlungswasserwirtschaft)

Dr. Uwe Winkler, Jörg Berbig (Kapitel 2, Kapitel 5) / Kommunale Wasserwerke
Leipzig GmbH

Dr. Marius Mohr (Kapitel 4) / Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und
Bioverfahrenstechnik IGB


Michael Stefan (Kapitel 3.4) / DHI WASY GmbH


Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

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

 [/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

 [/umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

Durchführung der Studie:

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ
Permoserstraße 15
04318 Leipzig

Abschlussdatum:

Oktober 2020

Redaktion:

Fachgebiet III 2.6 Abwassertechnikforschung, Abwasserentsorgung
Dr.-Ing. Nathan Obermaier

Publikationen als pdf:

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

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Februar 2023

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung

Kern des Forschungsprojektes war die Ermittlung von Potenzialen, Wirkungen und rechtlichen Rahmenbedingungen für eine Transformation hin zu einem ortsnahe Schmutz- und Regenwassermanagements mit dem Leitbild eines abflussfreien Stadtquartiers. Im Fokus standen dabei vor allem ein modellhafter Ansatz zur Ermittlung von Technikooptionen und Potenzialen einer dezentralen Niederschlagsbewirtschaftung und Abkopplung auf Block- bzw. Quartiersebene, deren Bewertung in Bezug auf multidimensionale Wirkungen und Kosten, die Potenziale einer dezentralen Schmutzwasserbewirtschaftung sowie eine umfassende rechtliche Analyse von Hemmnissen in der Umsetzung und entsprechenden Änderungsbedarfen. Die am Beispiel eines Leipziger Quartiers dargestellten Ergebnisse sind methodisch so nachzuvollziehen, dass eine Übertragbarkeit auf andere Kommunen gewährleistet wird. Der Bericht richtet sich vornehmlich an die Beteiligten in abwasserwirtschaftlichen und städtebaulichen Planungsabläufen. Darüber hinaus soll der Bericht weitere Forschung im Bereich urbaner Transformationsprozesse anstoßen.

Abstract

The core of the research project was the determination of potentials, effects and legal framework conditions for a transformation towards a local wastewater and stormwater management with the model of a runoff-free urban neighbourhood. The main focus was on a model approach to determine technology options and potentials of decentralized precipitation management and decoupling at the block or neighbourhood level, their evaluation in terms of multidimensional effects and costs, the potentials of decentralized wastewater management, and a comprehensive legal analysis of obstacles to the implementation and related needs for change. The results, which are presented using the example of a Leipzig neighbourhood, are methodologically comprehensible in such a way that transferability to other municipalities is ensured. The report is primarily aimed at those involved in wastewater management and urban planning processes. In addition, the report is intended to stimulate further research in the field of urban water transformation processes.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	10
Tabellenverzeichnis	12
Abkürzungsverzeichnis	14
Zusammenfassung.....	16
Summary	22
1 Einleitung	23
1.1 Ziel und Gang der Untersuchung	23
1.2 Problemhintergrund	25
1.3 Stand der Forschung und Entwicklung.....	26
2 Auswirkungen der Klimaänderungen auf den Betrieb der öffentlichen Kanalisation.....	29
2.1 Anforderungen an die zentrale Abwasserbewirtschaftung im städtischen Raum – am Beispiel der Stadt Leipzig	29
2.2 Auswirkungen Klimaänderungen auf die Mischwasserkanalisation.....	30
3 Modellhafte Auswahl integrativer Regenwasser-Managementkonzepte.....	36
3.1 Modellansatz zur Potentialanalyse	36
3.2 Szenariendefinition	37
3.3 Festlegung und erste Bewertung der spezifischen Eingangsdaten für die Modellierung	41
3.3.1 Grundprinzip der Analyse	41
3.3.2 Luftaufnahmen und Versiegelungsgrad.....	42
3.3.3 Häuserblocks.....	42
3.3.4 Niederschlag	43
3.3.5 Boden.....	43
3.3.6 Daten Bearbeitung.....	43
3.3.7 Dimensionierung der Regenwasserbewirtschaftungsanlagen	44
3.4 Potentialanalyse mit Hilfe von Simulationsmodellen	45
3.4.1 Anwendungsbeispiel.....	45
3.4.2 Details zum verwendeten Simulationsmodell MIKE URBAN+	48
3.4.2.1 Hydrologisches vs. hydrodynamisches Modell.....	48
3.4.2.2 Hydrologisches Modell B (Kinematische Welle)	49
3.4.2.3 LID-Elemente in MIKE URBAN+.....	50
3.4.3 Alternative Simulationsmodelle.....	51
3.5 Modellierungsergebnisse Niederschlagsabfluss	52
3.6 Up-scaling und Übertragung von MUST-B	54

3.7	Kostenansatz.....	56
3.8	Zwischenfazit Modellansatz.....	61
4	Auswahl integrativer Schmutzwasser-Managementkonzepte für Stadtteile.....	63
4.1	Modellansatz.....	64
4.2	Festlegung und erste Bewertung der spezifischen Eingangsdaten für die Simulation.....	65
4.3	Beschreibung der gewählten Szenarien.....	70
4.4	Simulationsergebnisse	72
4.5	Diskussion der Ergebnisse.....	75
4.6	Zwischenfazit Schmutzwasser-Managementkonzepte.....	76
5	Wirkungen der ortsnahen Regenwasserbewirtschaftung im Quartier	77
5.1	Einleitung - multidimensionale Wirkungen ortsnaher Regenwasserbewirtschaftung im städtischen Kontext	77
5.2	Wirkungen der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung im Quartier	81
5.2.1	Siedlungswasserwirtschaftliche Wirkungen – Überflutungsschutz und Gewässerschutz	81
5.2.2	Weitere Wirkungen.....	87
5.2.2.1	Verbesserung Stadtklima.....	87
5.2.2.2	Verdunstungswirkung – naturnaher Wasserhaushalt	88
5.2.2.3	Wirkungen Freiraumqualität / Biodiversität.....	89
5.2.2.4	Zwischenfazit	90
5.3	Kosten- und Flächeninanspruchnahme	92
5.3.1	Betriebliche Kosten der Errichtung und des Betriebes dezentraler RW-Anlagen	92
5.3.1.1	Literaturüberblick zu Kostendaten	92
5.3.1.2	Szenarienbezogene Gesamtkosten.....	96
5.3.1.3	Potenzial zur betrieblichen Wirtschaftlichkeit	98
5.3.1.4	Zwischenfazit	102
5.3.2	Flächenverfügbarkeit innerhalb unterschiedlicher Bebauungsstrukturen.....	103
5.3.3	Nutzungsmuster von konfliktbehafteten Hofnutzungen.....	111
5.4	Zwischenfazit Regenwasserbewirtschaftung.....	117
6	Rechtlicher Rahmen und Handlungsbedarf zur Transformation der Abwasserinfrastrukturen	118
6.1	Zusammenfassung in Thesen	118
6.2	Einführung: Bedeutung des rechtlichen Rahmens.....	124
6.3	Niederschlagswasser.....	125
6.3.1	Die maßgeblichen Rechtsgrundlagen und technischen Normen im Überblick	125

6.3.2	Wichtige Begriffsbestimmungen und -abgrenzungen	128
6.3.2.1	Niederschlagswasser als Gegenstand des Abwasserrechts.....	128
6.3.2.2	Wild abfließendes Wasser	129
6.3.3	Die kommunale Zuständigkeit zur Abwasserbeseitigung und Möglichkeiten der Übertragung auf private Grundeigentümer im Rahmen eines dezentralen Abwassermanagements.....	129
6.3.4	Vorrang der dezentralen Bewirtschaftung und getrennten Ableitung (§ 55 Abs. 2 WHG).....	132
6.3.5	Erhalt eines leistungsfähigen Wasserhaushalts und schadloser Abflussverhältnisse (§§ 5 Abs. 1 Nr. 3, 6 Abs. 1 Nr. 2 WHG).....	133
6.3.6	Anforderungen an den Überflutungsschutz und Entwässerungskomfort.....	135
6.3.6.1	Grundstücksentwässerung	135
6.3.6.2	Öffentliche Abwasserinfrastruktur	137
6.3.6.3	Insbesondere: Das DWA Merkblatt M 119 zum Risikomanagement in der kommunalen Überflutungsvorsorge für Entwässerungssysteme bei Starkregen	140
6.3.7	Anforderungen an die Sicherheit der Entwässerungsanlagen	141
6.3.8	Anforderungen zum Schutz der Oberflächengewässer	143
6.3.8.1	Mengen- und Schadstoffreduktion nach Stand der Technik, insb. zur Mischwasserentlastung	144
6.3.9	Das Arbeitsblatt DWA-A 102 bzw. BWK-A/M3 (Entwurf, Stand Juni 2019)	148
6.3.9.1	Die emissionsbezogenen Anforderungen.....	149
6.3.9.2	Die immissionsbezogenen Anforderungen.....	150
6.3.10	Anforderungen des Grundwasserschutzes	151
6.3.11	Anforderungen des Bodenschutzes	159
6.3.12	Verpflichtungen und Anordnungsmöglichkeiten zur Niederschlagsgeigenbewirtschaftung.....	160
6.3.12.1	Wasserrechtliche Möglichkeiten zur Anordnung und Durchsetzung einer dezentralen Eigenentsorgung.....	160
6.3.12.2	Bauplanungsrechtliche Möglichkeiten zur Festsetzung/Anordnung und Durchsetzung einer dezentralen Eigenentsorgung	162
6.3.12.3	Bauplanungsrechtliche Festsetzungen in Bestandslagen	164
6.3.12.4	Bauordnungsrecht – örtliche Bauvorschriften	165
6.3.13	Pflichten und Vorgaben zur integrierten Planung auch dezentraler Abwasserinfrastrukturen	166
6.3.14	Grundlagen und Kernfragen der Finanzierung dezentraler Strukturen zur Niederschlagsbeseitigung	167
6.3.14.1	Grundlagen	167

6.3.14.2	Gebührenmaßstab: von der versiegelten Fläche zum Eigenbeseitigungsnachweis...	168
6.3.14.3	Berücksichtigung Anlastung residueller Kanalinfrastrukturen	169
6.3.14.4	Kosten privater Anlagen zur Niederschlagseigenbewirtschaftung.....	169
6.3.14.5	Förderung der dezentralen Niederschlagsbewirtschaftung aus dem Gebührenhaushalt	170
6.3.14.6	Kostenrechnung bei multifunktionalen „blau-grünen“ Anlagen im öffentlichen Raum	170
6.4	Schmutzwasser	171
6.4.1	Generelle Zulässigkeit einer dezentralen Schmutzwasserbeseitigung.....	172
6.4.2	Zulässigkeit der Schmutzwasser-Eigenbewirtschaftung durch private Grundeigentümer	174
6.4.3	Abwasserrechtliche Anforderungen an die Reinigungsleistung einer „Quartiers- Kläranlage“ im Falle der Einleitung in einen Vorfluter	175
6.4.4	Anforderungen an die Verwendung behandelten Abwassers zu Bewässerungszwecken	176
6.4.5	Verpflichtungsmöglichkeiten zur getrennten Grauwassererfassung und - behandlung	180
6.4.6	Zulässigkeit und Verpflichtungsmöglichkeiten zur Mitentsorgung von Bioabfällen	182
6.4.7	Planung dezentraler Schmutzwasserbeseitigungslösungen	183
7	Handlungsempfehlungen & Forschungsbedarfe	184
8	Quellenverzeichnis.....	187
A	Anhang zu Kapitel 5	195

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Das Untersuchungsgebiet im Leipziger Norden	24
Abbildung 2:	Strukturtypen im Untersuchungsgebiet	25
Abbildung 3:	Der "MUST-B"-Ansatz	36
Abbildung 4:	Häuserblocks und Versiegelungsklassen im untersuchten Stadtteil „Leipzig-Nord“ (Versiegelungsklassen in % der unversiegelten Fläche von der Gesamtfläche)	37
Abbildung 5:	Zur Modellierung eingesetzte Technologievarianten und Kenngrößen nach DWA-A 138 und für das Gründach nach Zehnsdorf und Trabitzsch (2019).....	40
Abbildung 6:	Grundprinzip der Potentialanalyse durch den „MUST-B“ Ansatz	42
Abbildung 7:	Zusammenfassung der Daten Bearbeitungsschritte zur Quantifizierung der Teilflächen	43
Abbildung 8:	Ermittlung der für den Bau einer Versickerungsanlage geeigneten unversiegelten „Netto-Fläche“	44
Abbildung 9:	Die vier Bearbeitungsschritte für den Einsatz der Simulationssoftware	46
Abbildung 10:	Notwendiger Flächenbedarf für das Szenario 1 (Flächenversickerung)	47
Abbildung 11:	Notwendiger Flächenbedarf für das Szenario 2 (Muldenversickerung)	48
Abbildung 12:	Eingabemaske und konzeptionelles Modell eines „Low Impact Developments (LID) zur Abbildung der Versickerungs- und Retentionsanlagen nach DWA-A 138	51
Abbildung 13:	Modellierte „Ist-Situation“ (0-SZ30-4) des Oberflächenabflusses auf Häuserblockebene bei einem 30-jährigen Niederschlagsereignis und gut durchlässigem Boden ($k_f=10^{-4}$ m/s).....	54
Abbildung 14:	Modelliertes Szenario (4-SZ30-4) über die Auswirkungen einer Mulden-Rigolenversickerung auf den Oberflächenabfluss auf Häuserblockebene bei einem 30-jährigen Niederschlagsereignis und gut durchlässigem Boden ($k_f=10^{-4}$ m/s)	54
Abbildung 15:	Abhängigkeit des notwendigen Flächenanteils für die Versickerungsanlage von nicht-versiegelter Netto-Fläche.....	56
Abbildung 16:	Reduktion des Niederschlagsabflusses und Annuitäten für die betrachteten Szenarien bei einem 30-jährigen Niederschlagsereignis.....	59
Abbildung 17:	Schmutzwasser-Szenario 0	70
Abbildung 18:	Schmutzwasser-Szenario 1	70
Abbildung 19:	Schmutzwasser-Szenario 2	71
Abbildung 20:	Schmutzwasser-Szenario 3	72

Abbildung 21:	Wirkungen ortsnaher Regenwassersysteme (Entwurf: Geyler/Lautenschläger/Laforet)	79
Abbildung 22:	Überschreitungshäufigkeit bestimmter Einstauniveaus in der Kanalisation (als relativer Anteil der Haltungen) mit und ohne Abkopplung sämtlicher Quartiersflächen unter verschiedenen Bemessungsniederschlägen	82
Abbildung 23:	Hydrologisches Modell des Untersuchungsgebietes „Leipzig-Nord“	83
Abbildung 24:	Veränderung der mittleren entlasteten Schmutzfracht bzw. der entlasteten Abflussmenge in Abhängigkeit der gewählten Wiederkehrzeit für die Muldendimensionierung im Quartier – dargestellt als relativer Anteil gegenüber den Durchschnittswerten der letzten 40 Jahre	84
Abbildung 25:	Flächenbedarf von Mulden und durchschnittlicher Überlauf in den öffentlichen Kanal in Abhängigkeit der gewählten Wiederkehrzeit für die Muldendimensionierung - dargestellt als Anteil der Muldenfläche an der Quartiersfläche bzw. des Anteils am mittleren Überlauf ohne Mulden	85
Abbildung 26:	Verringerung der durchschnittlich in die Gewässer entlasteten Schmutzfracht in Abhängigkeit vom Anschlussgrad der Quartiersfläche an Mulden (T = 1 a).....	86
Abbildung 27:	Annuitäten der Gesamtkosten für Szenario 6 in Bezug auf das Untersuchungsgebiet und unterschiedliche Kostengerüste	97
Abbildung 28:	Szenarienspezifisches betriebliches Wirtschaftlichkeitspotenzial in Abhängigkeit vom Regenwasserentgelt und vom Kostengerüst (Zinssatz: 3 %) ..	100
Abbildung 29:	Szenarienspezifisches betriebliches Wirtschaftlichkeitspotenzial in Abhängigkeit vom Zinssatz und vom Kostengerüst (Regenwasserentgelt: 0,85 €/m ² *a).....	101
Abbildung 30:	Übersicht über den Gebäudebestand im Untersuchungsgebiet mit Zuordnung zu Bebauungsstrukturen.....	105
Abbildung 31:	Relative Freiflächenverfügbarkeit auf Grundstücken in Abhängigkeit von der Bebauungsstruktur und von Abstandsregelungen im Untersuchungsgebiet „Leipzig-Nord“	107
Abbildung 32:	Heterogenität der Freiflächen auf Grundstücken in Abhängigkeit von der Bebauungsstruktur im Untersuchungsgebiet „Leipzig-Nord“	108
Abbildung 33:	Heterogenität der Freiflächen bei Blockbebauung in Abhängigkeit von Abstandsregelungen im Untersuchungsgebiet „Leipzig-Nord“	109

Abbildung 34:	Absolute Häufigkeiten konfliktbehafteter Hofnutzungen im Untersuchungsgebiet "Leipzig-Nord" in Abhängigkeit von der Bebauungsstruktur	113
Abbildung 35:	Absolute Häufigkeiten konfliktbehafteter Hofnutzungen im Untersuchungsgebiet "Leipzig-Nord" in Abhängigkeit von der Eigentumsform	114

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Eintrag von Feststoffen in die Kanalisation	31
Tabelle 2:	Zusammenfassung der betrachteten Szenarien 0 – 7	41
Tabelle 3:	Abflüsse der einzelnen Teilflächen im Häuserblock für die betrachteten Szenarien	52
Tabelle 4:	Exponentielle Regressionsfunktionen für die Ermittlung des Flächenbedarfs zum Bau einer blau-grünen Infrastruktur (nach DWA-A 138) auf Häuserblockebene	56
Tabelle 5:	Einzelpreise für Bauleistungen zur Abschätzung der Baukosten für die betrachteten Versickerungs- und Retentionstechnologien	57
Tabelle 6:	Spezifische Kosten für die betrachteten Versickerungs- und Retentionstechnologien als Literaturwerte und basierend auf Einzelpreisen.....	58
Tabelle 7:	Wirksamkeit und Kosten der Szenarien für das Gesamtgebiet	59
Tabelle 8:	Übersicht der gewählten Schmutzwasser-Szenarien	66
Tabelle 9:	Annahmen zur Fracht und Konzentration der Schmutzwasserfraktionen	67
Tabelle 10:	Simulationsergebnisse der Schmutzwasser-Szenarien	73
Tabelle 11:	Leistungen, Ressourceninanspruchnahme und Eigenschaften ortsnahe Regenwasserbewirtschaftungskonzepte sowie deren Wirkungen – Literaturübersicht	78
Tabelle 12:	Vereinfachte Zusammenfassung der Wirkungen einzelner Ansätze zur ortsnahe Regenwasserbewirtschaftung	90
Tabelle 13:	Spezifische Investitionshöhen von Anlagen zur Regenwasserbewirtschaftung (Preisniveau 2018)	93
Tabelle 14:	Spezifische Annuitäten der Maßnahmen in Abhängigkeit von Bezugsfläche und vom Kostengerüst	96
Tabelle 15:	Anteil von Grundstücken mit Freiflächen > 10 % der versiegelten Fläche in Abhängigkeit von Bebauungsstrukturen und von Abstandsregelungen im Untersuchungsgebiet „Leipzig-Nord“.	110
Tabelle 16:	Verbreitete Hofnutzungen mit Merkmalen / beispielhaften Ausprägungen.....	111

Tabelle 17:	Konflikte zwischen Flächennutzungen und Maßnahmen der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung auf Höfen / Grundstücken	116
Tabelle 18:	Technische Regelwerke und Leitfäden zur Siedlungsentwässerung (Auswahl)	127
Tabelle 19:	Ausnahmen von der kommunalen Abwasserbeseitigungspflicht bzw. Übertragung auf den Grundstückseigentümer	130
Tabelle 20:	Als Anforderungskriterien empfohlene Überflutungshäufigkeiten nach DIN EN 752:2008 und Überstauhäufigkeiten für „Neuplanung/Sanierung“ und „bestehende Systeme“ nach Arbeitsblatt DWA-A 118:2006 und ATV-DVWK (2004).....	138
Tabelle 21:	Landesrechtliche Anforderungen an die erlaubnisfreie Versickerung von Niederschlagswasser	154
Tabelle 22:	Vorsorgewerte gemäß Anhang 2 Nr. 4 BBodSchV.....	160
Tabelle 23:	Most representative standards on water reuse from EU Member States (IMPEL, 2018).....	176
Tabelle 24:	Internationale Empfehlungen zur Verwendung von Abwasser zu Bewässerungszwecken (nach IMPEL, 2018)	176
Tabelle 25:	Gesetzliche Anforderungen an die Umweltverträglichkeit einer Abwasserwiederverwendung zum Zweck der urbanen Bewässerung.....	177
Tabelle 26:	Qualitätsanforderungen an Abwasser zur Verwendung als Bewässerungswasser.....	178
Tabelle 27:	Literaturquellen zu Kostendaten	195
Tabelle 28:	Datensammlung zu Investitionskosten bezogen auf versiegelte Fläche.....	196
Tabelle 29:	Datensammlung zu Investitionskosten bezogen auf Versickerung-/Maßnahmenfläche ¹	197
Tabelle 30:	Datensammlung zu Betriebskosten bezogen auf versiegelte Fläche ¹	198
Tabelle 31:	Datensammlung zu Betriebskosten bezogen auf Maßnahmenfläche ¹	198
Tabelle 32:	Verhältnis der angeschlossenen versiegelten Fläche zur Maßnahmenfläche - Literaturangaben	200
Tabelle 33:	Szenarienbezogene Maßnahmenflächen für die Ausprägungen des Szenarios 6	200
Tabelle 34:	Ausgewertete Bebauungsstrukturen im Untersuchungsgebiet Leipzig-Nord.....	200
Tabelle 35:	Quellen zu Hofnutzungen.....	201

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
aaRdT	Allgemein anerkannte Regeln der Technik
Art.	Artikel
BauGB	Baugesetzbuch
BauO	Bauordnung
BayWG	Bayerisches Wassergesetz
BBodSchG	Bundesbodenschutzgesetz
BBodSchV	Bundesbodenschutzverordnung
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
BremWG	Bremisches Wassergesetz
BVerwG	Bundesverwaltungsgericht
DIN	Deutsche Industrienorm
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
GFS	Geringfügigkeitsschwelle
GG	Grundgesetz
GrwV	Grundwasserverordnung
HWG	Hessisches Wassergesetz
KomAbwRL	EG-Kommunalabwasserrichtlinie
KrwG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
LABO	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz
LAI	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz
LAWA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser
LBauO BW	Bauordnung des Landes Baden-Württemberg
LfU	Bayerisches Landesamt für Umwelt
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
LWG	Landeswassergesetz
LWG NRW	Landeswassergesetz Nordrheinwestfalen
LWG RP	Landeswassergesetz des Landes Rheinland-Pfalz
NWG	Niedersächsisches Wassergesetz
OGewV	Oberflächengewässerverordnung
RL	Richtlinie
SächsBauO	Sächsische Bauordnung
SächsWG	Sächsisches Wassergesetz
SdT	Stand der Technik
VO	Verordnung
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WG BW	Wassergesetz des Landes Baden-Württemberg

Abkürzung	Bedeutung
WG LSA	Wassergesetz des Landes Sachsen-Anhalt
WG MP	Wassergesetz des Landes Mecklenburg-Vorpommern
WRRL	EG-Wasserrahmenrichtlinie

Begriff	Definition
Abwasser	§ 54 WHG: Schmutzwasser plus Niederschlagswasser
Systemarchitektur	Kombination unterschiedlicher abwassertechnischer Infrastrukturen
Schmutzwasser	§ 54 WHG: durch häuslichen, gewerblichen, landwirtschaftlichen oder sonstigen Gebrauch in seinen Eigenschaften veränderte Wasser
Mischwasserabfluss	in Mischwasserkanälen bei bzw. infolge von Niederschlägen oder Schneeschmelze resultierender Abfluss (= Trockenwetterabfluss + Niederschlagswasserabfluss)
Mischwasserbehandlung	Maßnahmen zur Begrenzung der Gewässerbelastung durch Mischwasserabflüsse im Kanalnetz und auf der Kläranlage
Niederschlagswasser	§ 54 WHG: Von Niederschlägen aus dem Bereich von bebauten oder befestigten Flächen gesammelt abfließendes Wasser
Niederschlagswasserabfluss	durch Niederschlag (z.B. Regen, Schnee, Nebel, Tau) verursachter Abfluss
Regenwasserabfluss	durch Regen verursachter Abfluss
Regenwasserbehandlung	Maßnahmen zum gezielten Stoffrückhalt von belasteten Regenwasserabflüssen in dezentralen oder zentralen Anlagen
Regenwetterabfluss	durch Regen verursachter oder durch Regen beeinflusster Abfluss in Siedlungsgebieten (niederschlagsbedingter Siedlungsabfluss)
blau-grüne Infrastrukturen	In diesem Bericht: Naturnahe dezentrale Technologien zur Retention, Speicherung, Versickerung, Behandlung und Verwendung (Evapotranspiration) von Niederschlagswasser

Zusammenfassung

Ob die Ziele einer nachhaltigen Entwicklung erreicht werden und die Menschen künftig in einer gesunden und lebenswerten Umwelt leben können, entscheidet sich wesentlich in den Städten. Hier lebt eine zunehmende Mehrheit der Bevölkerung auf engem Raum und verbraucht den Großteil lebenswichtiger Ressourcen. Wissenschaft und Praxis sind sich darin einig, dass die urbanen Systeme in vieler Hinsicht einer substanziellen Umgestaltung (Transformation) bedürfen, um zentrale Ziele der nachhaltigen Entwicklung (SDGs) zu erreichen. Der Klimawandel bringt dabei zusätzliche Herausforderungen und Anpassungserfordernisse mit sich, insbesondere hydrologischer und wasserwirtschaftlicher Art. Viele Städte werden sich sowohl auf stärkere Niederschläge als auch auf längere Dürrephasen und intensivere Hitzeperioden einstellen müssen. Vor diesem Hintergrund gehört die Stadtentwässerung zu den Schlüsselbereichen einer ressourcenschonenden und klimaresilienten Stadtentwicklung.

Der vorliegende Bericht geht deshalb der Frage nach, ob und wie es sich mit Blick auf die zukünftigen Anforderungen an eine nachhaltige Wasserinfrastruktur in der Stadt empfiehlt, die hergebrachten Abwassersysteme durch dezentrale Technologien zu ergänzen bzw. umzubauen. Aufbauend auf dem Entwicklungsstand und den Leistungsgrenzen der bisherigen grauen Infrastruktur in der Stadt ergibt sich bedingt durch demographische und klimatische Veränderungen ein Bedarf an Niederschlags- und Schmutzwasserbewirtschaftung die ortsnah implementiert werden sollte. Um diesen Bedarf genauer abschätzen zu können, ist eine Potenzialanalyse für den Einsatz von Technikoptionen auf Block- und Stadtteilebene wichtige Voraussetzung. Als ein zentrales Ergebnis legt dieser Bericht einen GIS-basierten Modellansatz zu Grunde, der das Abkopplungspotenzial von Regenwasserableitungen darstellt und ökonomisch bewertet. Die multidimensionalen Kostenwirkungen werden auf Flächenbedarfe bezogen und dabei Nutzungskonflikte herausgestellt. Zudem werden auf die Optionen und Potenziale einer ergänzenden semizentralen oder dezentralen Schmutzwasserbewirtschaftung dargestellt. Gerahmt wird das Vorhaben durch die ausführliche rechtliche Bewertung der Abwasserinfrastrukturentwicklung vor dem Hintergrund des Einsatzes dezentraler Optionen und den damit verbundenen gegenwärtigen Hindernissen. Im Folgenden sind die zentralen Ergebnisse und Erkenntnisse des Berichtes zusammengefasst:

Auswirkungen des Klimawandels auf die öffentliche Kanalisation

Die zentralen Abwassersysteme in den deutschen Städten sind historisch gewachsen. Ihre Errichtung erfolgte im Regelfall im Zuge der Expansion der Städte. Dementsprechend finden sich in Leipzig, z. B. in den bestehenden Gründerzeitvierteln, Kanäle mit einem vergleichbaren Alter von über 100 Jahren.

In den letzten Jahren sind zusätzlich zu den o.g. Aspekten insbesondere die Auswirkungen der klimatischen Veränderungen noch stärker in den Fokus der Betrachtungen gerückt. Durch die höheren Temperaturen im Sommer und die langen Trockenperioden steigen auch die Gewässertemperaturen und es kommt zu ausgedehnten Phasen mit Niedrigwasserständen in den Gewässern. Beide Effekte wirken sich auf die Selbstreinigungsfähigkeit der Gewässer aus. Damit sinken ggf. die möglichen Einleitungen in die Gewässer aus Misch- und Regenwasserleitungen bzw. es werden wesentlich höhere Anforderungen an die Vorreinigung gestellt.

Es ist festzustellen, dass das zentrale System ohne grundlegende Strukturänderungen zukünftig deutlich ausgebaut werden muss, was mit hohen Kosten verbunden ist. Es ist daher sowohl technisch als auch ökonomisch notwendig, dezentrale Alternativen im Bereich der

Niederschlagswasserentsorgung in Betracht zu ziehen. Durch die dezentralen Maßnahmen kann eine deutliche stoffliche und auch hydraulische Entlastung des o.g. zentralen Systems erreicht werden. Die hydraulischen Entlastungen gestatten im Kanalnetz u.a. den verstärkten Einsatz von Sanierungen mittels Schlauchliner oder Rohrzug. Diese können in geschlossener Bauweise äußerst kostengünstig direkt in die Altrohrsysteme eingezogen werden, eine komplette Öffnung der Straße ist dabei nicht erforderlich. Im Ergebnis werden aufwändige und zudem sehr langwierige Sperrungen vermieden. Darüber hinaus ermöglichen die dezentralen Systeme auch die deutliche Reduzierung von Rückhalte- bzw. Behandlungsanlagen im Kanalnetz sowie eine Entlastung der Kläranlagen (u.a. Hydraulik, weniger Tage mit Mischwasserzufluss). Außerdem werden Reduzierungen bei den Betriebskosten möglich (u.a. für Hebungen, Schlamm Entsorgung). Im Ergebnis werden sich auch positive ökologische Effekte im Hinblick auf die geringeren eingeleiteten Schmutzfrachten in die Gewässer einstellen.

Der schlussendliche Budgetbedarf für die Sanierung des zentralen Systems wird davon abhängen, ob es gelingt, die Zunahme der in die Kanalisation eingeleiteten Wassermengen durch dezentrale Maßnahmen zu begrenzen bzw. perspektivisch zu reduzieren. Dies gilt insbesondere bei den höheren hydraulischen Belastungen durch Bebauungsverdichtung und Flächenversiegelung.

Modellhafte Auswahl integrativer Regenwassermanagementkonzepte: der MUST-B Ansatz

Zur Beantwortung der Frage, ob und in welchem Umfang es sich für einzelne Stadtgebiete empfiehlt die hergebrachten Abwassersysteme durch ortsnahe blau-grüne Technologien zu ergänzen oder zu ersetzen, wurden Technikszenarien mit einer softwarebasierten Potentialanalyse für ein dezentrales Niederschlagswassermanagement im Stadtteil „Leipzig-Nord“ durchgeführt. Der Modellansatz geht von der Hypothese aus, dass nicht nur für Neubauvorhaben, sondern auch zur Transformation der urbanen Entwässerungsinfrastruktur im Bestand Maßnahmen zur Vermeidung und Verminderung des Niederschlagsabflusses und seiner Belastung von hoher Priorität sind. Im sogenannten MUST-B Ansatz (Management of Urban Stormwater at Block-level) ist die Häuserblockebene die kleine funktionelle Einheit der urbanen Bewirtschaftung von Niederschlagswasser. Ziel ist die Vermeidung bzw. Minimierung des Transportes von Regenwasser in der Stadt, die Niederschläge sollen auf Blockebene verbleiben. Ein Up-Scaling wird durch manuelle oder automatisierte software-gestützte Block-Aggregation gewährleistet. Dabei werden für jeden Block der Versiegelungsgrad (Flächenverfügbarkeit) und die Beschaffenheit des Untergrundes (Durchlässigkeit) als wesentliche Grundlagen für die Dimensionierung der blau-grünen Technologien zum Niederschlagsmanagement herangezogen.

Die Szenarien zur Abschätzung der Transformationskapazität hin zu einer dezentralen Bewirtschaftung von Niederschlagswasser im Bestand wurden sukzessive ausgearbeitet und entwickelt. Als Basislinie für die Bewertung der simulierten Maßnahmen zum dezentralen Niederschlagsmanagement wurde die "Ist-Situation" im Szenario 0 für jeden Häuserblock abgebildet. Dies ermöglicht im direkten Vergleich eine Abschätzung der Plausibilität der Simulationsergebnisse sowie eine Quantifizierung des Wirkungsgrades der betrachteten dezentralen Infrastrukturen auf Block-Ebene. In den Szenarien 1 bis 7 wurden Versickerungsanlagen entweder als einzelne Komponente oder in Kombination für die Bewirtschaftung von Niederschlagswasser auf Häuserblockebene betrachtet. Dies sind im Einzelnen (a) Flächenversickerung, (b) Muldenversickerung, (c) Rigolenversickerung, (d) Mulden-Rigolenversickerung, (e) Kombination Mulden-Rigolenversickerung und Gründach, (f) Kombination Mulden-Rigolenversickerung, Gründach und Versickerungsschacht und (g)

Kombination Mulden-Rigolenversickerung und Versickerungsschacht. Die Simulation der dezentralen Bewirtschaftung von Niederschlagswasser im Stadtteil „Leipzig-Nord“ wurde für drei Niederschlagsereignisse durchgeführt. Danach fallen innerhalb von 2 Stunden insgesamt 213 391 m³, 320 466 m³ und 392 392 m³ Niederschlag als Folge einer 5-, 30- und 100-jährigen Niederschlagsereignisses.

Im Zuge des Forschungsprojektes wurde die Simulationssoftware MIKE URBAN+ der dänischen Firma DHI eingesetzt, um für den gewählten Stadtteil „Leipzig-Nord“ verschiedene Szenarien hinsichtlich des Niederschlags-Managements zu untersuchen. Da dies ein sehr arbeitsintensiver Prozess ist und nicht allen Anwendern eine automatisierte leistungsstarke Software zur Verfügung steht wurde alternativ eine vereinfachte Herangehensweise entwickelt, die es zum einen erlaubt, manuell durch „Regressionskurven“ unter Berücksichtigung des Versiegelungsgrades oder automatisiert durch eine entwickelte Software-basierte Methode den Aufwand erheblich zu reduzieren.

Die Entscheidungsfindung zur Implementierung von dezentralen blau-grüner Infrastrukturen zum Niederschlagsmanagement wird wesentlich durch die Kosten der Maßnahmen bestimmt. Auch bei der Auswahl der am besten geeigneten Szenarien spielen die Kosten eine zentrale Rolle. Daher wurden zur Vergleichbarkeit der Kostenbetrachtung für unterschiedliche Techniken und Technikkombinationen eine vereinfachte Vorplanung basierend auf Einheitspreisen zugrunde gelegt.

Die durch eine vereinfachte Vorplanung definierten jährlichen Kosten für die Implementierung einer blau-grünen Infrastruktur im Stadtteil „Leipzig-Nord“ und einer Reduktion der Niederschlagswasserabflüsse von > 99% wurden mit 0,4 Mio. €/a bis 3,6 Mio. €/a abgeschätzt. Die Kosten variieren in Abhängigkeit der technischen Auslegung der Systeme, der Bodenverhältnisse sowie dem betrachteten Regenereignis. Als kostengünstigste Technikvariante für gut durch-lässige Böden und mit einer Wirksamkeit von > 99% erwies sich die Muldenrigole (0,4 - 0,8 Mio. €/a). Für wenig durchlässige Böden wurde bei gleicher Wirksamkeit die Muldenrigolenversickerung als kostengünstigste Lösung identifiziert (1,7 - 3,4 Mio. €/a). Es konnte gezeigt werden, dass die Kopplung der Muldenrigolenversickerung mit weiteren blau-grünen Techniken (Szenario 5-7) keinen wesentlichen Einfluss auf die jährlichen Kosten hat. Die Flächenversickerung ist nur begrenzt für einen vollständigen Rückhalt von Regenwasser im Block geeignet und lässt sich bei relativ hohen Kosten (1,5 - 2,5 Mio. €/a) und mit Wirkungsgraden von >90% nur bei gut durch-lässigen Bodenverhältnissen einsetzen.

Den größten Einfluss auf die jährlichen Kosten für eine flächenhafte Abkopplung von Häuserblocks hat in der Modellbetrachtung die Durchlässigkeit des Untergrundes. Eine Reduktion der Durchlässigkeit des Bodens von $K_f=10^{-4}$ m/s auf einen K_f von 10^{-6} m/s führt bei allen betrachteten Systemen bei gleichem Wirkungsgrad (>99%) zu einer Steigerung der jährlichen Kosten um einen Faktor von ca. 3. Im Vergleich dazu hat eine Steigerung der Regenintensität einen geringeren Einfluss. Die Bemessung der Techniken für ein Starkregenereignis von 100 a erhöht im Vergleich zu einem 5-jährigen Ereignis die spezifischen Kosten für die blau-grünen Technologien um den Faktor von ca. 2. Die spezifischen Kosten (€/a) für ein dezentrales Niederschlagsmanagement auf Häuserblockebene erhöhen sich bei gleicher Wirksamkeit im Vergleich eines gut durchlässigen Bodens ($K_f=10^{-4}$ m/s) mit einem schlecht durchlässigen Boden ($K_f=10^{-6}$ m/s) um den Faktor von ca. 3.

Die Computersimulation und Visualisierung von Möglichkeiten eines urbanen dezentralen Niederschlagsmanagements erleichtert die Entscheidungsfindung für unterschiedliche Zielgruppen und ist eine sinnvolle Planungsgrundlage für dessen Umsetzung. Für Anwender ist

dieser Modellansatz einfach nachzuvollziehen und mit den beschriebenen Inputdaten ist eine Übertragbarkeit auf andere Stadtquartier gewährleistet.

Integrative Schmutzwasser-Managementkonzepte für Stadtteile

Anders als beim Niederschlagswasser, bei dem ein dezentraler Umgang zumindest in Neubaugebieten bereits seit längerem Stand der Technik ist, wurden beim Schmutzwasser dezentrale Konzepte im städtischen Umfeld bisher nur pilothaft umgesetzt. In dieser Studie wurden am Beispiel des Stadtteils „Leipzig-Nord“ verschiedene Szenarien mit unterschiedlich dezentralen Lösungen entwickelt und bezüglich ihrer Wirkungen quantifiziert. Anhand der Ergebnisse lässt sich einerseits zeigen, dass es zunächst zu höheren Kosten führt, wenn man ein bestehendes zentrales System dezentralisiert. Das ist der Grund, warum es bisher kaum umgesetzt wurde. Andererseits lassen sich aber auch Potenziale erkennen, die in Zukunft dazu führen können, dass sich dieser Ansatz zumindest unter bestimmten Rahmenbedingungen durchsetzt. Gerade der Aspekt, dass auf diesem Wege im Stadtteil, Quartier oder Wohnblock eine Wasserquelle zur Verfügung steht, die im Gegensatz zum Niederschlag relativ zuverlässig quantifizierbar ist und die für die lokale Bewässerung, Straßenreinigung und möglicherweise auch zur Grundwasseranreicherung genutzt werden kann, lässt eine Dezentralisierung des Schmutzwassersystems vor dem Hintergrund des Klimawandels zunehmend trockenen, heißen Sommern attraktiv erscheinen. Zudem kann auch mit einem positiven Effekt auf die Gewässerqualität gerechnet werden, da bei den dezentralen Konzepten ein Abschlag von Mischwasser nicht vorgesehen ist.

Um für die Planung entsprechender Konzepte eine bessere Datengrundlage zu bekommen, ist einerseits ein kontinuierliches Monitoring der bestehenden Umsetzungen notwendig, andererseits sollten weitere Pilotvorhaben gestartet werden. Nur wenn entsprechend zuverlässige Vorhersagen der Kosten und Wirkungen möglich sind, werden kommunale Entscheidungsgremien einer Transformation ihrer Städte im Sinne einer Dezentralisierung der Funktionen zustimmen.

Wirkungen der ortsnahe Regenwasserbewirtschaftung im Quartier

Es wurden die Wirkungen einer Niederschlagsbewirtschaftung im Quartier dahingehend untersucht, ob schon kleinere Dezentralisierungsschritte die Wirksamkeit und Effizienz verbessern können oder ob solche Transformationsgewinne erst bei flächendeckenden Dezentralisierungen oder sogar vollständigen Abkopplungen vom öffentlichen Kanal erzielt werden. Die literaturbasierten und beispielhaft-explorativen Analysen zu Wirkungen, Kosten und Flächenkonflikten einer Dezentralisierung im Untersuchungsgebiet „Leipzig-Nord“ ergaben folgende Ergebnisse und Schlussfolgerungen:

Eine vollständige Abkopplung geht mit starken Wirkungen beim Entwässerungskomfort und Gewässerschutz einher. Nahezu ähnliche Wirkungen werden aber schon durch eine flächendeckende Ergänzung des zentralen Systems mit ortsnahe Anlagen kleiner Dimensionierung erreicht. Aber auch eine Nutzung solcher Anlagen auf Teilflächen führt zu positiven Effekten. Diese Ergebnisse sollten um eine Betrachtung der Anpassungsreaktionen des öffentlichen Systems ergänzt werden, um Lage und Umfang von abzukoppelnden Teilflächen zu ermitteln, die zum Erreichen von kommunalen Zielen für den Entwässerungskomfort und Gewässerschutz wünschenswert sind.

Im Hinblick auf Kosten, Flächenverfügbarkeit und mögliche Flächennutzungskonflikte auf den Grundstücken könnte eine ortsnahe Bewirtschaftung von Teilflächen vergleichsweise kostengünstig sein, wenn es gelingt Kostengesichtspunkte, eigentümerbezogene Perspektiven und

Nutzerinteressen in die Auswahl der Flächen einzubeziehen. Solche Flächen zeichnen sich nicht nur durch gute Bodenverhältnisse und ausreichende Flächenverfügbarkeit aus, sondern auch durch günstige Wirtschaftlichkeitsmaßstäbe der Grundstückseigentümer und durch wenig konfliktbehaftete Hofnutzungen.

Hierbei spielen sowohl die mittleren Kosten bzw. betrieblichen Wirtschaftlichkeitspotenziale als auch deren kleinräumige Variabilität eine Rolle. Gerade die mittleren Wirtschaftlichkeitspotenziale werden durch die Höhe der Regenwasserentgelte beeinflusst. Weiterhin sollten externe Nutzen der ortsnahen Systeme verstärkt den Grundstückseigentümern honoriert werden, um diesen wichtigen Aspekten in die betrieblichen Wirtschaftlichkeitspotenziale zu integrieren.

Insbesondere zeilenhafte Bebauungsstrukturen sowie Teile von freistehenden Ein- und Mehrfamilienhäusern bieten sich als Ausgangspunkt für die Suche nach kostengünstigen Teilflächen an. Diese grundsätzlich bekannte Regel bestätigte sich exemplarisch für das Untersuchungsgebiet selbst bei Berücksichtigung von Abstandsregeln vom Grundstück und Grundstücksgrenzen und Nutzungskonflikten bei der Hofnutzung. Bedeutsam für eine Auswahl geeigneter Grundstücke ist weiterhin, dass die Flächenverfügbarkeit und konfliktbehaftete Hofnutzungen auch innerhalb der untersuchten Bebauungsstrukturen stark variieren. Für die Praxis ist es notwendig, eine Dezentralisierung räumlich differenziert zu betreiben.

Die Wirksamkeit einer Dezentralisierung von Teilflächen sowie die Wahrscheinlichkeit, dass Teilflächen mit vergleichsweise günstiger Wirtschaftlichkeit vorhanden sind, deuten auf die vergleichsweise Effizienz dieser Option gegenüber flächenhaften Dezentralisierungsbemühungen hin. Weitere Untersuchungen sind zur Stützung dieser Vermutung notwendig. Hierbei sollten auch die in diesem Bericht nur literaturbasiert betrachteten Wirkungen in Bezug auf den naturnahen Wasserhaushalt, die Klimaanpassung und die Freiraumqualität einbezogen werden.

Rechtlicher Rahmen und Handlungsbedarf

Wie die Siedlungsentwässerung auf die Herausforderungen der urbanen Nachhaltigkeit eingestellt wird, wird nicht allein von technischen Entwicklungen bestimmt, sondern wesentlich auch von rechtlichen Rahmensetzungen, namentlich zur Umweltverträglichkeit, Sicherheit, Struktur, Zuständigkeit und Finanzierung der Stadtentwässerung. Für die Umsetzung nachhaltiger Lösungen der dezentralen Abwasserbewirtschaftung kommt es darauf an, dass das rechtliche Anforderungsprofil konstruktiv auf diese Lösungen eingestellt wird und dass auch geeignete Planungs-, Anordnungs-, und Finanzierungsinstrumente bereitgestellt werden.

Der Blick in die einschlägigen Regelungen insb. des Wasserrechts, Baurechts und Abgabenrechts zeigt, dass die dezentrale Niederschlagsbewirtschaftung auch rechtlich als eine prioritäre Option der Stadtentwässerung anerkannt ist und dass das geltende Recht bereits weite Spielräume zur Umsetzung dezentraler Lösungen bietet. Bei näherer Hinsicht ist allerdings auch zu erkennen, dass im Anforderungsprofil und bei den Umsetzungsinstrumenten erhebliche Regelungslücken und Rechtsunsicherheiten bestehen, die die Planung und Durchsetzung dezentraler Maßnahmen mitunter als ein rechtliches Wagnis erscheinen lassen und erschweren. Auch fehlt es an maßgeschneiderten Instrumenten insb. zur Planung der (neuen) Abwasserinfrastrukturen und zum Umbau des Infrastrukturbestands, die den Wandel hin zu einem lokalen Wasserkreislauf konstruktiv fördern und damit auch solche Gemeinden auf den Weg bringen, die nicht von sich aus dem Willen und Mut dazu finden.

Die systematische Umstellung auf dezentrale Strukturen der flächenhaften Niederschlagsbewirtschaftung verlangt in hohem Maße eine Abstimmung nicht nur innerhalb des Entwässerungssystems, sondern v.a. auch mit den betroffenen Flächennutzungen im Hinblick sowohl auf Nutzungskonflikte als auch Synergien der multifunktionalen Gestaltung und „Mitbenutzung“ urbaner Grün- und Verkehrsflächen. Diese komplexe Koordinierungs- und Konfliktlösungsaufgabe kann durch informale, technische Planungen, wie sie für eine weitgehend unterirdische Infrastruktur genügt haben, nicht adäquat geleistet werden. Vielmehr bedarf es einer formalen Fachplanung auf der Grundlage gesetzlicher Regelungen, die gewährleisten, dass (a) die Planung zur Pflicht wird und alle größeren Gemeinden eine Entwässerungsplanung erstellen und regelmäßig fortschreiben, und (b) der Entwässerungsplanung eine gründliche Ermittlung und transparenten Darstellung der Tatsachengrundlagen einschließlich einer Kartierung der Überschwemmungsrisiken und Versickerungspotenziale zugrundegelegt wird, (c) eine geordnete Abstimmung mit den relevanten Verwaltungsstellen insb. der Stadtplanung, Grünämter, Straßenämter erfolgt und dass Betroffene und die Öffentlichkeit beteiligt werden, (d) die Planung inhaltlich den Erfordernissen einer integrierten, auf die Einzugsgebiete bezogenen Entwässerungsplanung und wassersensiblen Stadtplanung genügen und (e) die Planung mit der örtlichen Gesamtplanung und relevanten Fachplanungen zur Grün- und Wegeinfrastruktur interaktiv verknüpft ist und darin Beachtung findet.

Summary

Whether the goals of sustainable development will be achieved and whether people will be able to live in a healthy and liveable environment in the future will be largely determined in cities. In cities, an increasing majority of the population lives in confined spaces and consumes the majority of vital resources. Science and practice agree that urban systems require a substantial transformation to achieve key Sustainable Development Goals (SDGs). In this regard, climate change brings additional challenges and adaptation needs, particularly with respect to hydrological and water management. Many cities will have to adapt to heavier precipitation as well as longer periods of drought and more intense heat waves. Against this background, urban drainage systems are one of the key areas of resource-conserving and climate-resilient urban development.

This report therefore examines the question of whether and how, in view of the future requirements for a sustainable water infrastructure in the city, it is advisable to supplement or convert the traditional wastewater systems with decentralized technologies. Based on the state of development and the performance limits of the existing grey infrastructure in the city, demographic and climatic changes result in a need for precipitation and wastewater management that should be implemented locally. In order to estimate this need more accurately, a potential analysis for the use of technology options at the block and neighbourhood level is an important prerequisite. As a key finding, this report uses a GIS-based modelling approach to represent and economically evaluate the potential of disconnecting stormwater discharges. The multidimensional cost effects are related to land use requirements and conflicts of use are highlighted. In addition, the options and potentials of a complementary semi-centralized or decentralized wastewater management are presented. The project is framed by a detailed legal assessment of wastewater infrastructure development against the background of the use of decentralized options and the associated current obstacles.

1 Einleitung

1.1 Ziel und Gang der Untersuchung

Der vorliegende Bericht präsentiert die Ergebnisse des UBA-Forschungsvorhabens „Wege zum abflussfreien Stadtquartier – Potentialanalyse und Bewertung der integrativen Umsetzung ortsnaher urbaner Schmutz- und Regenwassermanagementkonzepte“. Das Vorhaben geht am Beispiel des Stadtteils „Leipzig Nord“ der Frage nach, ob und inwieweit es sich mit Blick auf die Zukunftserfordernisse nachhaltiger Wasserinfrastruktur- und Siedlungsentwicklung empfiehlt, die hergebrachten Abwassersysteme durch Techniken der dezentralen Niederschlags- und u.U. auch Schmutzwasserbewirtschaftung zu ergänzen bzw. zu ersetzen. Unter dieser leitenden Fragestellung befasst sich das Vorhaben mit:

- Entwicklungsstand, Leistungsfähigkeit und Leistungsgrenzen der hergebrachten Zentralinfrastruktur im Hinblick auf die Zukunftsherausforderungen der Stadtentwässerung (Kapitel 2)
- Methoden zur Ermittlung von Technikooptionen und Potenzialen einer dezentralen Niederschlagsbewirtschaftung und Abkopplung auf Block- und Quartiersebene mit Hilfe von Modellansätzen und Simulationssoftware (Kapitel 3).
- Optionen und Potenzialen einer ergänzenden semizentralen oder dezentralen Schmutzwasserbewirtschaftung unter den Zielstellungen der Wasser-, Nährstoff-, Energierückgewinnung sowie Bioabfallverwertung (Kapitel 4),
- der Bewertung ortsnaher Infrastrukturen der Niederschlagsbewirtschaftung in Bezug auf ihre multidimensionalen Wirkungen und Kosten sowie die Flächenbedarfe und Nutzungskonflikte (Kapitel 5),
- Dem rechtlichen Rahmen der Abwasserinfrastrukturentwicklung und der Frage, inwieweit dieser die Umsetzung der als vorteilhaft bewerteten Optionen dezentraler Abwasserbewirtschaftung ermöglicht und fördert oder eher behindert und welche Änderungen sich danach empfehlen (Kapitel 6).

Auf diesen Untersuchungen aufbauend schließt der Bericht mit Empfehlungen zur Transformation der urbanen Abwasserinfrastrukturen (Kapitel 7).

Die am Leipziger Beispiel entwickelten Untersuchungen und Beiträge dieses Vorhabens sind durchgehend darauf ausgerichtet, **übertragbare Erkenntnisse und Methoden** zur Potentialanalyse und Entwicklung dezentraler Abwasserinfrastrukturen zu generieren, die auch für andere Städte gültig und nutzbar sind. Dabei wird nicht verkannt, dass die Entwicklung abwassertechnisch und städtebaulich integrierter Transformationskonzepte unter Nachhaltigkeits- und Umsetzungsaspekten eine hochkomplexe und stark **situationsgeprägte Herausforderung** ist. Ein „Standard-Transformations-Rezept“, das bis ins Detail für alle Städte gilt kann es nicht geben, sondern es sind situationsangepasste Lösungen zu entwickeln, die den infrastrukturellen und städtebaulichen Verhältnissen ebenso entsprechen, wie den politischen Prioritäten, der Akzeptanz der Bürger und finanziellen Möglichkeiten vor Ort. Gleichwohl stellen sich zentrale Fragen der Prüfung, Entwicklung und Umsetzung dezentraler Bewirtschaftungskonzepte in vielen Städten in gleicher – oder jedenfalls vergleichbarer – Art und Weise. Dies betrifft zunächst die Ausgangssituation einer oft überalterten und durch Herausforderungen des klimatischen und demographischen Wandels in Frage gestellten zentralen Infrastruktur und daran anschließend die Fragen, welche technischen Optionen in Anwendungsreife zur Verfügung stehen, welche Realisierungspotenziale die betreffenden

Gebiete bieten und wie diese Potentiale methodisch zu ermitteln sind. Auch haben alle Städte in gleicher Weise zu ermitteln, welche positiven und nachteiligen (Nachhaltigkeits-)Wirkungen von den jeweiligen Optionen zu erwarten sind und welche Kosten sich mit ihnen voraussichtlich verbinden. Schließlich müssen sich alle Städte, die eine Transformation ihrer Entwässerungsstrukturen in Betracht ziehen fragen, welche rechtlichen Umsetzungsmöglichkeiten und –hindernisse sie zu beachten haben, und insoweit ist die Situation in Deutschland vergleichbar. Weitergehende Vergleichbarkeiten ergeben sich in allen diesen Fragen vor allem dann, wenn spezifischer auf **Baustrukturtypen** abgestellt wird, die die Ausgangslage für abwasserwirtschaftliche Transformationen in vielen Städten sehr ähnlich prägen. Diesen Ansatz verfolgt das hiesige Vorhaben. Der Leipziger Stadtteil – **Leipzig Nord** – wurde gezielt unter dem Gesichtspunkt ausgewählt, da es eine Vielzahl unterschiedlicher Baustrukturtypen beinhaltet, die in ähnlicher Gestalt und Mischung auch viele andere Städte und Stadtquartiere prägen. Der Stadtteil Leipzig-Nord, wurde dabei nicht durch die administrativen Grenzen der Stadtverwaltung, sondern hydraulisch nach siedlungswasserwirtschaftlichen Zusammenhängen abgegrenzt (Abbildung 1). Wie in allen Städten, erfolgt die Entwässerung dieses hydraulischen Einzugsgebiets über Hauptsammler und deren angeschlossene Nebensammler, die somit die Quartiersgrenzen definieren.

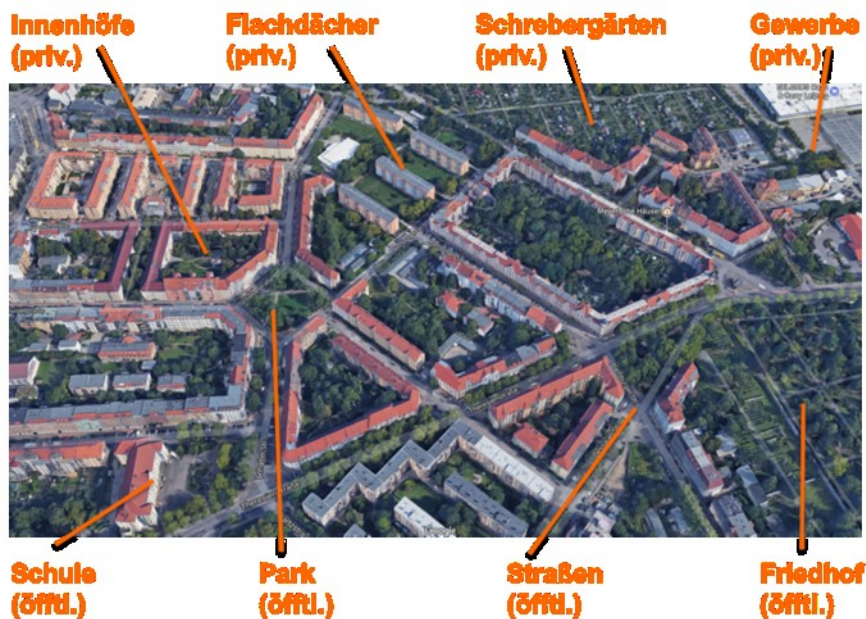
Abbildung 1: Das Untersuchungsgebiet im Leipziger Norden



Am Beispiel des hydraulisch definierten Stadtteils **Leipzig-Nord** werden zunächst die technischen Potentiale für eine dezentrale Bewirtschaftung insb. der Niederschlagwassers und –ergänzend – auch von Schmutzwasseranteilen aufgezeigt, und zwar spezifisch für die unterschiedlichen Baustrukturtypen. Des Weiteren werden Kosten, Nutzen und Nebenwirkungen der dezentralen Lösungen mit Blick auf wesentliche Zielgrößen der nachhaltigen Stadtentwicklung untersucht, und ein besonderes Augenmerk wird dabei auf (Flächen-)Nutzungskonflikte und -Synergien gelegt, die durch den Wechsel von der unterirdischen zu einer oberirdischen, flächenhaften Abwasserbewirtschaftung erstmals entstehen können. Ferner werden die rechtlichen Rahmenbedingungen und Realisierungsbedingungen aufgezeigt und es werden Empfehlungen abgeleitet, wie diese verbessert werden könnten, um die nachhaltige Transformation der Siedlungswasserwirtschaft effektiver zu unterstützen. Abgeschlossen wird der Bericht durch Handlungsempfehlungen zur Umsetzung integrativer urbaner Abwasser- und Regenwassermanagementkonzepte.

Die Potential-, Wirkungs- und Rahmenanalysen dieses Berichts beziehen sich – wie bereits erwähnt – auf ein „Entwässerungsstadtteil“ der Stadt Leipzig, das nicht durch die administrativen Grenzen der Stadtverwaltung, sondern hydraulisch nach siedlungswasserwirtschaftlichen Zusammenhängen abgegrenzt ist (Abbildung 1). Wie in allen Städten, erfolgt die Entwässerung dieses hydraulischen Einzugsgebiets über Hauptsammler und deren angeschlossene Nebensammler, die somit die Stadtteilgrenzen definieren. Die im untersuchten Stadtgebiet vorhandenen Strukturen (vgl. Abbildung 2) sind Innenhöfe, Flachdächer, Schrebergärten, Gewerbeflächen, Parkanlagen und Straßen.

Abbildung 2: Strukturtypen im Untersuchungsgebiet



Der Bericht richtet sich vornehmlich an die Beteiligten in abwasserwirtschaftlichen und städtebaulichen Planungsabläufen. Darüber hinaus soll der Bericht weitere Forschung im Bereich urbaner Transformationsprozesse anstoßen.

1.2 Problemhintergrund

Ob die Ziele einer nachhaltigen Entwicklung erreicht werden und die Menschen künftig in einer gesunden und lebenswerten Umwelt leben können, entscheidet sich wesentlich in den Städten. Hier lebt eine zunehmende Mehrheit der Bevölkerung auf engem Raum und verbraucht den Großteil lebenswichtiger Ressourcen. Wissenschaft und Praxis sind sich darin einig, dass die urbanen Systeme in vieler Hinsicht einer substanziellen Umgestaltung (Transformation) bedürfen, um zentrale Ziele der nachhaltigen Entwicklung (insb. SDG Nr. 6, 7, 9, 11) zu erreichen. Der Klimawandel bringt dabei zusätzliche Herausforderungen und Anpassungserfordernisse mit sich, insbesondere hydrologischer und wasserwirtschaftlicher Art. Viele Städte werden sich sowohl auf stärkere Niederschläge als auch auf längere Dürrephasen und intensivere Hitzeperioden einstellen müssen.

Vor diesem Hintergrund gehört die Stadtentwässerung zu den Schlüsselbereichen einer ressourcenschonenden und klimaresilienten Stadtentwicklung. Die Entwässerungssysteme sollten so entwickelt werden, dass sie den gegensätzlichen hydraulischen Klimafolgen gewachsen sind und zugleich den gewandelten Ansprüchen des Umwelt- und Ressourcenschutzes sowie der urbanen Lebensqualität genügen. Die hergebrachten

kanalbasierten Ableitungssysteme sind dazu nur begrenzt in der Lage, und in der Fachwelt hat sich inzwischen die Einsicht durchgesetzt, dass die Städte in verstärktem Maße v.a. ihre Niederschlagsentwässerung auf dezentrale und multifunktionale "blau-grüne" Infrastrukturen (BGI) umstellen sollten, mit denen Starkniederschläge vor Ort zurückgehalten, gespeichert und versickert werden (DWA 2021; DiFU 2017; Hetzel 2019; Kluge, Libbe 2010; Libbe 2017; Sieker et al. 2009; Trapp, Winker 2020; Trapp et al. 2017). Dadurch können örtliche Wasserkreisläufe geschlossen, lokale Hitzrisiken reguliert, umweltschädliche Entlastungsüberläufe vermieden und nicht zuletzt die Aufenthaltsqualitäten in der Stadt verbessert werden. Schließlich bieten sich dezentrale Lösungen auch mit Blick auf Schmutzwasseranteile an und können u.a. in Kreislaufsysteme zur Bewässerung städtischer Grünflächen eingebunden werden.

Das in deutschen Städten vorrangig umgesetzte kanalbasierte Beseitigungskonzept für **Niederschlagswasser** zielt auf dessen schnellstmögliche Ableitung durch eine Mischkanalisation zur zentralen Kläranlage und die anschließende Einleitung in ein Gewässer außerhalb des städtischen Umfeldes. Dieser Ansatz entzieht das Wasser dem örtlichen Wasserkreislauf und somit der innerstädtischen Grundwasserneubildung und Verdunstung. Die Ableitung über Mischkanalisation ist außerdem Ursache für einen verstärkten Schadstoffeintrag in Gewässer, insb. durch Entlastungsüberläufe bei starken Niederschlägen. Bei starken Niederschlägen führen die Ableitungssysteme ferner zu erheblichen hydraulischen Belastungen der Einleitungsgewässer. Maßnahmen zur dezentralen Bewirtschaftung durch Techniken zur innerstädtischen Abflussvermeidung, -drosselung, -verzögerung und Versickerung (Prinzip: Schwamm-Stadt, Sponge-City) können erheblich dazu beitragen, die Ableitungssysteme zu entlasten oder zu ersetzen und die o.g. Nachteile zu vermeiden.

In Bezug auf das **Schmutzwasser** ist der Ansatz der kanalbasierten Sammlung und Behandlung durch zentrale Reinigungsanlagen lange etabliert und weltweit haben die Städte enorme Aufwendungen getätigt um Kanalnetze und Behandlungskapazitäten auszubauen. Deutschland kann im internationalen Vergleich einen hohen Anschlussgrad vorweisen, allerdings weisen die Kanalnetze der deutschen Städte vielerorts einen hohen Erneuerungsbedarf auf. Gerade auch in Anbetracht des Erneuerungsbedarfs stellt sich verstärkt auch für den städtischen Bestand die Frage, ob weiter in die zentralen Kanalsysteme investiert werden sollte oder vielmehr in einen Umbau der Infrastruktur auf dezentralen Lösungen. Zunehmend werden auch weitreichende Lösungen in Betracht gezogen bis hin zur vollständigen Abkopplung einzelner Teilgebiete und die dezentrale Behandlung und ggf. Wiederverwendung des gereinigten Abwassers sowie deren Inhaltsstoffe (Stoffstrom-Trennung).

In der Regel kommt für Bestandsanlagen keine unmittelbare und vollständige Abkopplung von der Kanalinfrastruktur in Betracht. Vielmehr kommt es darauf an, hybride Systeme zu entwickeln und die bestehenden Strukturen und dezentralen (Kreislauf-)Technologien „nachhaltigkeitseffizient“ und situationsadäquat zu verbinden. Gerade in der Verbindung von Bestand und dezentralen neuen Technologien liegt eine wesentliche Herausforderung des Transformationsprozesses, weil die systemischen Innovationen typischerweise in eine vorhandene, äußerst langlebige, grundsätzlich erhaltenswerte und prinzipiell bewährte Bestandsstruktur hinein erfolgen muss.

1.3 Stand der Forschung und Entwicklung

Forschung und Entwicklung zur „blau-grünen“ Transformation der Städte stehen nicht am Anfang. Wenngleich die Entwicklung naturbasierter Kreislauftechnologien weiterhin dynamisch voranschreitet, ist festzustellen, dass die benötigten Einzelkomponenten der dezentralen Wasserkreislaufführung großteils bereits auf Technology Readiness Level (TRL) 9 vorhanden

sind und die zentrale Herausforderung heute darin liegt, diese Komponenten mit den vorhandenen Infrastrukturen zu Systemlösungen zu verbinden, die die vielfältigen Anforderungen namentlich der Entwässerungssicherheit und des Entwässerungskomforts, des Umweltschutzes und der Verkehrssicherheit, der Multifunktionalität mit Blick auf „grüne“ und sonstige Nutzungen sowie der Finanzierbarkeit und Akzeptanz erfüllen und ggf. transitiv konzipiert sind, d.h. in der Perspektive eines langfristigen weitergehenden Infrastrukturaumbaus stehen. Auch zu diesem Herausforderungskomplex der „Systementwicklung“ sind in Deutschland und im Ausland Modellforschungen unternommen worden, die die Beiträge dieses Projektes vielfältig aufgreifen konnten. Den Stand der Forschung und Entwicklung in Deutschland prägen insb.

- **die Projekte des Verbunds „NetWORKS“**, insb. der Projektphase NetWORKS-3 (BMBF 2014), die darauf abzielt, Kommunen und Wasserwirtschaft bei der Umsetzung neuartiger Systemlösungen zu unterstützen und zu diesem Zweck die Potenziale und Grenzen der intelligenten Nutzung und Umgestaltung von Wasserinfrastruktur abgeschätzt. Ähnlich dem hiesigen Vorhaben, wurden in zwei Modellregionen, Frankfurt a.M. und Hamburg, auf Quartiersebene Systemlösungen simuliert, bewertet und umgesetzt, um diese für die Standardanwendung vorzubereiten. Allerdings bezogen sich diese Forschungen in erster Linie auf Neubau-Quartiere, und weniger auf Bestandslagen, die im Fokus des vorliegenden Projektes stehen. Es liegt auf der Hand, dass die Integration in den Infrastruktur- und Nutzungsbestand und die „Umbauperspektive“ mit vielfältigen besonderen Fragestellungen und Herausforderungen verbunden sind. NetWORKS zeichnet sich u.a. dadurch aus, dass das Projekt auch Aspekte der organisatorischen und rechtlichen Umsetzung betrachtet und auch insoweit wichtige Grundlagen für das hier vorgestellte Vorhaben geleistet hat.
- **das Verbundprojekt KURAS** (Konzepte für eine urbane Regenwasserbewirtschaftung und Abwassersystem), in dem am Beispiel ausgewählter Stadtflächen in Berlin modellhaft untersucht wurde, wie durch viele im Stadtgebiet verteilte Maßnahmen der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung (z. B. Gründächer, Versickerungsmulden, Teiche und auch klassische Regenspeicher) die Kanalisation entlastet und das Stadtklima verbessert werden können.
- **Im Projekt MURIEL** setzte sich zum Ziel, die Bedenken und Hemmnisse gegenüber multifunktionalen Flächennutzungen als Bestandteil des urbanen Überflutungsschutzes zu identifizieren und möglichst auszuräumen. Dafür wurden unter anderem geeignete Planungsmethoden beschrieben und die Synergieeffekte multifunktionaler Retentionsräume verständlich zusammengeführt.
- Auch im **Projekt SAMUWA** wurden Planungsinstrumente entwickelt, welche die Siedlungsentwässerung mit der Stadtentwicklungs- und Freiraumplanung verknüpfen und dabei auch Wechselwirkungen mit dem natürlichen Wasserhaushalt berücksichtigen.
- **Zahlreiche Einzelstudien zu Teilfragen** der dezentralen Niederschlags- und Abwasserbewirtschaftung, die an dieser Stelle nur beispielhaft zitiert werden können (Dickhaupt 2018; Sieker et al., 2019), und an die die (Fort-) Entwicklung von Systemlösungen und Methoden der Potenzial- und Wirkungsanalyse in vieler Hinsicht anknüpfen kann.
- **Die einschlägigen Arbeits- und Merkblätter der DWA**, deren zuständige Gremien die sich seit geraumer Zeit auch um strukturierte Erläuterung und Weiterentwicklung des

Technikstands zum dezentralen Regenwassermanagement bemühen (DWA-A 100; DWA-A 102; DWA-M 153; DWA-A 138).

2 Auswirkungen der Klimaänderungen auf den Betrieb der öffentlichen Kanalisation

2.1 Anforderungen an die zentrale Abwasserbewirtschaftung im städtischen Raum – am Beispiel der Stadt Leipzig

Die zentralen Abwassersysteme in den deutschen Städten sind historisch gewachsen. Ihre Errichtung erfolgte im Regelfall im Zuge der Expansion der Städte. Dementsprechend finden sich in Leipzig, z. B. in den bestehenden Gründerzeitvierteln, Kanäle mit einem vergleichbaren Alter von über 100 Jahren. Sie sind äußerst langlebig und verkörpern hohe Vermögenswerte. Für die Betreiber dieser Anlagen besteht die Aufgabe, die Funktionsfähigkeit sowie einen akzeptablen Zustand der Netze auch für nachfolgende Generationen zu gewährleisten.

Dazu erfolgt eine regelmäßige Einschätzung der baulichen Substanz der Kanalisation im Rahmen der Zustandserfassung (u. a. optische Inspektion) sowie einer sich anschließenden Zustandsklassifizierung nach DWA-Regelwerk. Die dabei ermittelten baulichen Defizite können u. a. in die Teilbereiche Standsicherheit, Dichtigkeit und Betriebsfähigkeit differenziert werden.

Basierend auf der baulichen Zustandsbewertung sowie der ergänzenden Überprüfung auf hydraulische Schwachstellen im Netz sowie den Betrachtungen zu den eingeleiteten Schmutzfrachten erfolgt die Erarbeitung einer gesamtheitlichen Kanalsanierungsstrategie entsprechend dem Arbeitsblatt DWA-A 143-14 (DWA-A 143-14, 2017). Entsprechend den jeweiligen ortstypischen Besonderheiten, der spezifischen Netzphilosophie der Betreiber sowie den zur Verfügung stehenden finanziellen Mitteln unterscheiden sich die angewandten Kanalsanierungsstrategien in den Unternehmen erheblich. Grundsätzlich stehen jedoch folgende Kernfragen im Mittelpunkt:

- Wann sollte eine einzelne Haltung saniert werden und welches Sanierungsverfahren kommt zur Anwendung?
- Wie lange kann eine Haltung wirtschaftlich repariert werden?
- Welches Sanierungsverfahren ist das Wirtschaftlichste für eine Haltung?
- Was kosten die Sanierung des ganzen Netzes?

Die praktische Ausgestaltung der Instandhaltung der Kanalisation ist die mit Abstand wichtigste Aufgabe der Netzbetreiber. Dabei sind die zahlreichen (auch perspektivischen) Veränderungen bei den natürlichen, rechtlichen, technischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen zu berücksichtigen. Beispielhaft sind zu nennen:

- überproportional steigende Strompreise,
- steigende Anforderungen an die Abwasserreinigung (u. a. 4. Reinigungsstufe),
- steigende Anforderungen an die Nährstoffrückgewinnung (u.a. Monoverbrennung),
- Neufassung der Abwasserabgabegesetze,
- stark sinkende Bevölkerung in einigen Gebieten.

Die o. g. Einflüsse wirken in ihrer Gesamtheit auf die Netzbetreiber ein. Sie bilden ein Szenario, das in der Summe bewertet und bewältigt werden muss. Untersuchungen der DWA-Arbeitsgruppe WI-1.3 „Wirtschaftliche Auswirkungen struktureller Veränderungen“ anhand eines repräsentativen Beispielunternehmens zeigen, dass je nach Szenario und gewählter

Struktur sich deutlich divergierende Kostenentwicklungen ergeben können. Im ungünstigsten Fall können innerhalb von 30 Jahren einwohnerspezifische Kostensteigerungen um 82 % eintreten [Wirtschaftliche Auswirkungen sich überlagernder Entwicklungstrends auf Abwasserentsorgungsunternehmen, Jens Tränckner, Torsten Franz, Torsten Frehmann, Rüdiger Jathe, Andreas Obermayer, Uwe Winkler; KA Korrespondenz Abwasser, Abfall · 2014 (61) · Nr. 9].

In den letzten Jahren sind zusätzlich zu den o.g. Aspekten insbesondere die Auswirkungen der klimatischen Veränderungen noch stärker in den Fokus der Betrachtung gerückt. Durch die höheren Temperaturen im Sommer und die langen Trockenperioden steigen auch die Gewässertemperaturen und es kommt zu ausgedehnten Phasen mit Niedrigwasserständen in den Gewässern. Beide Effekte wirken sich auf die Selbstreinigungsfähigkeit der Gewässer aus. Damit sinken ggf. die möglichen Einleitungen in die Gewässer aus Misch- und Regenwasserleitungen bzw. es werden wesentlich höhere Anforderungen an die Vorreinigung gestellt. Damit verbunden sind hohe Kosten für zusätzliche Rückhaltungen/ Reinigungen.

Die erwarteten häufigeren Starkniederschläge (insbesondere in den Sommermonaten) führen zu einer weiteren Verschärfung der Situation, da das Wasser aufgrund der hohen Intensität nur in einem geringen Umfang zur Grundwasserneubildung beiträgt. Der Niederschlag fließt relativ schnell auf der Oberfläche ab, was mit häufigeren urbanen Überflutungen u.a. von Kellern, Straßen, Unterführungen sowie umfangreichen Einleitungen in die Gewässer einhergeht. Die Gewässereinleitungen sind von hoher Intensität (große Mengen in kurzen Zeiträumen) und i.d.R. stark verschmutzt. Insgesamt ist festzuhalten, dass das Spektrum zwischen Niedrig- und Hochwasserführungen in stark siedlungsgeprägten Bereichen deutlich ausgeprägter gegenüber naturräumlichen Gebieten ist.

Für die Betreiber von abwassertechnischen Anlagen ergibt sich daraus die Aufgabe, sich langfristig mit den möglichen Auswirkungen der o. g. veränderten Rahmenbedingungen zu beschäftigen. Dabei ist insbesondere die Summe der Maßnahmen angemessen in den Focus zu stellen. Keinesfalls ist es zielführend, nur auf wichtige Teilaspekte wie zum Beispiel den Klimawandel abzustellen. Dies bedeutet insbesondere auch, dass Alternativen zum zentralen System der Abwasserbeseitigung bei jeder Maßnahme geprüft werden müssen.

2.2 Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Mischwasserkanalisation

Die allgemeinen Trends bei den Veränderungen des Klimas und der daraus resultierenden Notwendigkeit von Anpassungsstrategien wurden bereits aufgezeigt. Nachfolgend wird primär Bezug auf die konkreten Auswirkungen bei der Instandhaltung der Kanalisation genommen. Es werden insbesondere die Konsequenzen

- heißer und trockener Sommer (z. B. 2018 und 2019),
- der Verschiebung der Niederschläge aus den Vegetationsperioden in die Wintermonate,
- der ggf. perspektivischen Zunahme von Starkregenereignissen

betrachtet.

Für die Leipziger Kanalisation ist im innerstädtischen Bereich eine Entwässerung im Mischsystem typisch, während in den nach 1989 neu erschlossenen Industrie-, Gewerbe- und

Wohngebieten die Trennkanalisation überwiegt. Nachfolgend wird ausschließlich auf den Mischwasserbereich Bezug genommen. Es werden dabei die Themenfelder der Ablagerungen im Kanalnetz sowie die Mischwasserrückhaltung thematisiert.

Die Mischwasserkanalisation muss ihre Funktion sowohl im Trocken- als auch im Regenwetterfall erfüllen. Dementsprechend sind perspektivische Veränderungen immer mit ihren möglichen Auswirkungen sowohl im unteren als auch im oberen Nutzungsbereich zu betrachten.

Ablagerungen von Feststoffen im Kanalnetz

In Leipzig wird der Trockenwetteranfall unabhängig von dem starken Wachstum der Stadt in den letzten Jahren durch den geringen industriellen Anteil bei den Einleitungen in Kombination mit relativ niedrigen einwohnerspezifischen Abwassermengen geprägt. Bei konstanten baulichen Verhältnissen führten diese Umstände zu verringerten Fließgeschwindigkeiten im Vergleich zum langjährigen Betrieb vor 1989. Im Zusammenhang mit der Betriebsoptimierung im Leipziger Kanalnetz sowie der Ermittlung von möglichst ablagerungsfreien Bereichen zur Anordnung von Wärmetauschern in der Kanalisation wurden detaillierte Untersuchungen im Auftrag der Leipziger Wasserwerke durchgeführt auf deren Ergebnisse nachfolgend ohne weiten Quellenbezug umfassend Bezug genommen wird [Tränckner, Jens, Stapel, Christine, Klassifizierung des Ablagerungsrisikos im Kanalnetz der Stadt Leipzig, Studie LWW/ Uni Rostock, 2016, unveröffentlicht]. Ausgangspunkt dafür waren die typischen Quellen für den Eintrag von Feststoffen in die Kanalisation, die in der Tabelle 1 enthalten sind.

Tabelle 1: Eintrag von Feststoffen in die Kanalisation

Quelle	Oberflächen		Haushalt, Industrie		Fremdwasser	
		Straßen, Dächer, Parkplätze, Hof. Und Grünflächen		Schmutzwasser		Grundwasser, Drainagewasser Oberflächenwasser
Eintragsmechanismus	TW: Straßenverkehr, diffuse Quellen		Schmutzwasserabfluss		Undichtigkeiten, Einleitung, Niederschlagsabfluss	
	RW: Abspülung Lösung					
Art der Feststoffe	anorganisch	organisch	organisch	anorganisch	anorganisch	organisch
	Staub, Sand, Splitt,	Pollen, Kot, Laub	Fäkalien, Papier, Küchenabfälle, Textilfasern	Sand, Bauschutt	Bodenmaterial, Staub, Sand, Splitt	Laub, Äste, Gras
	Straßenabfall				Straßenabfall	

Voraussetzung für die Bildung von Ablagerungen im Kanalnetz sind bestimmte Bedingungen, wobei bei den Ursachen in drei grundsätzliche Gruppen unterschieden werden kann:

- durchflussbedingte Ablagerungen: permanente oder tageszeitlich/saisonal bedingte geringe Durchflüsse,

- hydraulisch-konstruktiv bedingte Ablagerungen: aufgrund von Abflusshindernissen, zu geringem Gefälle, ungünstigen Fließquerschnitten,
- Ablagerungen infolge der spezifischen Abwasserzusammensetzung: spezifisch schwere Partikel (Sand, Splitt, Baustoffreste etc.), erhärtende Fette usw.

Mit Bezug auf den Klimawandel sind die Effekte der Ausdehnung der Phasen längerer Trockenheit mit verringerten Spülintervallen durch Niederschläge in den Mischsystemen relevant. Dabei ist in den Trockenwetterphasen in einem zunehmenden Umfang mit abgelagerten mineralischen Bestandteilen aus Fremdwasser sowie Haushalt und Industrie zu rechnen. Hinzu kommen auch organische Ablagerungen, die infolge der stofflichen Umsetzung von organischen Kanalbestandteilen u.a. zu Geruchs- und Korrosionsproblemen führen können.

Bei Starkregenereignissen kommt es zum Abtrag von mineralischen Bestandteilen (z. B. Feinsande, Kiese) von den unbefestigten (u.a. Felder, Brachflächen) sowie den befestigten Oberflächen (u.a. Straßen, Gehwegen, Hofflächen). Diese werden zum Teil in großen Mengen über die Straßeneinläufe in die Kanalisation eingetragen. Aufgrund der Größe und des Gewichts werden die größeren mineralischen Partikel primär als Geschiebe auf der Sohle im Kanalnetz transportiert und nicht als Spülfracht/ Suspensa wie die meisten organischen Bestandteile. Insbesondere bei Starkregen mit einer kurzen Dauer und hoher Intensität sowie einer zum Teil auch räumlich begrenzten Überregnung kann daher das eingetragene Material ggf. nicht bis zu einem definierten Austragspunkt (z.B. Geröllfang im Kanalnetz, Sandfang der Kläranlage) transportiert werden. Dies zeigt sich u.a. an den festgestellten Kornfraktionen von Ablagerungen im Bereich der Kläranlage Rosental im Leipziger Netz, wo die Feststoffgröße zwischen 4 und 6,3 mm im Gegensatz zu den Untersuchungen im Kanalnetz nicht mehr nachgewiesen werden konnte. Die Remobilisierung der abgelagerten Bestandteile erfolgt im Kanalnetz, sofern die erforderlichen Schubspannungen im Kanalnetz bezogen auf eine bestimmte Korngröße überschritten werden. Grundsätzlich ist aus betrieblicher (idealer) Sicht anzustreben, dass die abgelagerten Bestandteile vollständig remobilisiert werden. Zur Überprüfung können neben den Ansätzen des DWA Arbeitsblattes DWA-A 110 (DWA-A 110, 2006) auch spezifische Nachrechnungen unter Ansatz der reinen Trockenwettermengen sowie von statistisch ausgewerteten Regenereignissen (z. B. 3-jähriger Regen) auf der Basis von Schleppspannungen durchgeführt werden. Die Bewertung erfolgt anhand von Gefährdungsklassen (1 – keine Gefährdung, 5 – sehr hohe Gefährdung) die eine örtliche Einschätzung des Ablagerungsrisikos gestatten. Dabei ist zu berücksichtigen, dass statistisch seltenere Regenereignisse nicht zwangsläufig zu signifikant höheren Schubspannungen führen. Vielmehr nehmen diese nach dem Erreichen der Vollfüllung nur noch bei erhöhten Druckdifferenzen zu. Darüber hinaus wird der Zufluss auch durch die geringe Dimensionierung der Straßeneinläufe (1-jährige Regen), der teilweisen Verlegung durch Laub und Straßenkehricht sowie die Verteilungen an der Oberfläche (Überflutungen) praktisch gebremst. In vielen Fällen stellen sich zudem Rückstaubereiche (z. B. durch nicht ausreichend dimensionierte Kanalquerschnitte oder Zusammenflüsse) sowie durch gezielte Kanalnetzsteuerungen ein die zu geringeren Fließgeschwindigkeiten und damit Schubspannungen führen.

Bauliche Maßnahmen zur Vermeidung von Ablagerungen im bestehenden Kanalnetz sind häufig schwierig umzusetzen. Der Einsatz veränderter Profile (z. B. Ei-Profile, Profile mit Trockenwetterrinne), Gefälleänderungen sowie Reduzierungen von Nennweiten sind aufgrund der vielfach hohen hydraulischen Auslastungen und der örtlichen Einbindungen im

Gesamtsystem nicht ohne weiteres möglich. Sie führen zudem zu Einschränkungen bei den wählbaren Sanierungsverfahren, da eine Anwendung von Reparatur- oder Renovierungsverfahren nicht möglich ist. Dies kann zu signifikanten Kostensteigerungen führen. Von Ablagerungen betroffen sind primär kleinere Kanalquerschnitte, die einen geringen hydraulischen Radius aufweisen und/ oder kleine Querschnitte in Kombination mit einem geringen Gefälle oder Durchfluss (z. B. Endstränge). Häufig finden sich diese besonders in den Außenbereichen. Die regelmäßige Reinigung kleiner Querschnitte ist in der Regel kostengünstig, so dass auch hier bauliche Maßnahmen im Regelfall unterbleiben.

Auch mit der prognostizierten Zunahme der Starkregenereignisse ist mit dem verstärkten Eintrag von unerwünschten mineralischen Bestandteilen in das Kanalnetz zu rechnen. Dies gilt insbesondere in Entwässerungs-(teil)gebieten deren Oberflächen/ Böden eine hohe Kritikalität gegenüber einer Bodenerosion durch Wasser aufweisen. Gefährdet sind primär Bereiche mit ausgeprägtem Gefälle mit allen Arten von unbefestigten Oberflächen oder Böden mit einem hohen Schluffanteil. In Einzelfällen werden z.B. Straßen in einem größeren Umfang mit Erde überflutet, die dann in die Kanalisation eingetragen wird. Zur Ermittlung betroffener Bereiche kann auf die betrieblichen Beobachtungen/ Beschwerden von Anwohnern zurückgegriffen werden. Darüber hinaus bietet die Durchführung von Starkregensimulationen die Möglichkeit die relevanten Fließwege auf der Oberfläche sowie die sich ergebenden Einleitpunkte in die Kanalisation nachzuvollziehen. Maßnahmen (z. B. Abkoppelungen, Befestigungen von Flächen durch Bewuchs) können entsprechend frühzeitig, zielgerichtet und präventiv ergriffen werden.

Mischwasserrückhaltungen im Kanalnetz

Im Entwässerungsgebiet des Leipziger Kanalnetzes war in den letzten Jahren ein starkes Bevölkerungswachstum verbunden mit einem entsprechenden Zuwachs bei den eingeleiteten Frachten zu verzeichnen. Während bei größeren Neubaumaßnahmen das Niederschlagswasser häufig bereits durch die Realisierung dezentraler Konzepte zurückgehalten wurde, führten die zahlreichen Nachverdichtungen (insbesondere nach §34 BauGB) zu einer zunehmenden Flächenversiegelung und damit zu erhöhten abzuleitenden Niederschlagsmengen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass mit einer dichteren Bebauung die Anteile der Verdunstung und der Versickerung der statistisch häufigen Niederschläge im Boden zurückgehen und die Oberflächenabflüsse ansteigen. Diese können bei einem unveränderten Ableitungssystem nicht adäquat aufgenommen werden und führen zwangsläufig zu einer Erhöhung der eingeleiteten Mischwassermengen und Schmutzfrachten in die Gewässer.

Durch den Klimawandel werden aufgrund der schwächeren Vorfluter bei längeren Niedrigwasserphasen und höheren Temperaturen im Sommer die hydraulischen und stofflichen Anforderungen für die Erteilung einer Einleitung in die Gewässer und damit die Kosten für die zentralen Systeme der Niederschlagswasserentsorgung ggf. weiter steigen. Das betrifft insbesondere den Bau von Rückhalte- und Behandlungsanlagen. Hinzu kommt nach den Regelwerkänderungen der DWA ab 2021 eine Differenzierung von Flächen nach dem Grad der Verschmutzung. Daraus ergeben sich neue Anforderungen und Schwerpunkte für die Art und den Umfang der notwendigen Reinigung des Abwassers.

Zur Gegensteuerung bzw. zur Herstellung der grundsätzlichen Genehmigungsfähigkeit wurde ein Generalentwässerungsplan für die Stadt Leipzig unter Berücksichtigung der Ausbaukonzeption des Klärwerkes aufgestellt. Dessen Kernkomponenten beinhalten neben der

punktuellen Vergrößerung der Ableitungsfähigkeit/ des Stauraumvolumens von Kanälen auch die Schaffung von neuen Becken im System.

Die hydraulische Sanierung der Kanäle ist in vielen Fällen durch die erforderlichen vergrößerten Nennweiten zwangsläufig mit einer Erneuerung in offener Bauweise verbunden. Der Einsatz kostengünstiger Sanierungsverfahren in geschlossener Bauweise (z. B. Schlauchliner) kann dann nicht erfolgen. Insbesondere bei Tiefenlagen > 2,5 m, bei denen die Sanierungsverfahren in geschlossener Bauweise zunehmende wirtschaftliche Vorteile aufweisen, kommt es zu deutlichen Mehrkosten. Ein Austausch von Sondergroßprofilen im innerstädtischen Raum, ggf. noch in relativer Nähe zu Gewässern, ist in der Praxis aus wirtschaftlichen Gründen bei Preisen bis 5.000 €/ m im Extremfall kaum noch realisierbar.

Die Anordnung von Becken richtet sich dabei nach den hydraulischen Gesichtspunkten, den Aspekten der Schmutzfrachtberechnungen und den Einleitbedingungen der Gewässer (z. B. maximal Einleitmenge). Dieses zentrale Konzept führt neben extrem hohen Kosten für die Realisierung in innerstädtischen Lagen (u.a. Grundstückspreise und Baukosten) insbesondere auch zu Schwierigkeiten der Anordnung. Die erforderlichen Flächen für zusätzliche Rückhaltevolumina unterliegen einer starken Flächenkonkurrenz, bzw. befinden sich im Privatbesitz und stehen damit u. U. nur nach aufwändigen Abstimmungen und langen Zeiträumen zur Verfügung. Teilweise ist keine Realisierung bzw. nicht an den optimalen Standorten möglich.

Die zentrale Ableitung im Mischsystem erfordert zudem sehr häufig den Umbau bzw. auch die Neuerrichtung der Einleitstellen die aufgrund ihres zumeist fortgeschrittenen Alters in der baulichen Konstruktion sowie der hydraulischen Wirkungsweise nicht mehr den aktuellen Regelwerksvorgaben und damit den wasserrechtlichen Anforderungen genügen. An den Einleitstellen in die Gewässer werden auch Grobstoffe bzw. größere Rechengutstoffe an den Mischwasserauslässen in die Gewässer abgegeben. Diese Einleitungen von Rechengut usw. sind gegenwärtig nicht durch wasserrechtlich relevante Parameter limitiert, die sich auf den guten chemischen oder biologischen Zustand der Gewässer auswirken. Unabhängig davon führen die Einleitungen zu Problemen bei der Akzeptanz bei der Bevölkerung, da die siedlungswasserwirtschaftlichen Reststoffe (z. B. Hygieneartikelreste, Faserstoffe) in den Gewässern mit starken optischen und ästhetischen Beeinträchtigungen einhergehen. Gleichzeitig ist die Anordnung von Rechen an den Einleitstellen grundsätzlich mit einem hohen finanziellen und betrieblichen Aufwand verbunden. Beispielweise ist bei größeren Anlagen häufig ein Stromanschluss und für Wartungsarbeiten Zuwegungen direkt an die Gewässer erforderlich. Gegenwärtig werden Rechen insbesondere bei anstehenden Instandsetzungsarbeiten am Kanalnetz nachgerüstet. Kriterien sind dabei die Größe der Einleitstellen sowie die Bewertung von sensiblen Stellen (z. B. für Publikumsverkehr).

In der Summe ist festzuhalten, dass die Instandsetzung des zentralen Systems der Mischwasserkanalisation mit sehr hohen Aufwendungen verbunden ist. Im Zeitraum von 20 Jahren wird gegenwärtig bei den Leipziger Wasserwerken ein finanzieller Bedarf für

- | | |
|--|-----------------------|
| • die hydraulische Kanalnetzsanierung | ca. 100 Mio. € |
| • zusätzliche Retentionsvolumen | ca. 80 Mio. € |
| • den Sanierungsbedarf an Einleitstellen | <u>ca. 60 Mio. €</u> |
| | ca. 240 Mio. € |

veranschlagt. Im großstädtischen Bereich kommt zudem die Diskussion über eine weitergehende Spurenstoffelimination in den Kläranlagen hinzu. Die Kosten belaufen sich im Klärwerk Rosental auf ca. 50 Mio. € für die Nachrüstung der technischen Anlagen. Hinzu kommen die Betriebskosten pro m³ gereinigtes Abwasser. Hier gilt es eine sinnvolle Fokussierung unter Berücksichtigung eines optimalen Einsatzes der verfügbaren finanziellen Mittel anzustreben.

Es ist festzustellen, dass das zentrale System ohne grundlegende Strukturänderungen zukünftig deutlich ausgebaut werden muss, was mit hohen Kosten verbunden ist. **Es ist daher sowohl technisch als auch ökonomisch notwendig, dezentrale Alternativen im Bereich der Niederschlagswasserentsorgung in Betracht zu ziehen.** Durch die dezentralen Maßnahmen kann eine deutliche stoffliche und auch hydraulische Entlastung des o.g. zentralen Systems erreicht werden. Die hydraulischen Entlastungen gestatten im Kanalnetz u.a. den verstärkten Einsatz von Sanierungen mittels Schlauchliner oder Rohrzug. Diese können in geschlossener Bauweise äußerst kostengünstig direkt in die Altrohrsysteme eingezogen werden, eine komplette Öffnung der Straße ist dabei nicht erforderlich. Im Ergebnis werden aufwändige und zudem sehr langwierige Sperrungen vermieden. Darüber hinaus ermöglichen die dezentralen Systeme auch die deutliche Reduzierung von Rückhalte- bzw. Behandlungsanlagen im Kanalnetz sowie eine Entlastung der Kläranlagen (u.a. Hydraulik, weniger Tage mit Mischwasserzufluss). Außerdem werden Reduzierungen bei den Betriebskosten möglich (u.a. für Hebungen, Schlamm Entsorgung). Im Ergebnis werden sich auch positive ökologische Effekte im Hinblick auf die geringeren eingeleiteten Schmutzfrachten in die Gewässer einstellen.

Der schlussendliche Budgetbedarf für die Sanierung des zentralen Systems wird davon abhängen, ob es gelingt, die Zunahme der in die Kanalisation eingeleiteten Wassermengen durch dezentrale Maßnahmen zu begrenzen bzw. perspektivisch zu reduzieren. Dies gilt insbesondere bei den höheren hydraulischen Belastungen durch Bebauungsverdichtung und Flächenversiegelung.

3 Modellhafte Auswahl integrativer Regenwasser-Managementkonzepte

Zur Beantwortung der Frage, ob und in welchem Umfang es sich für einzelne Stadtgebiete empfiehlt die hergebrachten Abwassersysteme durch ortsnaher blau-grüne Technologien zu ergänzen oder zu ersetzen, wurde in einem ersten Software-gestützten Schritt eine Szenarien-basierte Potentialanalyse für ein dezentrales Niederschlagswassermanagement im Stadtteil „Leipzig-Nord“ durchgeführt. In dieser idealisierten Potentialanalyse werden die komplexen Rahmendaten zunächst nicht berücksichtigt, um frühzeitige Einschränkungen der Dezentralisierung des Niederschlagsmanagements zu vermeiden, um so eine erste Strukturierung und Rahmensetzung im Entscheidungsfindungsprozess zu ermöglichen.

3.1 Modellansatz zur Potentialanalyse

Abbildung 3: Der "MUST-B"-Ansatz

Management of Urban Stormwater at Block-level

MUST-B



- Häuserblock-Ebene als kleinste funktionelle Einheit der urbanen Bewirtschaftung von Niederschlagswasser
- Vermeidung/Minimierung des Transportes von Regenwasser in der Stadt (kein neuer Leitungsbau z.B. zur Querung von Straßen)
- Niederschläge verbleiben auf Blockebene
- Up-scaling durch manuelle oder automatisierte Software-gebundene Block-Aggregation

Der Modellansatz geht von der Hypothese aus, dass nicht nur für Neubauvorhaben, sondern auch zur Transformation der urbanen Entwässerungsinfrastruktur im Bestand Maßnahmen zur Vermeidung und Verminderung des Niederschlagsabflusses und seiner Belastung von hoher Priorität sind.

Die hier vorgestellte Potenzialanalyse ermöglicht eine erste Abschätzung dieser Transformationskapazität hin zu einer dezentralen Bewirtschaftung von Niederschlagswasser. Dabei verfolgt sie den s.g. „MUST-B“-Ansatz, der das maximale Potential zur Bewirtschaftung des Niederschlagswassers durch dezentrale Anlagen auf Häuserblockebene ermittelt. Ein

Häuserblock wird hier als ein innerstädtisches bebauter Areal definiert, das von Verkehrswegen (Straßen, Gleise, Fluss) umschlossen ist (siehe Abbildung 4). Dabei wird idealisiert eine vollständige Vermeidung des Transportes/Exportes von Niederschlagswasser außerhalb der Blockgrenze z.B. durch existierende Kanalnetze oder neue Rohrleitungen zur Straßenquerung angestrebt. Verkehrsflächen werden von der Analyse ausgeschlossen, da sie eine wichtige Funktion in den traditionellen städtischen Entwässerungsinfrastrukturen erfüllen und die Niederschlagsentwässerung von Verkehrsflächen besonderen Restriktionen für die Versickerung in den Untergrund unterliegt (BMVBW 2005).

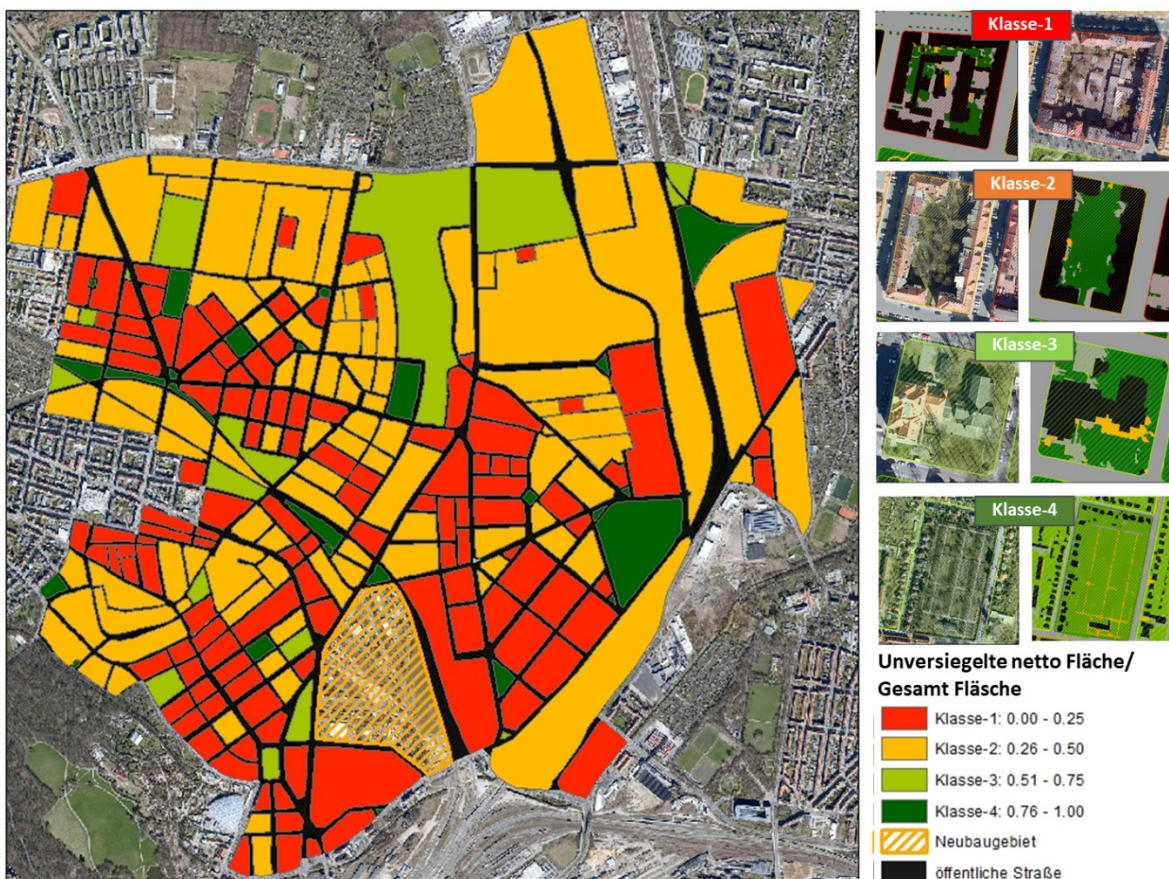
Der wesentliche Vorteil des MUST-B-Modells auf Häuserblockebene besteht darin, dass er sowohl auf kleiner Skala wie dem Quartier anwendbar ist, als auch schnell durch Aggregation der Blockmodule auf große urbane Räume übertragen werden kann. Dabei werden für jeden Block der Versiegelungsgrad (Flächenverfügbarkeit) und die Beschaffenheit des Untergrundes (Durchlässigkeit) als wesentliche Grundlagen für die Dimensionierung der blau-grünen

Technologien zum Niederschlagsmanagement herangezogen. Eine Klassifizierung der Häuserblocks nach Versiegelungsgrad ist in der Abbildung 4 exemplarisch für den Stadtteil „Leipzig-Nord“ dargestellt.

Außerdem ist der „MUST-B“ Ansatz so konzipiert, dass eine Übertragung auf andere Kommunen durch einfache Eingangsdaten möglich ist (siehe Kapitel 3.3).

In Bezug auf den räumlich definierten Stadtteil „Leipzig-Nord“ wurde der „MUST-B“ Ansatz zur Modellierung der Niederschlagsentwässerung in 270 einzelnen Häuserblocks exemplarisch eingesetzt. Dabei wurde der Versiegelungsgrad jedes Blockes individuell berücksichtigt. Der Versiegelungsgrad ist dabei definiert als das Verhältnis von unversiegelter Fläche zu Gesamtfläche. Zur Visualisierung und wie in Abbildung 4 dargestellt, wurde die Versiegelungssituation auf Häuserblockebene für den Stadtteil in Klassen unterteilt.

Abbildung 4: Häuserblocks und Versiegelungsklassen im untersuchten Stadtteil „Leipzig-Nord“ (Versiegelungsklassen in % der unversiegelten Fläche von der Gesamtfläche)



3.2 Szenariendefinition

Die Szenarien zur Abschätzung der Transformationskapazität hin zu einer dezentralen Bewirtschaftung von Niederschlagswasser im Bestand wurden sukzessive ausgearbeitet und entwickelt. Als Basislinie für die Bewertung der simulierten Maßnahmen zum dezentralen Niederschlagsmanagement wurde die "Ist-Situation" im Szenario 0 für jeden Häuserblock abgebildet. Dies ermöglicht im direkten Vergleich eine Abschätzung der Plausibilität der Simulationsergebnisse sowie eine Quantifizierung des Wirkungsgrades der betrachteten dezentralen Infrastrukturen auf Block-Ebene.

In den Szenarien 1 bis 7 wurden Versickerungsanlagen entweder als einzelne Komponente oder in Kombination für die Bewirtschaftung von Niederschlagswasser auf Häuserblockebene betrachtet. Die technischen Spezifikationen der Anlagentypen zur Simulation der Regenwasserbewirtschaftung sind schematisch in Abbildung 5 dargestellt und wurden aus der DWA-A 138 (2005) übernommen. Ein Vergleich unterschiedlicher, oft Hersteller spezifischer technologischer Varianten eines Anlagentyps wurde zur Vermeidung von Unschärfen bei der Vergleichbarkeit unterschiedlicher Systeme im Rahmen dieser Studie nicht durchgeführt. Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass der Flächenbedarf (Kapitel 3.6) und auch die Kosten (Kapitel 3.7) stark vom technischen Design abhängen, so hat z.B. das verwendete Füllmaterial für Rigolen (Kies oder Kunststofffüllkörper) einen direkten Einfluss auf das Retentionsvolumen und damit die benötigte Fläche der Anlage. Das gleiche trifft auf Technikvarianten für Mulden und Rigolen mit unterschiedlicher Bauwerkshöhe (Tiefe) zu.

Szenario 1: Flächenversickerung (a)

Bei der Flächenversickerung wird das Niederschlagswasser von der befestigten Fläche eines Häuserblocks abgeführt und **gleichmäßig** auf eine unversiegelte Fläche (z.B. Innenhof) verteilt, wo es flächenhaft versickert. Hierbei wird das Niederschlagswasser über die vegetative Bodenschicht geführt und dadurch gefiltert (DWA-A 138). Diese Art der Versickerung erfordert eine sehr gute Durchlässigkeit des Bodens und hat einen hohen Flächenbedarf, da sie nahezu kein Retentionsvermögen bietet.

Szenario 2: Muldenversickerung (b)

Bei diesem Szenario wird der Oberflächenabfluss auf Block-Ebene in einer ca. 30 cm tiefen Mulde gesammelt und dort in einer vegetativen Bodenschicht versickert. Die Mulde wird dabei als Retentionsraum (300 L/m^2) genutzt, der den Flächenbedarf der Infrastruktur im Vergleich zur Flächenversickerung deutlich reduziert.

Szenario 3: Rigolenversickerung (c)

Eine Rigolenversickerung dient dazu, das Regenwasser von der versiegelten Fläche in einem unterirdischen Retentionsraum zu sammeln und dort zu versickern. Der Rigolenkörper besteht in der Regel aus Kies oder Kunststoff-Füllkörper. Für die Modellierung wurden eine konventionelle Kiesschüttung und eine Bauwerkshöhe von 1 m angenommen, wodurch eine effektive Rückhaltekapazität von ca. 35% des Rigolenvolumens oder ein effektives Retentionsvolumen von 350 L/m^2 erreicht wird. Da bei der Rigolenversickerung eine Reinigung des Oberflächenabflusses (z.B. von Parkflächen) durch eine Oberbodenpassage nicht erfolgt, ist eine mechanische Vorbehandlung z.B. in einem Absetzschacht im Zulauf der Rigole erforderlich. Im Vergleich zur Muldenversickerung ist eine Rigolenversickerung vorteilhaft, da die Oberfläche für andere Nutzungen auf Häuserblockeben (z.B. Grünanlage, Parkplätze) zur Verfügung steht.

Szenario 4: Mulden-Rigolenversickerung (d)

Bei diesem kombinierten Versickerungssystem wird das Niederschlagswasser von den versiegelten Flächen im Häuserblock in einer Geländemulde aufgefangen und dort über eine vegetative Bodenschicht in eine darunter liegende Rigole versickert. Da bei der Mulden-Rigolenversickerung der gesammelte Oberflächenabfluss vor der Versickerung eine Bodenschicht passiert und so gereinigt wird, sind keine zusätzlichen Bauwerke wie Absetzschächte im Zulauf notwendig. Ein weiterer Vorteil der Mulden-Rigolenversickerung ist

das erhöhte Retentionsvolumen, das sich in einem niedrigen Flächenbedarf widerspiegelt. Für die Modellierung wurden eine mit Kies gefüllte Rigole und ein Porenvolumen von 40% zugrunde gelegt, die Bodenschicht zwischen Mulde und Rigole beträgt 20 cm. Damit kann das effektive Retentionsvolumen des Systems mit 730 L/m^2 berechnet werden.

Szenario 5: Kombination Gründach und Mulden-Rigolenversickerung

In diesem Szenario wurde das Retentionsvolumen auf der Häuserblockeben durch eine extensive Dachbegrünung erhöht. Nach Zehnsdorf und Trabitzsch (2019) beträgt der „Standardaufbau“ einer extensiven Dachbegrünung aus einer ca. 10 cm mächtigen Substratschicht mit einem effektiven Porenvolumen von ca. 50 %. Somit ergibt sich ein Retentionsvolumen von 50 L/m^2 Gründach. Der Dachabfluss wird zusammen mit dem Abfluss anderer befestigten Flächen in die Mulden-Rigolenversickerung abgeleitet. Da die spezifischen Kosten pro m^3 Retentionsvolumen für Dachbegrünungen deutlich höher sind als die der Mulden-Rigolenversickerung (Strehl und Offermann 2017), wurden Dachbegrünungen nur dann in die Modellierung mit einbezogen, wenn für die Auslegung der Mulden-Rigolenversickerung nicht genügend Platz im Häuserblock zur Verfügung steht.

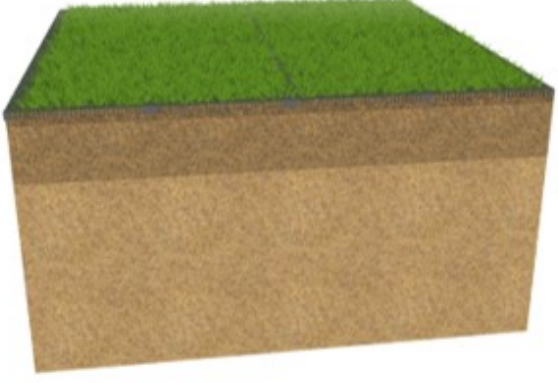
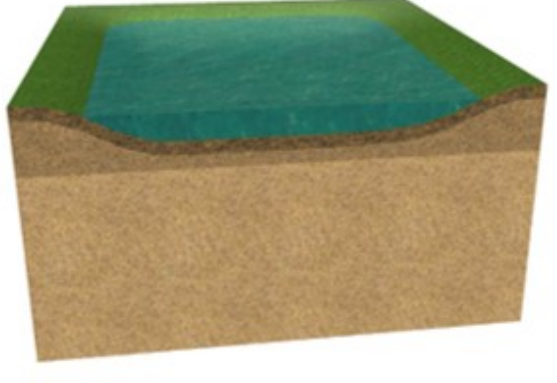
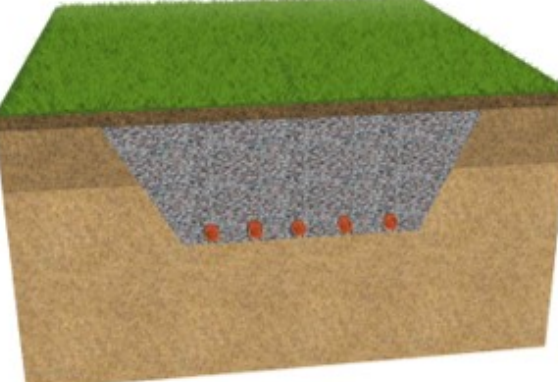
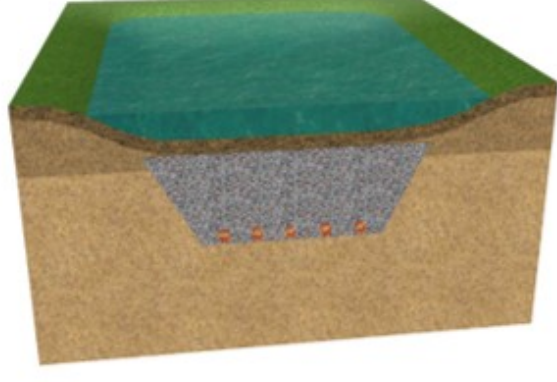

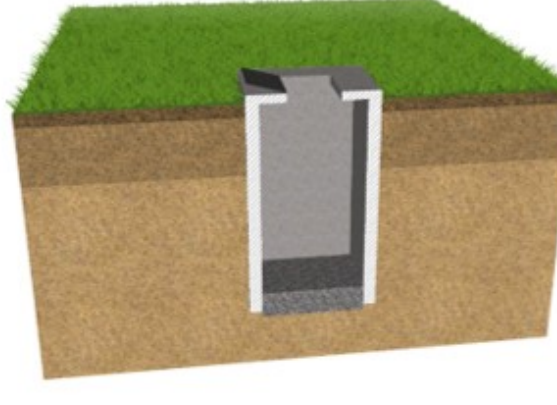
Szenario 6: Kombination Mulden-Rigolenversickerung, Gründach und Versickerungsschacht

Szenario 6 baut auf dem vorherigen Szenario 5 auf und betrachtet nur die Häuserblocks, die aufgrund der hohen Bodenversiegelung einen Rest-Oberflächenabfluss aufweisen. Das Ziel von Szenario 6 ist es diesen Abfluss durch weitere Maßnahmen vollständig zu vermeiden. Es wird davon ausgegangen, dass der Abfluss von den befestigten Flächen und dem Gründach, wie in Szenario 5, in die Mulden-Rigolenversickerung gelangt. Bei hohen Versiegelungsgraden und Extremregenereignissen wird der verbleibende Überlauf aus der Mulden-Rigolenversickerung dann in eine Schachtversickerung weitergeleitet, damit kein Abfluss entsteht. Die Vorteile der Schachtversickerung sind ihr geringer Platzbedarf und die Möglichkeit die Anlage auch unter versiegelten Flächen (Parkplatz, gepflasterte Flächen) zu errichten.

Szenario 7: Kombination Mulden-Rigolenversickerung und Versickerungsschacht

Mit dem Ziel der Vermeidung eines Rest-Oberflächenabflusses in stark versiegelten Häuserblocks baut das Szenario 7 auf Szenario 4 auf und kombiniert die Mulden-Rigolenversickerung mit der Schachtversickerung für diejenigen Häuserblocks, die in Szenario 4 noch einen Rest-Abfluss aufwiesen. Dabei wird der Überlauf aus der Mulden-Rigolenversickerung in die Schachtversickerung geleitet.

Abbildung 5: Zur Modellierung eingesetzte Technologievarianten und Kenngrößen nach DWA-A 138 und für das Gründach nach Zehnsdorf und Trabitzsch (2019)

	
<p>a) Flächenversickerung: kein Retentionsvolumen</p>	<p>b) Muldenversickerung Bauwerkhöhe: – 0,30 m, Retentionsvolumen: 300 L/m²</p>
	
<p>c) Rigolenversickerung (Kies) Bauwerkhöhe: -1m, Retentionsvolumen: 350 L/m²</p>	<p>d) Mulden-Rigolenversickerung (Kies) Bauwerkhöhe: – 1.55 m, Retentionsvolumen: 730 L/m²</p>
	
<p>e) Extensive Dachbegrünung Bauwerkhöhe: 0,1 m, Retentionsvolumen: 50 L/m²</p>	<p>f) Schachtversickerung Tiefe: – 2 m</p>

Die wesentliche Einflussgröße für die Definition von Szenarien zur Bewirtschaftung von Niederschlägen auf Häuserblockebene ist die Niederschlagsintensität und –dauer. Die hier betrachteten Szenarien zur Potenzialanalyse für das Stadtviertel legen für die Simulation ein 5-, 30-, und 100-jähriges Niederschlagsereignis mit einer Dauer von 2 Stunden zugrunde. Die Betrachtung von Extremregenereignissen (30- und 100-jährig) soll nach DIN 1986-100 auch die

technische Wirkung der betrachteten dezentralen Maßnahmen insbesondere für den lokalen Überflutungsschutz auf Häuserblockebene für **Neubauung und Sanierung** verdeutlichen.

Da die ortsnahe Versickerung im Häuserblock ebenfalls durch die Durchlässigkeit des Untergrundes determiniert wird, wurden die Szenarien für einen gut und einen schwach durchlässigen Boden betrachtet. Die gewählten Durchlässigkeitsbeiwerte betragen 10^{-4} m/s (z.B. feinkörniger Sand) und 10^{-6} m/s (z.B. schluffiger Sand).

Die in dieser Studie modellierten Szenarien zur Potentialanalyse einer urbanen Bewirtschaftung von Niederschlagswasser auf Häuserblockebene sind für die beiden Bodenarten und die gewählten Regenereignisse in der Tabelle 2 zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 2: Zusammenfassung der betrachteten Szenarien 0 – 7

Bodendurchlässigkeitsbeiwert	Durchlässig ($k_f=10^{-4}$)			Schwach durchlässig ($k_f=10^{-6}$)			Anzahl
	5 Jahre	30 Jahre	100 Jahre	5 Jahre	30 Jahre	100 Jahre	
Niederschlagshäufigkeit							
Szenario 0: Ist-Situation	0-SZ5-4	0-SZ30-4	0-SZ100-4	0-SZ5-6	0-SZ30-6	0-SZ100-6	6
Szenario 1: Flächenversickerung	1-SZ5-4	1-SZ30-4	1-SZ100-4	1-SZ5-6	1-SZ30-6	1-SZ100-6	6
Szenario 2: Muldenversickerung	2-SZ5-4	2-SZ30-4	2-SZ100-4	2-SZ5-6	2-SZ30-6	2-SZ100-6	6
Szenario 3: Rigolenversickerung	3-SZ5-4	3-SZ30-4	3-SZ100-4	3-SZ5-6	3-SZ30-6	3-SZ100-6	6
Szenario 4: Mulden- Rigolenversickerung	4-SZ5-4	4-SZ30-4	4-SZ100-4	4-SZ5-6	4-SZ30-6	4-SZ100-6	6
Szenario 5: Gründach + Muldenrigole	5-SZ5-4	5-SZ30-4	5-SZ100-4	5-SZ5-6	5-SZ30-6	5-SZ100-6	6
Szenario 6: Gründach + Muldenrigole + Versickerungsschacht	6-SZ5-4	6-SZ30-4	6-SZ100-4	6-SZ5-6	6-SZ30-6	6-SZ100-6	6
Szenario 7: Muldenrigole + Versickerungsschacht	7-SZ5-4	7-SZ30-4	7-SZ100-4	7-SZ5-6	7-SZ30-6	7-SZ100-6	6

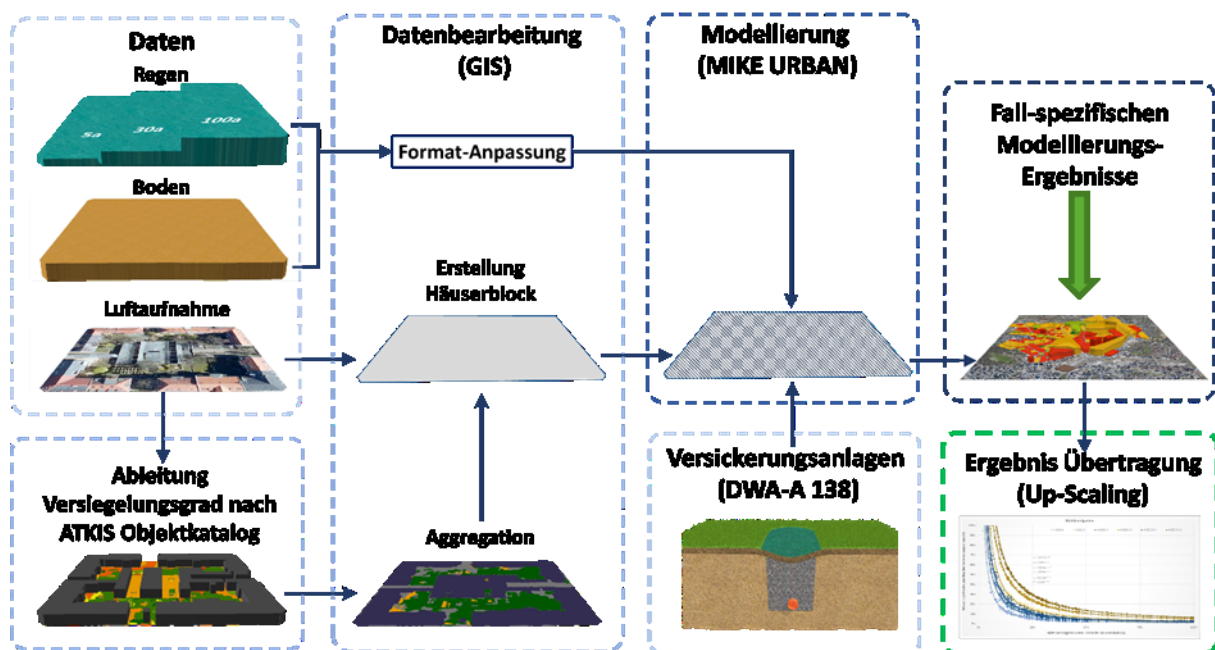
3.3 Festlegung und erste Bewertung der spezifischen Eingangsdaten für die Modellierung

3.3.1 Grundprinzip der Analyse

Das Grundprinzip des MUST-B Ansatzes zur Potentialanalyse (siehe Abbildung 6) wurde so gewählt, dass es sich auf die Aggregation von Daten stützt, die oft auf lokaler Ebene z.B. im Geodaten Service von Städten und Kommunen zur Verfügung stehen. Eine kostenintensive Neuerhebung von Daten entfällt somit (siehe Kapitel 3.4).

Die Eingangsdaten für die Modellierung von Szenarien (Bewirtschaftungsszenarien) eines lokalen Niederschlagsmanagements auf Häuserblockebene sind hoch aufgelöste Luftaufnahmen unterschiedlicher Farbkanäle. Diese dienen als Grundlage zur Extraktion von Straßen, Bebauung und Daten über die Vegetation, aus denen sich die Bodenversiegelung auf Häuserblockebene ableiten lässt. Der Rahmen der Modellierung wird durch lokale Daten zur Niederschlagsintensität/-dauer und der Beschaffenheit des Untergrundes definiert. Die Aggregation dieser Daten erfolgt in einem geeigneten GIS-basiertem Programm. Die Simulation der Regenereignisse und des Oberflächenabflusses sowie die Leistung der Versickerungs- und Retentionsanlagen erfolgt durch modellgestützte hydrologische Berechnungen (siehe Kapitel 3.4). Die Ergebnisse werden als Menge und Intensität des lokalen Oberflächenabflusses auf Blockebene generiert (siehe Abbildung 6).

Abbildung 6: Grundprinzip der Potentialanalyse durch den „MUST-B“ Ansatz



3.3.2 Luftaufnahmen und Versiegelungsgrad

Für aussagekräftige Ergebnisse computergestützter Modellierungen von Regenwasserbewirtschaftungsanlagen ist eine genaue Beschreibung der Bodenversiegelung unerlässlich. Diese Daten werden oft durch hochauflösende Luftaufnahmen generiert. Im MUST-B Modell zur Potenzialanalyse für den Stadtteil „Leipzig-Nord“ wurden hochauflösende multispektrale Luftaufnahmen (10 cm x 10 cm, Blau, Grün, Rot, Nahes Infrarot) des Untersuchungsgebietes verwendet. Aus den abgeleiteten Oberflächentypen wurden für die Häuserblocks nach den bundeseinheitlich definierten ATKIS-Objektartenkatalogen vier unterschiedliche Versiegelungsgrade definiert: 1. bebaute Fläche (Bodenversiegelung 100%), 2. sonstige versiegelte Fläche (Bodenversiegelung 100%), 3. teil-versiegelte Fläche (Bodenversiegelung 50%), und 4. nicht-versiegelte Fläche (Bodenversiegelung 0%). Die Zuordnung des Versiegelungsgrades zu den durch multispektrale Luftaufnahmen identifizierten ATKIS-Objekten erfolgte in Anlehnung an LfU (2015) und LfULG (2019).

3.3.3 Häuserblocks

Die Szenarientwicklung und die nachfolgende Modellierung des Oberflächenabflusses von Niederschlagswasser basiert auf der Einzelanalyse von Häuserblocks als kleinste funktionelle Einheit. Häuserblocks werden als innerstädtische bebaute Areale definiert, die von Verkehrswegen umschlossen sind. Zur Generierung des Datensatzes der Häuserblocks im Untersuchungsgebiet wurden daher zunächst die Verkehrswege als Luftbilddauswertung nach den bundeseinheitlich definierten ATKIS-Objektartenkatalogen identifiziert und digitalisiert. Die Flächen der einzelnen Häuserblocks ergeben sich als Differenz des gesamten Untersuchungsgebietes und der als Verkehrswege identifizierten Teilflächen. (Anmerkung: Nach dieser Vorgehensweise kann der Begriff Häuserblock auch Teilflächen beinhalten, die evtl. nicht bebaut sind.)

3.3.4 Niederschlag

Der Deutsche Wetterdienst stellt lokale Niederschlagsdaten für Deutschland zur Verfügung, die regelmäßig bearbeitet und aktualisiert werden. Der KOSTRA-DWD-2010-Datensatz "Koordinierte Starkniederschlagsregionalisierung und -auswertung" dient dazu, Aussagen über Niederschlagsmengen und Spenden in Abhängigkeit von Niederschlagsdauer und Jährlichkeit zu treffen. In der Modellierung zur Potenzialanalyse wurden für Leipzig drei Regenereignisse mit unterschiedlichen Jährlichkeiten berücksichtigt. Da der Peak-Regen in der Region ca. 45 Minuten nach Beginn des Regens auftritt, wurde die Niederschlagsdauer mit 120 Minuten angesetzt. Die DWA-A 138 gibt vor, dass die technischen Maßnahmen für die Bewirtschaftung von Niederschlagswasser, wie die konventionellen städtischen Entwässerungssysteme (z.B. Kanal, Rückhaltebecken), auf ein maximal 5-jähriges Regenereignis auszulegen sind. Aufgrund der zunehmenden Anzahl extremer Wetterereignisse mit hoher Niederschlagsintensität sowie der damit einhergehenden Überflutungsgefahr auch auf Häuserblockebene wurden nach DIN 1986-100 sowohl das 30-jährige als auch das 100-jährige Starkregenereignis in der Potenzialanalyse mitberücksichtigt.

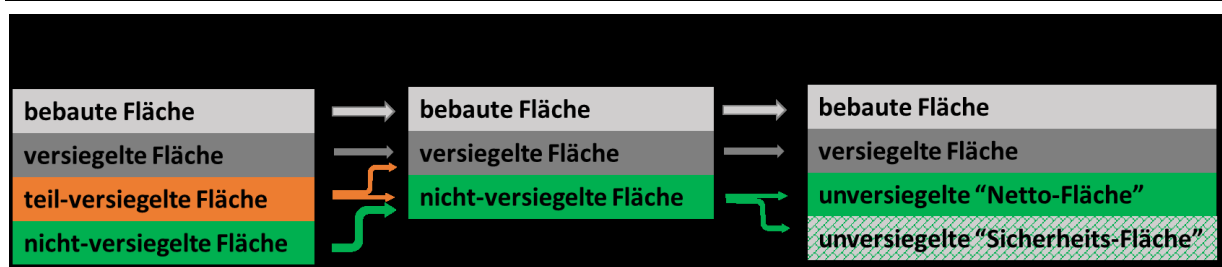
3.3.5 Boden

Neben den Niederschlägen sind auch die Bodeneigenschaften, insbesondere der Durchlässigkeitsbeiwert (k_f) des Bodens von entscheidender Bedeutung für die Planung und Auslegung städtischer wasserwirtschaftlicher Infrastrukturen zur Niederschlagsbewirtschaftung. Gemäß dem Fachinformationssystem Boden (FIS BODEN) des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) liegt der Durchlässigkeitsbeiwert im Untersuchungsgebiet zwischen 10^{-4} bis 10^{-5} m/s. In der Modellierung zur Potenzialanalyse wurde als geringste Durchlässigkeit ein k_f -Wert von 10^{-6} gewählt, der gemäß der DWA-A 138 die niedrigste für die Versickerung von Niederschlagswasser geeignete Bodendurchlässigkeit wiedergibt. Außerdem wurde damit dem Ziel der vorliegenden Studie Rechnung getragen die Ergebnisse auf andere Standorte zu übertragen und auch gering durchlässige Böden zu integrieren. Weiterhin ist die Kenntnis über die Bodenqualität eine wichtige Grundlage, ggf. können Altlasten im Bodenkörper eine gezielte Versickerungslösung ausschließen.

3.3.6 Daten Bearbeitung

Zur Simulation der Effizienz von Anlagen zur Regenwasserbewirtschaftung auf Häuserblockebene ist eine Abschätzung der Qualität und der Größe der zur Verfügung stehenden Teilflächen maßgeblich. In Abbildung 7 sind die Bearbeitungsschritte zur Quantifizierung der Teilflächen zusammengefasst

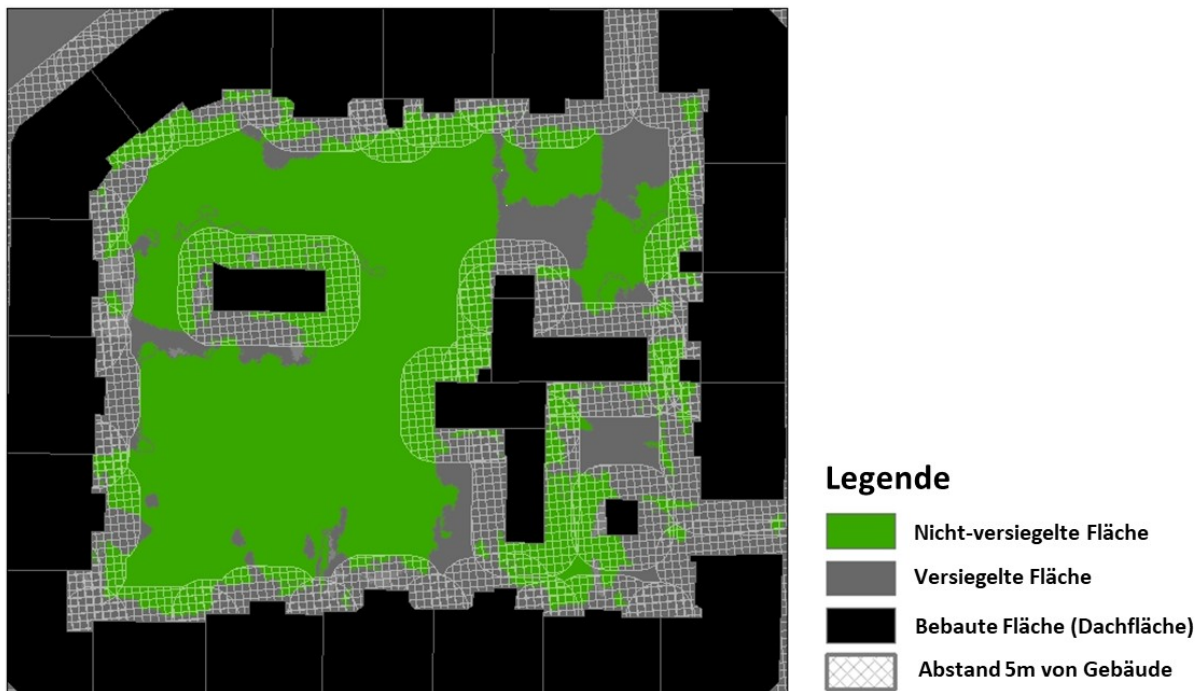
Abbildung 7: Zusammenfassung der Daten Bearbeitungsschritte zur Quantifizierung der Teilflächen



Die aus Luftaufnahmen bestimmten vier Versiegelungsklassen (siehe Abbildung 7) wurden in zwei Schritten weiterverarbeitet und auf die im Untersuchungsgebiet liegenden Häuserblocks bezogen. Im ersten Schritt wurde die teil-versiegelte Fläche zu 50% den versiegelten und zu 50% den nicht-versiegelten Flächen zugerechnet. Dann wurde die gesamte unversiegelte Fläche in zwei Kategorien unterteilt: a) unversiegelte „Netto-Fläche“ die für den Anlagenbau prinzipiell zur Verfügung steht und b) die unversiegelte „Sicherheits-Fläche“ entlang der Gebäude, die nicht für den Bau von Versickerungsanlagen zur Verfügung steht.

Gemäß der DWA-A 138 muss für den Bau einer Versickerungsanlage ein Sicherheitsabstand (mind. $1,5 \times h$ Kellertiefe) zu bestehenden Gebäuden eingehalten werden. Da die genauen Höhen der einzelnen Gebäudekeller im betrachteten Gebiet nicht verfügbar sind, wurde ein Mittelwert von 3 m angenommen und der Sicherheitsabstand mit 5 m (siehe Abbildung 8) festgelegt. Die außerhalb dieses Abstandes liegende nicht-versiegelte Fläche wurde für jeden Häuserblock als unversiegelte „Netto-Fläche“ definiert und in der Modellierung als potentielle Fläche für den Bau einer Versickerungsanlage betrachtet (Abbildung 8).

Abbildung 8: Ermittlung der für den Bau einer Versickerungsanlage geeigneten unversiegelten „Netto-Fläche“



3.3.7 Dimensionierung der Regenwasserbewirtschaftungsanlagen

Die Dimensionierung der Versickerungsanlagen auf Häuserblockebene (Flächenversickerung, Mulde, Rigole und Muldenrigole) erfolgte nach DWA-A 138 unter Verwendung der in Abbildung 5 zusammengefassten technologischen Kenngrößen. Die Größe (Fläche) der Versickerungsanlagen richtet sich dabei im Wesentlichen nach dem Oberflächenabfluss von den bebauten und versiegelten Flächen (Dachfläche + Wege, Parkplätze, etc.) und der Bodendurchlässigkeit.

Beispielsweise sollten die berechneten Muldenflächen bei einem 5-jährigen Regenereignis und einem Durchlässigkeitsbeiwert von 10^{-5} m/s bis zu ca. 6% der gesamten versiegelten Fläche betragen (DWA-A 138). Bei den Häuserblocks, bei denen die berechnete Fläche der

Versickerungsanlagen, die für den Bau zur Verfügung stehende nicht versiegelte „Netto-Fläche“ übersteigt, wurde die gesamte "Netto-Fläche" als Größe der Versickerungsanlage angenommen.

Anschließend wurde eine Serie von Oberflächenabflussmodellierungen in MIKE URBAN durchgeführt, bei der auch die nach DWA-A 138 berechneten Versickerungsanlagen, die KOSTRA-Regendaten und die Bodendurchlässigkeitseigenschaften berücksichtigt wurden. Basierend auf den Ergebnissen der Modellierung wurde in einem iterativen Verfahren die minimale Größe der Versickerungsanlagen bestimmt:

Szenario 1-4: Für die Häuserblocks, die keinen Abfluss aus dem Block heraus verursachten, wurde die Fläche der Versickerungsanlage schrittweise verkleinert (10%) bis die minimale Anlagengröße (Fläche) erreicht war.

Wenn durch die Modellierung ein Restabfluss aus dem Block erzeugt wurde, wurde die Fläche der Versickerungsanlage in Schritten von 5% vergrößert, bis kein Abfluss mehr nachzuweisen war. Bei voller Ausschöpfung der zur Verfügung stehenden nicht versiegelten „Netto-Fläche“ für den Bau der Anlage, wurde der Rest-Abfluss quantifiziert und als potentielle Kanalableitung definiert.

Für die Szenarien 5 und 6 wurden für die Häuserblocks, die nicht genügend Platz für eine Versickerungsanlage bieten und noch einen Restabfluss aufweisen, ein zusätzlicher Retentionsraum modelliert (extensive Gründächer). Die in diesen Blocks potentiell zur Verfügung stehenden Flächen für eine Dachbegrünung (Gründach, Kiesdach und Flachdach), wurden, basierend auf den Luftaufnahmen und einem digitalen Höhenmodell, mit Hilfe des von Ansel et al. (2015) im Rahmen eines DBU-geförderten Projektes entwickelten Programms identifiziert. Für die Simulation des Oberflächenabflusses im Häuserblock wurde für die Gründächer mit gedrosseltem Abfluss eine maximale Retention von 50 mm angenommen.

Für das Szenario 6 und 7 wurde angenommen, dass für die Häuserblocks mit Restabfluss eine ergänzende Schachtversickerung installiert wird, die unterirdisch (eventuell unter einer befestigten Fläche) gebaut wird. Das Volumen der Schachtversickerung wurde konservativ mit der gleichen Menge des Restabflusses angenommen.

3.4 Potentialanalyse mit Hilfe von Simulationsmodellen

In den folgenden Unterkapiteln wird mit einem Anwendungsbeispiel veranschaulicht, wie Simulationsmodelle im Rahmen der Potentialanalyse eingesetzt werden können.

Die modelltechnischen Hintergründe und Details werden anhand des verwendeten Simulationsprogramms MIKE URBAN+ beschrieben. Die im Folgenden vorgestellte Methodik kann aber ebenso mit einer anderen Software vergleichbaren Funktionsumfangs durchgeführt werden.

3.4.1 Anwendungsbeispiel

Im Zuge des Forschungsprojektes wurde die Simulationssoftware MIKE URBAN+ der dänischen Firma DHI eingesetzt, um für den gewählten Stadtteil „Leipzig-Nord“ verschiedene Szenarien hinsichtlich des Niederschlags-Managements zu untersuchen.

In der Abbildung 9 unten sind die notwendigen Bearbeitungsschritte für den Einsatz der Simulationssoftware dargestellt.

Abbildung 9: Die vier Bearbeitungsschritte für den Einsatz der Simulationssoftware



Ausgangspunkt für die Simulation sind GIS-Daten des Projektgebietes. Für die Häuserblöcke (kleinste funktionelle Einheit der urbanen Bewirtschaftung von Niederschlagswasser, MUST-B, siehe Kapitel 4.1) werden folgende Informationen benötigt:

- Lageinformationen
- Angaben zum Versiegelungsgrad (versiegelte, teil-versiegelte, nicht-versiegelte Flächen)
- Angaben zur Fläche, die potenziell für blau-grüne Maßnahmen zur Verfügung steht (unversiegelte Netto-Fläche).

Wie im Kapitel 3.3 angeführt, wird mit der unversiegelten Netto-Fläche der rechtlich vorgeschriebene Sicherheitsabstand zu bestehenden Gebäuden berücksichtigt. In der unversiegelten Netto-Fläche können aber ebenso gut weitere Restriktionen einbezogen werden: zum Beispiel Tiefgaragen, welche die Versickerung in den Untergrund verhindern, oder Teilbereiche mit einer komplexen Eigentümerstruktur (schwerfällige Entscheidungsprozesse). In diesen Fällen würde die für blau-grüne Maßnahmen zur Verfügung stehende Fläche zusätzlich eingeschränkt sein.

Nach dem Import der GIS-Daten in die MIKE URBAN+ Modelldatenbank müssen in dieser für die Simulation noch Regendaten verknüpft und aus einer Liste an vordefinierten Modellelementen (Versickerungsmulde, Rigole, etc.) die gewünschte blau-grüne Maßnahme ausgewählt werden. In einem Eingabefeld können die baulichen Kenndaten der gewählten blau-grünen Maßnahme (z.B. Tiefe der Versickerungsmulde) einfach angepasst werden.

Sind alle für die Simulation notwendigen Informationen eingegeben, wird das Modell in Form einer speziellen Datei (Dateiendung *.m1dx) exportiert. Die m1dx-Datei enthält alle für die Simulation notwendigen Informationen und kann direkt vom Rechenkern gelesen werden. Der Umweg über die m1dx-Datei (normalerweise wird die Simulation direkt aus der Modelldatenbank gestartet) hat den Vorteil, dass die m1dx-Datei über ein Pythonskript bearbeitet werden kann. Dadurch kann die Potentialanalyse automatisiert werden.

Die Simulation startet, indem für jeden Häuserblock die blau-grüne Maßnahme zunächst sehr klein angesetzt wird (1 Prozent der unversiegelten Netto-Fläche – also jener Fläche, die im Häuserblock potenziell für blau-grüne Maßnahmen zur Verfügung steht). In sukzessiven Simulationsläufen wird dann die blau-grüne Maßnahme in ihrer Ausdehnung vergrößert (2 Prozent, 3 Prozent, etc.), bis schließlich die gesamte unversiegelte Netto-Fläche für die blau-grüne Maßnahme in Anspruch genommen wird.

Nachdem die Simulationsläufe durchgeführt sind, werden die Ergebnisse automatisch ausgewertet: für jeden Häuserblock wird ermittelt, welche räumliche Ausdehnung (Fläche) die gewählte blau-grüne Maßnahme gerade benötigt, damit der Oberflächenabfluss der befestigten Flächen vollständig im Block zurückgehalten werden kann.

In den beiden folgenden Abbildungen sind die Ergebnisse der Potentialanalyse für ein 30-jähriges Regenereignis (Modellregen nach Euler, Dauer = 120 Minuten) und eine Versickerungsfähigkeit des Bodens von $k_f = 10^{-4}$ m/s (360 mm/h) dargestellt.

Abbildung 10: Notwendiger Flächenbedarf für das Szenario 1 (Flächenversickerung)

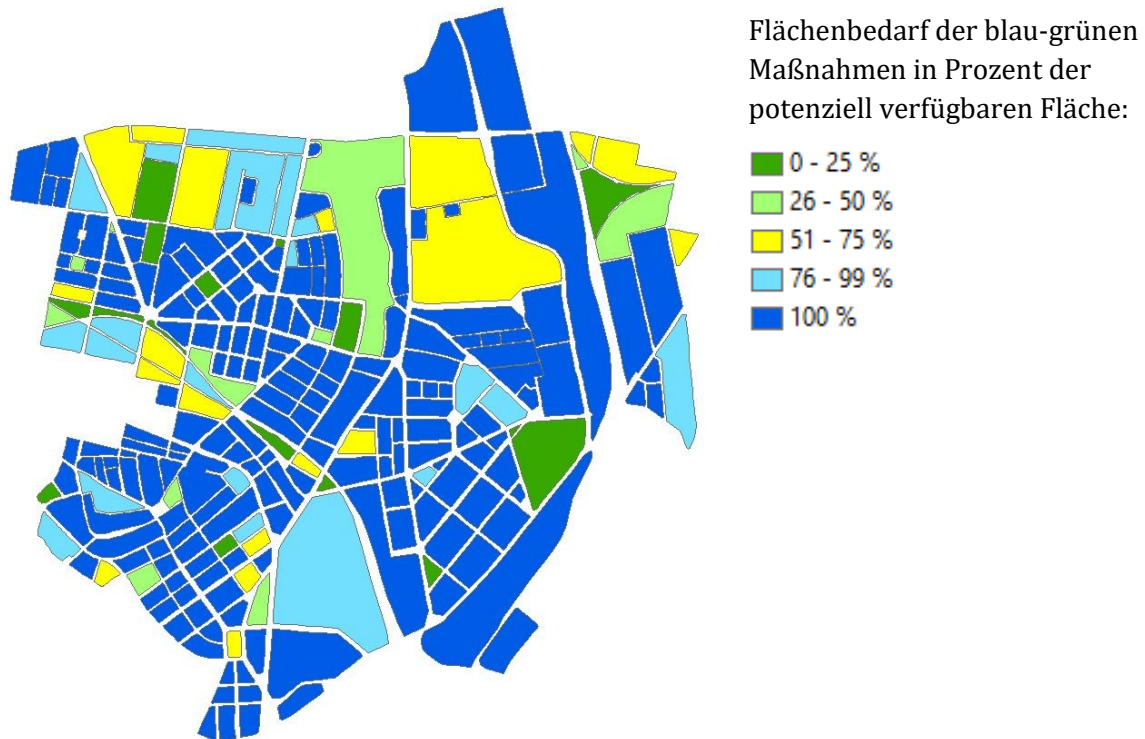


Abbildung oben: Das Oberflächenwasser der versiegelten und teilversiegelten Flächen wird ohne weitere Maßnahmen (Errichtung von Mulden, Rigolen, etc.) zu den vorhandenen Grünflächen geleitet. Der notwendige Flächenbedarf ist in Prozent der unversiegelten Netto-Fläche dargestellt – also jener Fläche, die potenziell für blau-grüne Maßnahmen zur Verfügung steht. Die blauen Bereiche in der Abbildung zeigen, wo 100% der unversiegelten Netto-Fläche erreicht werden. Für die gewählte blau-grüne Maßnahme reicht dann die potenziell vorhandene Fläche nicht aus, um den Oberflächenabfluss vollständig im Häuserblock zu halten.

Abbildung 11: Notwendiger Flächenbedarf für das Szenario 2 (Muldenversickerung)

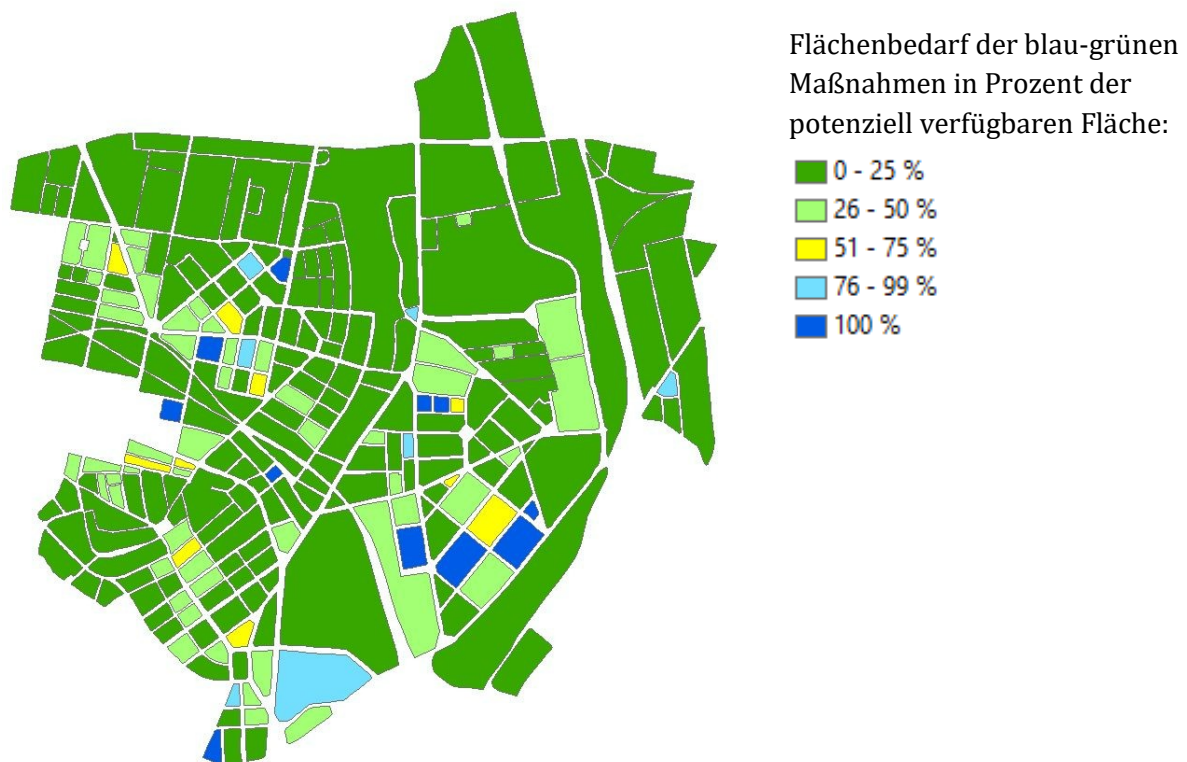


Abbildung oben: Das Oberflächenwasser der versiegelten und teil-versiegelten Flächen wird zu den vorhandenen Grünflächen geleitet und dort in 30 cm tiefen Mulden zwischengespeichert. Im Vergleich zum Szenario 1 (Flächenversickerung) ist der Flächenbedarf deutlich geringer. Zum Beispiel wird bei den dunkelgrün eingefärbten Häuserblöcken nur noch maximal 25% der potenziell verfügbaren Fläche für die Rückhalteflächen benötigt.

Nur noch wenige Häuserblöcke in der Abbildung sind dunkelblau eingefärbt. Für diese Bereiche reicht auch die Muldenversickerung nicht aus, um den gesamten Oberflächenabfluss im Quartier zu belassen.

3.4.2 Details zum verwendeten Simulationsmodell MIKE URBAN+

3.4.2.1 Hydrologisches vs. hydrodynamisches Modell

Die Projektbearbeitung erfolgt mit dem Software-Paket MIKE URBAN+ der Firma DHI. Bei einem Simulationslauf werden dabei immer zwei unterschiedliche Rechenmodelle ausgeführt.

Zuerst werden mit einem **hydrologischen Modell** die Abflussprozesse an der Oberfläche simuliert. Dabei werden die Niederschlagsdaten in eine Abflussbelastung für die Kanalisation umgerechnet.

Das hydrologische Oberflächenmodell ist ein konzeptionelles Modell, welches die Abflussvorgänge an der Oberfläche in vereinfachter Form abbildet. Zuerst wird der Niederschlag in einen effektiven Niederschlag umgerechnet, indem die relevanten hydrologischen Verluste (z.B. Oberflächenbenetzung, Auffüllen von Mulden, Versickerung) berücksichtigt werden. Dieser Teil-Prozess wird „Abflussbildung“ genannt.

In einem zweiten Teil-Prozess („Abflusskonzentration“) wird der effektive Niederschlag zeitlich aufgeteilt, also in eine Abflussganglinie umgerechnet. Je nach verwendeter Methodik (z.B. Zeit-

Flächen-Diagramm, linearer Speicher, nicht-linearer Speicher) unterscheiden sich die berechneten Abflussganglinien in ihrer Form und Abflussspitze.

Basierend auf den Ergebnissen des hydrologischen Oberflächenmodells wird die eigentliche Kanalnetzberechnung mit einem **hydrodynamischen Modell** durchgeführt.

Das hydrodynamische Kanalmodell ist ein physikalisch-basiertes Modell: durch Lösung eines Gleichungssystems (1D Flachwassergleichung) werden die Fließzustände in der Kanalisation (Durchflussmenge, Fließgeschwindigkeit, Abflusstiefe, etc.) realitätsnah ermittelt.

Die beiden Modelltypen (hydrologisches Oberflächenmodell, hydrodynamisches Kanalmodell) unterscheiden sich wesentlich, was die Datenanforderungen und die Simulationsgeschwindigkeit anbelangt.

Das hydrodynamische Kanalmodell ist in der Regel sehr datenintensiv. Für alle Kanalschächte und Haltungen, die modelliert werden sollen, werden Informationen zur Lage, Dimension/Querprofile sowie Höhenangaben (Schachtsohle, Deckeloberkante, Rohranfang, Rohrende) benötigt. Darüber hinaus müssen alle Sonderbauwerke im Entwässerungssystem (Regenüberlauf, Regenüberlaufbecken, Pumpwerke) im Modell berücksichtigt und die Randbedingungen (z.B. Zuflüsse von Gebieten außerhalb des Modellbereichs) richtig gesetzt sein.

Das hydrologische Oberflächenmodell hat aufgrund seiner konzeptionellen Natur deutlich geringere Datenanforderungen. Benötigte Modellparameter sind zum Beispiel die Einzugsgebietsfläche, kanalisierte Fläche, der Befestigungsgrad, geometrische Gebietseigenschaften (Neigung, charakteristische Länge, etc.). Für viele der Oberflächenparameter sind in der Regel GIS-Daten vorhanden.

Hydrologische Modelle rechnen um ein Vielfaches schneller als hydrodynamische Modelle mit ihrem rechenintensiven, physikalisch-basierten Ansatz.

Aufgrund der Zahl an Szenarien (Rechengeschwindigkeit) und in Hinblick auf eine einfache Anwendbarkeit (geringe Datenanforderung) wird die Potentialanalyse nur mit dem hydrologischen Oberflächenmodell durchgeführt. Die Fließvorgänge in der Kanalisation (hydrodynamisches Modell) werden zugunsten einer guten Praxistauglichkeit vernachlässigt.

Ziel der Potentialanalyse ist es, die Abflussbildung an der Oberfläche richtig abzubilden und für eine gewählte blau-grüne Maßnahme den jeweils notwendigen Flächenbedarf zu ermitteln. Der Oberflächenabfluss (versiegelte und teil-versiegelte Flächen) soll dabei vollständig im Häuserblock gespeichert werden.

3.4.2.2 Hydrologisches Modell B (Kinematische Welle)

Maßnahmen zur dezentralen Regenwasserbewirtschaftung (z.B. Mulden, Mulden-Rigole) können in MIKE URBAN+ über sogenannte LID-Elemente (Low Impact Development) umgesetzt werden. Voraussetzung dafür ist, dass als hydrologisches Oberflächenmodell das Modell B „Kinematische Welle“ verwendet wird.

Das Modell B ist ein nicht-lineares Speichermodell. Die Einzugsgebiete werden dabei als Speicher (Behälter) betrachtet mit dem Niederschlag als Zufluss und Abflüssen aufgrund von Evaporation, Infiltration und Abgabe in den Kanal.

Die **Evaporation** spielt nur bei der kontinuierlichen Simulation über längere Perioden eine Rolle und wird bei der Einzelereignis-Simulation vernachlässigt.

Die **Infiltration** auf den nicht-versiegelten Flächen ist über den Horton-Ansatz berücksichtigt. Die Versickerungsrate nimmt dabei mit der Ereignisdauer exponentiell ab und strebt einer Endinfiltrationsrate zu. Die Annahme dahinter ist, dass mit fortschreitender Niederschlagsdauer lokal Sättigungsbereiche entstehen und dadurch das Einzugsgebiet in zunehmendem Maße Oberflächenabfluss generiert.

Die Änderung der Infiltrationsrate mit dem Feuchtezustand des Gebiets wird über 4 Modellparameter berücksichtigt: maximale Infiltrationskapazität, minimale Infiltrationskapazität sowie 2 Zeitparameter (Horton-Exponenten). Die Horton-Exponenten beschreiben, wie schnell während der Regenphase die Infiltrationskapazität abnimmt bzw. wie schnell sich während der Trockenwetterphase (nach Regenende) die aktuelle Infiltrationskapazität wieder in Richtung maximale Infiltrationskapazität regeneriert.

Die Horton-Exponenten lassen sich nicht leicht bestimmen und sind idealerweise aus Messdaten abzuleiten (Kalibrierungsparameter). In Hinblick auf eine einfache Anwendbarkeit der Methodik wird daher die Potentialanalyse mit konstanten Versickerungsraten gerechnet (maximale Infiltrationskapazität gleich minimaler Infiltrationskapazität). Wie im Kapitel 4.2.1 beschrieben, wird für den Stadtteil Leipzig-Nord die Infiltrationskapazität mit 10^{-4} m/s (360 mm/h) bzw. 10^{-6} m/s (3,6 mm/h) gerechnet.

Für die **übrigen Parameter** des hydrologischen Modells wurden Pauschalwerte oder einfach zu berechnende Ansätze gewählt: Benetzungsverlust 0,05 mm; Muldenverluste 1,0 mm; Gefälle im Einzugsgebiet 10 Promille; Manning-Wert $70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$; charakteristische Länge im Einzugsgebiet berechnet als Wurzel der Häuserblock-Fläche.

Die Parameter des hydrologischen Oberflächenmodells steuern, in welchem Ausmaß Oberflächenabfluss generiert wird (Teilprozess „Abflussbildung“) und welche Form die Abflussganglinie hat (Teilprozess „Abflusskonzentration“).

Für die Potentialanalyse (Vermeidung/Minimierung des Oberflächenabflusses) ist die Abflussbildung der entscheidende hydrologische Prozess. Für die Modellparameter der Abflusskonzentration sind daher Vereinfachungen (plausible Standardwerte, einfache Berechnungsansätze) ausreichend genau.

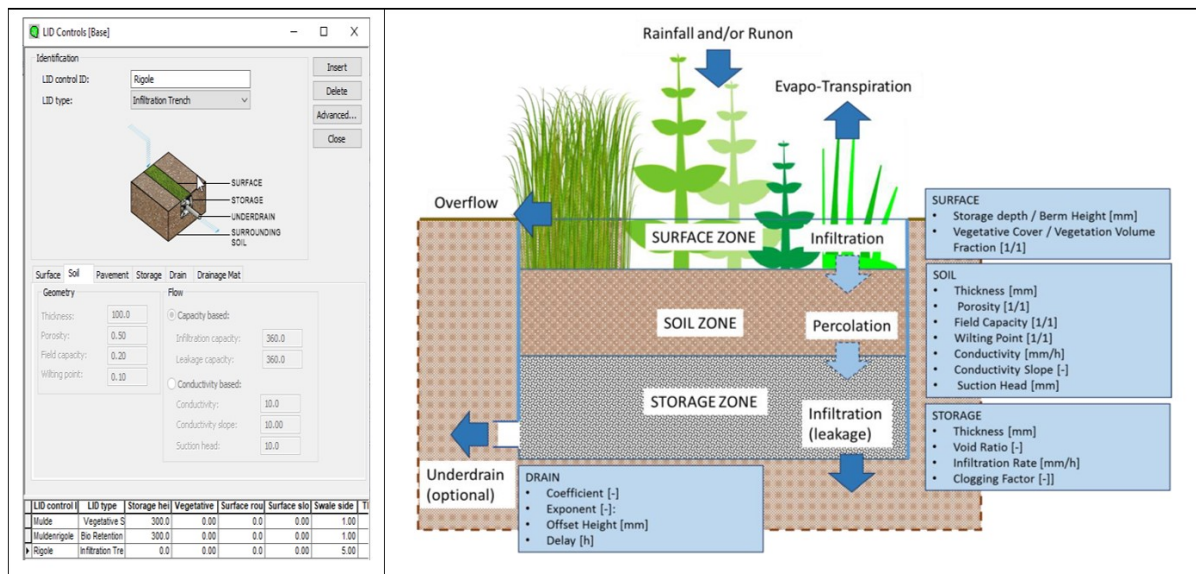
3.4.2.3 LID-Elemente in MIKE URBAN+

Maßnahmen der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung werden in MIKE URBAN+ über sogenannte LID-Elemente (Low Impact Development) berücksichtigt.

Bei einem Einzugsgebiet mit LID wird die vom hydrologischen Oberflächenmodell generierte Abflussganglinie modifiziert, indem das Abflussvolumen und/oder die Abflussspitze reduziert werden. Im weitestgehenden Fall wird der Oberflächenabfluss vollständig im Einzugsgebiet zurückgehalten und vor Ort versickert. Aus diesem Einzugsgebiet erfolgt dann keine Abgabe mehr von Regenwasser in die Kanalisation.

In MIKE URBAN+ werden LIDs aus Subelementen zusammengesetzt: Oberflächenschicht, Bodenschicht, Belagschicht, Drainagematte, Speicherschicht. Über ein Gleichungssystem (Zustands- und Transportgleichungen für jede einzelne Schicht) wird der Wasseraustausch zwischen den Schichten sowie die Wasserabgabe in den umgebenden Untergrund/nativen Bodenkörper und in die Kanalisation berechnet (Abbildung 12).

Abbildung 12: Eingabemaske und konzeptionelles Modell eines „Low Impact Developments (LID) zur Abbildung der Versickerungs- und Retentionsanlagen nach DWA-A 138



Bei einem LID-Element müssen nicht alle oben angeführten Schichten gleichzeitig vorhanden sein. Für die modelltechnische Abbildung einer Regentonne reicht zum Beispiel ein LID-Element, welches nur aus der Speicherschicht besteht. Regenwasser aus dem Einzugsgebiet wird dann in dieser zwischengespeichert bzw. bei Vollfüllung der Regentonne über einen Überlauf in die Kanalisation abgegeben.

Folgende LID-Elemente sind in MIKE URBAN+ vordefiniert:

- Mulde
- Rigole
- Mulden-Rigole
- Behälter/Regentonne
- Sickerbecken
- Gründach
- Durchlässiger Oberflächenbelag

Über Eingabefelder können die baulichen Kenndaten der LID-Elemente, zum Beispiel die Tiefe von Rückhalteulden in der Oberflächenschicht, angepasst werden.

3.4.3 Alternative Simulationsmodelle

Die in den vorigen Kapiteln vorgestellte Methodik, wie Simulationsmodelle für die Potentialanalyse genutzt werden können, ist nicht auf eine bestimmte Software beschränkt. In der Praxis ist eine Vielzahl an Softwareprodukten im Einsatz. Wichtig für die Übertragbarkeit der vorgestellten Methodik auf eine alternative Software ist eine schnelle Simulationsgeschwindigkeit durch Verwendung eines hydrologischen Oberflächenmodells.

Bedingt durch den Fortschritt in der Rechengeschwindigkeit in den letzten Jahren (Computer mit mehreren Rechenkernen, Parallelisierung bei der Simulationssoftware) werden immer häufiger auch 2D-Oberflächenmodelle eingesetzt. Dabei werden die Abflussvorgänge an der Oberfläche nicht mehr vereinfacht, hydrologisch gerechnet, sondern die Ausbreitung des Wassers an der Oberfläche wird physikalisch exakt ermittelt (tiefengemittelte, 2-dimensionale Strömung).

Für die Potentialanalyse muss eine Vielzahl an Simulationsläufen durchgeführt werden, um den optimalen Flächenbedarf einer gewählten blau-grünen Maßnahme zu bestimmen. Aufgrund ihrer langen Simulationsdauer bereits für einen einzigen Rechenlauf sind 2D-Oberflächenmodelle für die Potentialanalyse nicht geeignet.

Wie bereits im vorigen Kapitel erläutert, ist für die Potentialanalyse der Teilprozess der Abflussbildung relevant: wieviel Oberflächenabfluss wird bei einem Regenereignis generiert? Der Teilprozess der Abflusskonzentration, also die Form der Oberflächenabfluss-Ganglinie (Maximum, Dauer) ist hingegen für die Fragestellung, wie Oberflächenabfluss gänzlich vermieden werden kann, von untergeordneter Bedeutung.

Für die Wahl einer alternativen Simulationssoftware ist es daher nicht entscheidend, welche Methodik das hydrologische Modell für die Abflusskonzentration verwendet (Zeit-Flächen-Diagramm, nicht-linearer Speicher, etc.).

Wie in den vorigen Abschnitten beschrieben, läuft die Potentialanalyse automatisiert ab. Alle für die Simulation notwendigen Modellparameter werden in einer eigenen Simulationsdatei gespeichert, auf welche im Folgenden mit einem Python-Skript zugegriffen wird. Bei den aufeinander folgenden Rechenläufen wird die Größe der blau-grünen Maßnahme im Häuserblock sukzessive vergrößert und danach die Simulation automatisch gestartet. Bei der Wahl einer alternativen Simulationssoftware ist daher zu beachten, dass diese eine Simulationsdatei exportieren kann, die darüber hinaus mit einem Python-Skript bearbeitet werden kann (zum Beispiel Simulationsdatei als Text-File).

3.5 Modellierungsergebnisse Niederschlagsabfluss

Die Simulation der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung auf Häuserblockebene erfolgte mit dem oben beschriebenen Software-Paket MIKE URBAN der Firma DHI. Die einzelnen technischen Versickerungs- und Retentionsmaßnahmen (z.B. Mulden, Mulden-Rigole) können in MIKE URBAN über sogenannte LID-Elemente (Low Impact Development) abgebildet werden. Dabei wurden die LIDs im Hinblick auf Technologieaufbau, Dimensionierung und verwendeten Materialien nach DWA-A 138 abgebildet.

Für die einzelnen Szenarien wurden die Abflüsse der einzelnen Teilflächen im Häuserblock wie in der Tabelle 3 dargestellt definiert. Zur Vereinfachung der Modellierung wurde der vollständige Abfluss der Dachflächen (d.h. Straßen-seitig und Innenhof-seitig) zur Retentions- und Versickerungsanlage abgeleitet.

Tabelle 3: Abflüsse der einzelnen Teilflächen im Häuserblock für die betrachteten Szenarien

	Dachflächen	befestigte Fläche	Nicht-versiegelte Fläche	Blau-grüne Infrastruktur
0-SZ	Kanal	Kanal	Infiltration + Überlauf Kanal	keine blau-grüne Infrastruktur
1-SZ	Flächenversickerung	Flächenversickerung	Flächenversickerung + Überlauf Kanal	Überlauf Flächenversickerung Kanal
2-SZ	Mulde	Mulde	Infiltration + Überlauf Mulde	Überlauf Mulde Kanal
3-SZ	Rigole	Rigole	Infiltration + Überlauf Rigole	Überlauf Rigole Kanal
4-SZ	Muldenrigole	Muldenrigole	Infiltration + Überlauf Muldenrigole	Überlauf Muldenrigole Kanal

	Dachflächen	befestigte Fläche	Nicht-versiegelte Fläche	Blau-grüne Infrastruktur
5-SZ	Muldenrigole -Gründachrückhalt	Muldenrigole	Infiltration + Überlauf Muldenrigole	Überlauf Muldenrigole Kanal
6-SZ	Muldenrigole + Zisterne -Gründachrückhalt	Muldenrigole + Zisterne	Infiltration + Überlauf Muldenrigole	Überlauf Muldenrigole Zisterne / Überlauf Zisterne
7-SZ	Muldenrigole + Zisterne	Muldenrigole + Zisterne	Infiltration + Überlauf Muldenrigole	Überlauf Muldenrigole Zisterne / Überlauf Zisterne

Die Simulation der dezentralen Bewirtschaftung von Niederschlagswasser im Stadtteil „Leipzig-Nord“ wurde für drei Niederschlagsereignisse durchgeführt. Danach fallen innerhalb von 2 Stunden insgesamt 213.391 m³, 320.466 m³ und 392.392 m³ Niederschlag als Folge eine 5-, 30- und 100-jährigen Niederschlagsereignisses.

Aus der Gesamtzahl der 48 Szenarien (siehe Tabelle 2) für jeweils 270 Häuserblocks werden im Folgenden exemplarisch die Auswirkungen der Maßnahmen (Reduktion des Abflusses) für ausgewählte Szenarien eines 30-jährigen Niederschlagsereignisses gegenübergestellt (Abbildung 13-14).

Szenario-0 (0-SZ30-4, 0-SZ30-6) spiegelt die "Ist-Situation" des Untersuchungsgebietes wider. Für das 30-jährige Niederschlagsereignis ergibt sich für einen durchlässigen Boden ($k_f=10^{-4}$ m/s) ein Oberflächenabfluss von 151.895 m³/2 h (47% des anfallenden Regenwassers), der aktuell das vorhandene Kanalnetz belastet (Abbildung 13). Das Abflussvolumen steigt mit der Verringerung der Durchlässigkeit des Bodens ($k_f=10^{-6}$ m/s) auf 263.877 m³. Dies entspricht 82% des in 2 h anfallenden Regenwassers.

In Szenario-1 (1-SZ30-4, 1-SZ30-6) zeigt die Maßnahme zum Bau von Flächenversickerungsanlagen auf Häuserblockebenen bei einem durchlässigen Boden ($k_f=10^{-4}$ m/s) und bei einem 30-jährigen Regenereignis einen Wirkungsgrad von über 90%. Das bedeutet, dass nur 10% des Niederschlags als Oberflächenabfluss die Kanalisation belastet. Jedoch beträgt der Flächenbedarf für dieser Art von Versickerungsanlage mehr als 75% der zur Verfügung stehenden "Netto-Fläche", die bei diesem Szenario in ein Versickerungssystem umgewandelt werden müsste. Bei schwach durchlässigem Boden ($k_f=10^{-6}$ m/s) ist im Vergleich zu Szenario 0 keine weitere Reduktion des Oberflächenabflusses zu erzielen und der Flächenbedarf für die Versickerung wird mit 100% der zur Verfügung stehenden Netto-Fläche vollständig ausgeschöpft. Die Ergebnisse verdeutlichen somit die Bedeutung von Infiltrationsanlagen mit Rückhaltekapazität zur effektiven Minimierung des Kanal-wirksamen Oberflächenabflusses.

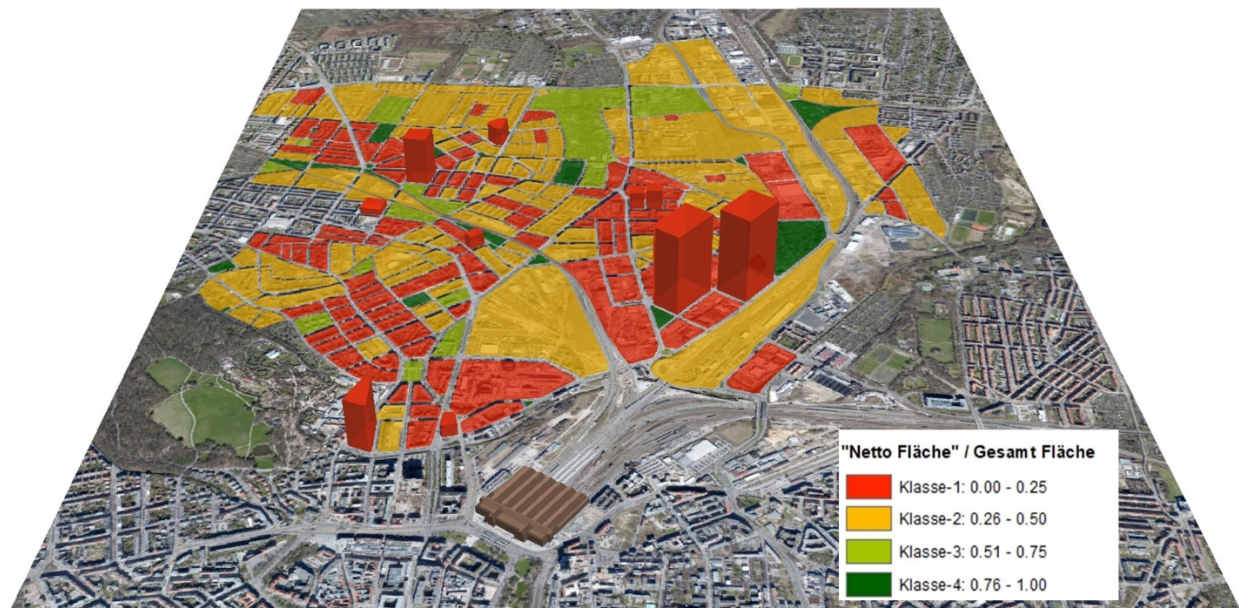
Als Beispiel einer Infiltrationsanlage mit Retentionskapazität wurden die Simulationsergebnisse für die Mulden-Rigolenversickerung (4-SZ30-4, 4-SZ30-6) ausgewählt. Für ein 30-jähriges Niederschlagsereignis zeigen die mit einer Mulden-Rigolenversickerung ausgerüsteten Häuserblocks bei gut durchlässigem Boden einen Gesamtabfluss von 1.226 m³ in 2 Stunden. Bezogen auf das Niederschlagswasser von 320.466 m³ zeigt das Szenario einen nahezu vollständigen Rückhalt (99.6%) des Niederschlagswassers bei einem Flächenverbrauch von nur 6 % der nicht versiegelten „Netto-Fläche“. Für einen schwach durchlässigen Boden beträgt der Gesamtabfluss 3.439 m³ (Rückhalt 98,9%) bei einem Flächenbedarf von 15,5% (Abbildung 14).

Bei Abbildung 13 und Abbildung 14 wurden die vertikalen Dimensionen zu Präsentationszwecken proportional skalenvergrößert.

Abbildung 13: Modellierter „Ist-Situation“ (0-SZ30-4) des Oberflächenabflusses auf Häuserblockebene bei einem 30-jährigen Niederschlagsereignis und gut durchlässigem Boden ($k_f=10^{-4}$ m/s)



Abbildung 14: Modelliertes Szenario (4-SZ30-4) über die Auswirkungen einer Mulden-Rigolenversickerung auf den Oberflächenabfluss auf Häuserblockebene bei einem 30-jährigen Niederschlagsereignis und gut durchlässigem Boden ($k_f=10^{-4}$ m/s)



3.6 Up-scaling und Übertragung von MUST-B

Die MUST-B Analyse zur Abschätzung der Transformationskapazität hin zu einer dezentralen Bewirtschaftung von Niederschlagswasser wurde exemplarisch für den Stadtteil „Leipzig-Nord“ mit 270 Häuserblocks durchgeführt. Dabei erfolgte die Modellierung für jedes betrachtete Regenereignis und jeden Bodendurchlässigkeitsbeiwert auf Häuserblockebene. Da dies ein sehr arbeitsintensiver Prozess ist und nicht allen Anwendern eine automatisierte leistungsstarke Software zur Verfügung steht (Kapitel 3.4) wurde alternativ eine vereinfachte

Herangehensweise entwickelt, die es zum einen erlaubt, manuell durch „Regressionskurven“ unter Berücksichtigung des Versiegelungsgrades oder automatisiert durch eine entwickelte Software-basierte Methode den Aufwand erheblich zu reduzieren.

Die spezifische **Software-basierte Methode** wird in Kapitel 3.4 ausführlich dargestellt.

Manuelles Up-scaling: Basierend auf den durchgeführten Simulationen für 270 Häuserblocks in Leipzig wurden für jede betrachtete Versickerungstechnologie (siehe Tabelle 2), die für eine vollständige Versickerung notwendige Fläche in Relation zur Verfügung stehenden Fläche (netto-Fläche) gesetzt. Der exponentielle Zusammenhang für jedes betrachtete Regenereignis (5-, 30- und 100-jährig) und jede Bodendurchlässigkeit ($K_f=10^{-4}$ m/s und $K_f=10^{-6}$ m/s) ist exemplarisch in Abbildung 15 für eine Muldenrigole als Regressionskurven dargestellt. Die erhaltenen Formeln der exponentiellen Regressionskurven wurden für alle Szenarien in Tabelle 4 zusammengefasst.

Mit Hilfe der Regressionsformel lässt sich nun manuell für jeden zu betrachtendem Häuserblock die notwendige Fläche zum Bau der Versickerungsanlage in Abhängigkeit der zur Verfügung stehenden „Netto-Fläche“ berechnen, ohne dass eine hydrologische Modellierung erfolgen muss.

Beispiel für einen Häuserblock mit folgenden Abmessungen:

Gesamtfläche des Häuserblocks:	10.000 m ²
Versiegelte Fläche:	5.000 m ²
nicht versiegelte „Netto-Fläche“, die für den Anlagenbau zur Verfügung steht:	2.500 m ²
Flächenanteil der nicht versiegelte „Netto-Fläche“ von Gesamtfläche:	0,25 (25%)

Für ein 30-jähriges Niederschlagsereignis und einem Bodendurchlässigkeitsbeiwert von $k_f=10^{-6}$ berechnet sich für eine Muldenrigole (nach DWA) der prozentuale Flächenanteil nach der in Tabelle 4 aufgeführten Regressionsformel:

$$y = 0,0483x^{-1,13}$$

y = notwendiger Flächenanteil zum Bau der Versickerungsanlage (% von „Netto-Fläche“)

x = Flächenanteil der nicht versiegelten „Netto-Fläche“ (% von Gesamtfläche)

Entsprechend wird für eine Muldenrigole zum vollständigen Rückhalt und zur Versickerung des 30-jährigen Niederschlagsereignisses ein Anteil der zur Verfügung stehenden „Netto-Fläche“ von 0,23 (=23%) benötigt. Dies entspricht für den exemplarischen Häuserblock mit einer Gesamtgröße von 10.000 m² ein realer Flächenbedarf für die Muldenrigole von 2.500 m² x 0,23 = 575 m².

Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass das manuelle Up-scaling nur für die in diesem Bericht betrachteten technischen Spezifikationen der in der DWA-A 138 beschriebenen Anlagentypen gilt. Die Bewertung des Flächenbedarf für unterschiedliche, oft Hersteller spezifische technologischer Varianten eines Anlagentyps kann nur über eine Software-gestützte Simulation erfolgen.

Abbildung 15: Abhängigkeit des notwendigen Flächenanteils für die Versickerungsanlage von nicht-versiegelter Netto-Fläche

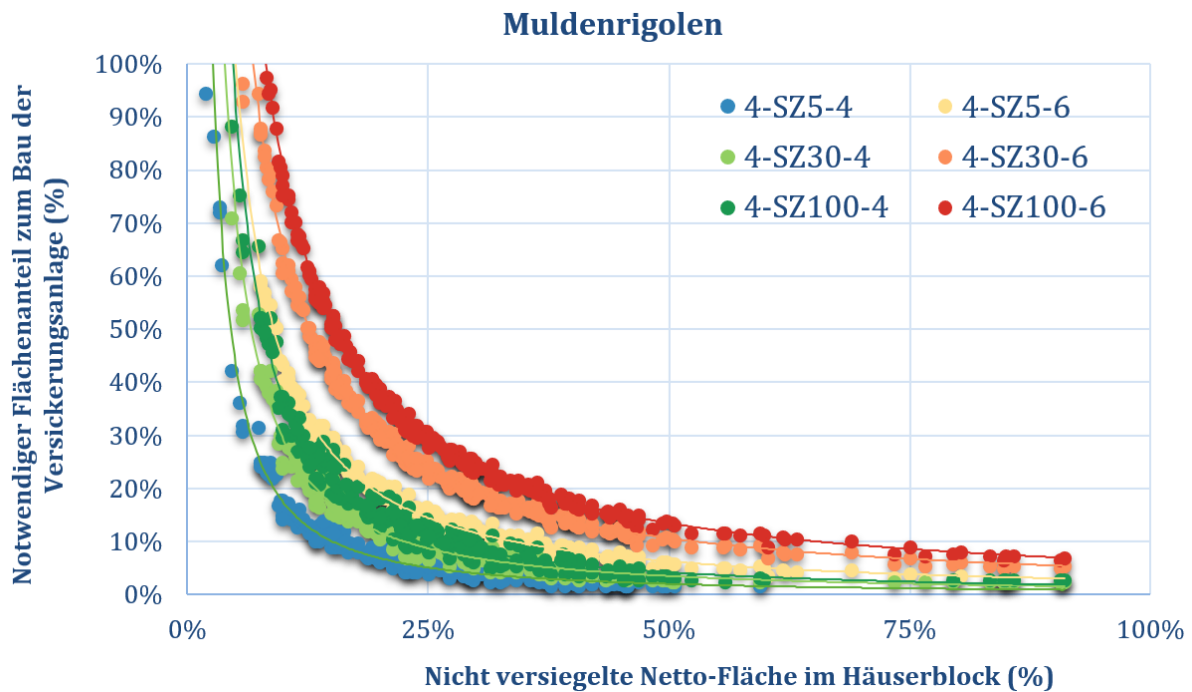


Abbildung 15: Abhängigkeit des prozentualen Anteils der notwendigen Fläche zum Bau einer Muldenrigole von der im Häuserblock für den Bau zur Verfügung stehenden „netto-Fläche“ (Betrachtete Niederschlagsereignisse (5-jährig, 30-jährig und 100-jährig) und jede Bodendurchlässigkeit ($K_f=10^{-4}$ m/s und $K_f=10^{-6}$ m/s)).

Tabelle 4: Exponentielle Regressionsfunktionen für die Ermittlung des Flächenbedarfs zum Bau einer blau-grünen Infrastruktur (nach DWA-A 138) auf Häuserblockebene

Bodentyp (Durchlässigkeits- beiwert)	Durchlässig ($k_f=10^{-4}$ m/s)			Schwach durchlässig ($k_f=10^{-6}$ m/s)		
	5 Jahre	30 Jahre	100 Jahre	5 Jahre	30 Jahre	100 Jahre
Regenhäufigkeit						
Szenario 1: Flächenversickerung	$y = 0,2878x^{-0,559}$	$y = 0,5418x^{-0,295}$	$y = 0,6905x^{-0,559}$	NA	NA	NA
Szenario 2: Muldenversickerung	$y = 0,0137x^{-1,542}$	$y = 0,0191x^{-1,595}$	$y = 0,0223x^{-1,635}$	$y = 0,0631x^{-1,277}$	$y = 0,1126x^{-1,227}$	$y = 0,1487x^{-1,195}$
Szenario 3: Rigolenversickerung	$y = 0,0119x^{-1,515}$	$y = 0,0165x^{-1,564}$	$y = 0,0197x^{-1,596}$	$y = 0,0523x^{-1,232}$	$y = 0,0946x^{-1,163}$	$y = 0,1242x^{-1,148}$
Szenario 4: Mulden-Rigolen- versickerung	$y = 0,008x^{-1,334}$	$y = 0,0168x^{-1,212}$	$y = 0,0198x^{-1,237}$	$y = 0,0266x^{-1,219}$	$y = 0,0483x^{-1,13}$	$y = 0,0625x^{-1,10}$

3.7 Kostenansatz

Die Entscheidungsfindung zur Implementierung von dezentralen blau-grüner Infrastrukturen zum Niederschlagsmanagement wird wesentlich durch die Kosten der Maßnahmen bestimmt. Auch bei der Auswahl der am besten geeigneten Szenarien spielen die Kosten eine zentrale Rolle. Daher wurden zur Vergleichbarkeit der Kostenbetrachtung für unterschiedliche Techniken und Technikkombinationen eine vereinfachte Vorplanung basierend auf Einheitspreisen zugrunde gelegt.

Die in Tabelle 2 aufgeführten Retentions- und Versickerungsanlagen wurden für eine Anlagenoberfläche von 1000 m² ausgelegt. Die Ermittlung der Investitionskosten auf der Basis von Baukostengruppen nach DIN 276 erfolgte unter Heranziehung durchschnittlicher Einzelpreise für Bauleistungen in Deutschland, die der frei verfügbaren Datenbank „Baupreisinfo“ aus dem Heinze-Verlag entnommen wurden. Außerdem wurden die Einzelpreise durch Praxispartner (Sieker, Leipziger Wasserwerke) auf ihre Plausibilität hin überprüft. Dieses Vorgehen entspricht einer vereinfachten Vorplanung, bei der die oft unterschiedliche bauliche Ausgangslage in einzelnen Häuserblocks nicht berücksichtigt wurde. Die ausgewählten Einzelpreise sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

Tabelle 5: Einzelpreise für Bauleistungen zur Abschätzung der Baukosten für die betrachteten Versickerungs- und Retentionstechnologien

Leistung	Betrag	Einheit	Quelle
Vermessung, Planung etc. (pauschal in % von Investitionskosten)	15%	€/Stk	https://www.hoai.de/online/hoai_rechner/index.php
Baustelleneinrichtung, Baufeldvorbereitung Baugelände von Sträuchern u. Bäumen abräumen, Stamm D bis 10 cm, Räumgut entfernen Bauzaun Stahlgitterelemente h=2m	4,5	€/m ² (bei 100 m ²)	https://baupreisinfo.heinze.de/
Bodenaushub Boden lösen für Baugrube, Aushub im Bereich der Baustelle lagern, T bis 2,5 m Aushubmassen abtransportieren, entsorgen, Z 1.1, Abfallschlüssel: AVV 170504	25,7	€/m ³	https://baupreisinfo.heinze.de/
Entwässerungsrinne	108	€/m	https://baupreisinfo.heinze.de/
Drainagekies Für Baugruben, mit Kies-Sand 0/32, incl. Transport und Einbau	30,5	€/m ³	https://baupreisinfo.heinze.de/
Drainrohre (inkl. Muldenüberlauf)	21	€/m	https://baupreisinfo.heinze.de/
Rigolenfließ Geotextil als Trennschicht verlegen, GRK5, >=300g/m ²	11	€/m ²	https://baupreisinfo.heinze.de/
Anschlusskosten pauschal in % von Investitionskosten für eine Anlage von 1000 m ²	20%	€/Stk	Annahme
vegetative Bodenschicht einbauen Verfüllen von Arbeitsräumen, Boden seitlich gelagert	12,6	€/m ³	https://baupreisinfo.heinze.de/
Vegetation Vegetationsfläche profilgerecht formen, Ab/Auftrag 10 cm, Rasenansaat, RSM 2.4 Gebrauchsrasen mit Kräutern (Biotopmischung für besonders magere Standorte), Vorratsdüngung	4,1	€/m ²	https://baupreisinfo.heinze.de/
Absetz-/Revisionsschacht	1113	€/Stk	https://baupreisinfo.heinze.de/

Leistung	Betrag	Einheit	Quelle
Stb.-Schacht,LW 1000,T=2,0m,Gerinne DN 300, incl. 2-mal Seitenzulauf Schacht,gelenkig,DN300			
Sickerschacht Beton, DIN 4034,(unterschiedliche Nennweiten bezogen auf 1 m ² Flächenbedarf und 2m Tiefe)	1302	€/m ²	https://baupreisinfo.heinze.de/

Die Kostenermittlung bezieht sich dabei ausschließlich auf die im Bericht beschriebenen Techniktypen nach DWA-A 138 und Zehnsdorf und Trabitzsch (2019) (siehe Abbildung 5). Der Technikaufbau, die Dimensionierung und verwendeten Materialien wurden ebenfalls durch die LIDs in der Modellierung abgebildet.

Dieser Ansatz zur Kostenermittlung hat den Vorteil, dass die betrachteten Technologievarianten alle mit den gleichen durchschnittlichen Einzelkosten berechnet werden und somit eine bessere Vergleichbarkeit zwischen den Technologien und damit ein schärferer Szenarienvergleich ermöglicht wird. Außerdem werden im Gegensatz zu Literaturdaten von einzelnen Komplettlösungen die herstellereinspezifischen Technologievarianten und Sonderlösungen, lokale Kostenschwankungen und Unterschiede im Hinblick auf die lokalen Anschlussbedingungen für die Anlagen ausgeblendet. Der auf Einzelpreisen basierte Ansatz lässt sich zudem leichter an Situationen in anderen Städten und Technologievarianten anpassen.

Der Nachteil dieser Methodik besteht darin, dass ein hohes Maß an Genauigkeit suggeriert wird, welches jedoch auf Grund sich lokal ändernder Rahmenbedingungen z.B. der bestehenden Bebauung nicht gegeben sein kann. Daher sei an dieser Stelle explizit darauf hingewiesen, dass der Kostenansatz für den Anschluss der dezentralen Technologien an die existierende Bebauung, oder die Vorbereitung der existierenden Infrastruktur (Dachabdichtung) nur idealisiert betrachtet wurde. Das gleiche gilt für die Kostengruppe „Baustelleneinrichtung, Baufeldvorbereitung“. Hier muss mit zusätzlichen Kosten gerechnet werden, die situationsabhängig für jeden Häuserblock individualisiert ermittelt werden müssen.

Die berechneten Investitionskosten für die betrachteten Technologien wurden als spezifische Kosten bezogen auf die Oberfläche der Anlagen in €/m² berechnet. Als Grundlage für die Berechnung der spezifischen Kosten wurde eine Anlagengröße von 1000 m² angenommen. Eine Anpassung der Kosten auf Grund von Skaleneffekten wurde nicht vorgenommen.

Die ermittelten spezifischen Kosten sind in Tabelle 6 für die betrachteten Technologien aufgeführt.

Tabelle 6: Spezifische Kosten für die betrachteten Versickerungs- und Retentionstechnologien als Literaturwerte und basierend auf Einzelpreisen

Technologie	Investitionskosten * €/m ²	Betriebskosten** €/(m ² *a)	Annuität*** €/(m ² *a)
Gründach extensiv	28	1,50	2,7
Flächenversickerung	10	0,85	1,3
Mulde	30	1,02	2,3

Technologie	Investitionskosten * €/m ²	Betriebskosten** €/(m ² *a)	Annuität*** €/(m ² *a)
Rigole	151	1,36	7,9
Muldenrigole	158	0,86	7,7
Sickerschacht	1.302	39,06	95,4

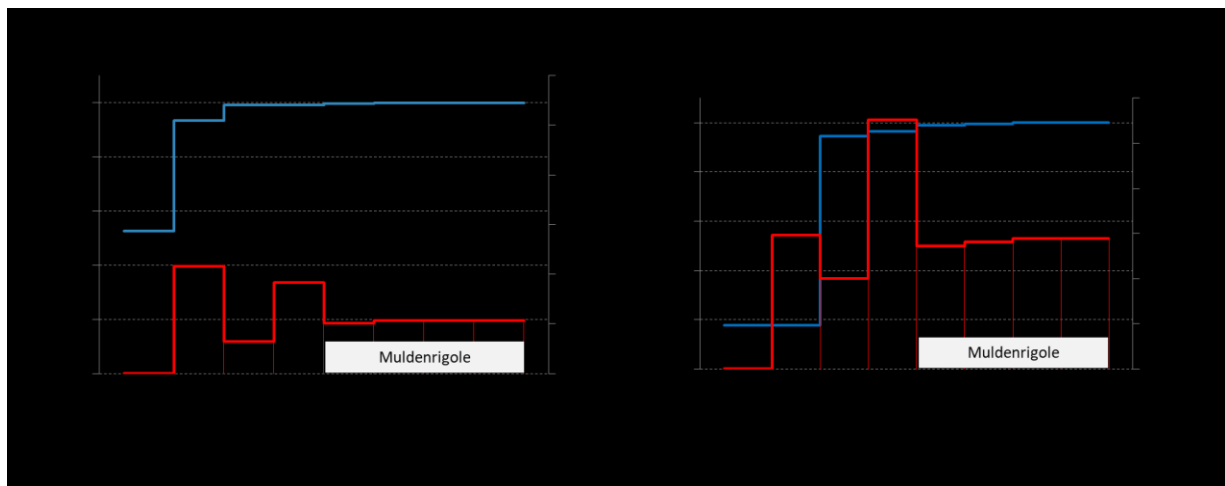
*-vereinfachte Vorplanung

**-siehe Anhang, Tabelle 31

***-siehe Kapitel 5, Tabelle 14

Zusammenfassend wird im Folgenden für die Gesamtzahl der Szenarien (siehe Tabelle 2) die Auswirkungen der Maßnahmen (Reduktion des Abflusses) und der Aufwand der Maßnahmen (Kosten der blau-grünen Infrastruktur) für die Szenarien eines 30-jährigen Niederschlagsereignisses gegenübergestellt (Abbildung 16).

Abbildung 16: Reduktion des Niederschlagsabflusses und Annuitäten für die betrachteten Szenarien bei einem 30-jährigen Niederschlagsereignis



Die Wirksamkeit der Szenarien in Form einer Reduktion des Niederschlags und die Kosten der Maßnahmen als Annuität der Investitions- und Betriebskosten sind in der Tabelle 7 für die Gesamtszenarien dargestellt.

Tabelle 7: Wirksamkeit und Kosten der Szenarien für das Gesamtgebiet

Bodendurchlässigkeitsbeiwert	Durchlässig ($k_f=10^{-4}$)			Schwach durchlässig ($k_f=10^{-6}$)			
	Niederschlagshäufigkeit	5 Jahre (213.391 m ³)	30 Jahre (320.466 m ³)	100 Jahre (392.392 m ³)	5 Jahre (213.391 m ³)	30 Jahre (320.466 m ³)	100 Jahre (392.392 m ³)
Szenario 0: Ist-Situation	Reduktion (%)	53%	53%	52%	24%	18%	15%
	Annuität (€/a)	-	-	-	-	-	-
Szenario 1: Flächenversickerung	Reduktion (%)	97%	93%	91%	26%	20%	17%
	Annuität (€/a)	1.506.607	2.152.844	2.471.015	2.970.047	2.970.047	2.970.047

Szenario 2: Muldenversickerung	Reduktion (%)	99%	99%	99%	98%	95%	92%
	Annuität (€/a)	428.912	638.137	773.599	1.252.640	2.004.127	2.483.002
Szenario 3: Rigolenversickerung	Reduktion (%)	100%	99%	99%	98%	97%	95%
	Annuität (€/a)	1.231.888	1.834.516	2.263.232	3.408.525	5.514.127	6.964.129
Szenario 4: Mulden- Rigolenversickerung	Reduktion (%)	100%	100%	99%	99%	99%	99%
	Annuität (€/a)	605.957	1.012.504	1.247.750	1.693.352	2.728.905	3.410.815
Szenario 5: Gründach + Muldenrigole	Reduktion (%)	100%	100%	100%	100%	100%	99%
	Annuität (€/a)	628.341	1.065.726	1.328.539	1.774.141	2.814.881	3.531.887
Szenario 6: Gründach + Muldenrigole + Versickerungsschacht	Reduktion (%)	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	Annuität (€/a)	628.593	1.070.141	1.362.451	1.790.968	2.886.126	3.672.917
Szenario 7: Muldenrigole + Versickerungsschacht	Reduktion (%)	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	Annuität (€/a)	625.510	1.070.985	1.358.377	1.757.289	2.892.949	3.683.780

Die durch eine vereinfachte Vorplanung definierten jährlichen Kosten für die Implementierung einer blau-grünen Infrastruktur im Stadtteil „Leipzig-Nord“ und einer Reduktion der Niederschlagswasserabflüsse von > 99% wurden mit 0,4 Mio. €/a bis 3,6 Mio. €/a abgeschätzt. Die Kosten variieren in Abhängigkeit der technologischen Auslegung der Systeme, der Bodenverhältnisse sowie dem betrachteten Regenereignis. Als kostengünstigste Technologievariante für gut durchlässige Böden und mit einer Wirksamkeit von > 99% erwies sich die Muldenrigole (0,4 - 0,8 Mio. €/a). Für wenig durchlässige Böden wurde bei gleicher Wirksamkeit die Muldenrigolenversickerung als kostengünstigste Lösung identifiziert (1,7 – 3,4 Mio. €/a). Es konnte gezeigt werden, dass die Kopplung der Muldenrigolenversickerung mit weiteren blau-grünen Technologien (Szenario 5-7) keinen wesentlichen Einfluss auf die jährlichen Kosten hat. Die Flächenversickerung ist nur begrenzt für einen vollständigen Rückhalt von Regenwasser im Block geeignet und lässt sich bei relativ hohen Kosten (1,5 – 2,5 Mio. €/a) und mit Wirkungsgraden von >90% nur bei gut durchlässigen Bodenverhältnissen einsetzen.

Den größten Einfluss auf die jährlichen Kosten für eine flächenhafte Abkopplung von Häuserblocks hat in der Modellbetrachtung die Durchlässigkeit des Untergrundes. Eine Reduktion der Durchlässigkeit des Bodens von $K_f=10^{-4}$ m/s auf einen K_f von 10^{-6} m/s führt bei allen betrachteten Systemen bei gleichem Wirkungsgrad (>99%) zu einer Steigerung der jährlichen Kosten um einen Faktor von ca. 3. Im Vergleich dazu hat eine Steigerung der Regenintensität einen geringeren Einfluss. Die Bemessung der Technologien für ein Starkregenereignis von 100 a erhöht im Vergleich zu einem 5-jährigen Ereignis die spezifischen Kosten für die blau-grünen Technologien um den Faktor von ca. 2.

Bei der Betrachtung der spezifischen Kosten pro Einwohner und Jahr für eine flächenhafte Abkopplung der Häuserblocks wurde für den Stadtteil „Leipzig-Nord“ eine Einwohnerzahl von 47.000 zugrunde gelegt. Für eine Wirksamkeit von >99 % und einem gut durchlässigen Boden ($K_f=10^{-4}$ m/s) betragen die spezifischen jährlichen Kosten für die Muldensysteme zwischen 9 € und 16 € pro Jahr und Einwohner.

Eine detaillierte Kosten- und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird in Kapitel 6 durchgeführt. Ergänzend zu der hier dargestellten, auf durchschnittliche Einzelpreise basierten

Investitionskosten wurden zur Validierung der Ergebnisse auch Literaturdaten zu Investitions- und Betriebskosten von Retentions- und Versickerungsanlagen mit in die Betrachtung aufgenommen.

3.8 Zwischenfazit Modellansatz

- 1) Der entwickelte Modellierungsansatz MUST-B erlaubt eine schnelle Erstellung von Software-basierten technologischen Lösungsszenarien/-konzepten zur Abschätzung des Potentials für eine dezentrale Niederschlagsbewirtschaftung im urbanen Umfeld.
- 2) Dem Modellierungsansatz liegt der Häuserblock als kleinste funktionelle Einheit für ein Niederschlagsmanagement zugrunde und ist durch die funktionelle Aggregation der Blöcke leicht auch größere Stadtgebiete zu skalieren.
- 3) Die dem Ansatz zugrundeliegenden Daten stehen in der Regel auf lokaler Ebene z.B. im GeodatenService von Städten und Kommunen zur Verfügung. Eine kostenintensive Neuerhebung von Daten entfällt somit.
- 4) Das Fallbeispiel des Stadtteils „Leipzig-Nord“ belegt das große Potential einer dezentralen urbanen Niederschlagsentwässerung zur Vermeidung und Rückhaltung von Niederschlagsabflüssen auf Häuserblockebene im Bestand. Durch dezentrale Maßnahmen auf Häuserblockebene kann auch für extreme Rahmenbedingungen (schwach durchlässiger Boden: $k_f=10^{-6}$ m/s) und Extremregenereignisse (100-jährig, 2h, 60 mm) Niederschlagswasser zu nahezu 100% zurückgehalten und versickert werden kann. Damit werden bestehende Abwasserinfrastrukturen entlastet, Überschwemmungsgefahren vermieden, der lokale Wasserhaushalt wiederhergestellt und die Gewässerqualität verbessert.
- 5) Die Ergebnisse der Potentialanalyse implizieren, dass auch im Zuge der Nachverdichtung innerstädtischer Bereiche und der damit einhergehenden Reduktion der nicht versiegelten Flächen auf Häuserblockebene (bis ca. 20%) effektive technische Möglichkeiten einer Dezentralisierung des Niederschlagsmanagements möglich sind.
- 6) Für Häuserblocks mit einem Versiegelungsgrad von >75% ist eine vollständige Rückhaltung des Niederschlagswassers nur in Kombination von extensiven Versickerungstechnologien und Retentionstechnologien oder intensiven Versickerungstechnologien unter befestigte Flächen möglich.
- 7) Die durch eine vereinfachte Vorplanung abgeschätzten Einwohner-spezifischen Kosten für eine flächenhafte Abkopplung der Häuserblocks im Stadtteil „Leipzig-Nord“ von >99 % (durchlässiger Boden $K_f=10^{-4}$ m/s, 30-jähriges Regenereignis) wurden für die günstigste Technologievariante mit ca. 13€ pro Einwohner und Jahr ermittelt.
- 8) Die spezifischen Kosten (€/a) für ein dezentrales Niederschlagsmanagement auf Häuserblockebene erhöhen sich bei gleicher Wirksamkeit im Vergleich eines gut durchlässigen Bodens ($K_f=10^{-4}$ m/s) mit einem schlecht durchlässigen Boden ($K_f=10^{-6}$ m/s) um den Faktor von ca. 3.
- 9) Die Auslegung der Technologien für ein Starkregenereignis von 100 a erhöht im Vergleich zu einem 5-jährigen Ereignis bei gleicher Wirksamkeit die spezifischen Kosten für die blau-grünen Technologien um den Faktor von ca. 2.
- 10) Die Computersimulation und Visualisierung von Möglichkeiten eines urbanen dezentralen Niederschlagsmanagements erleichtert die Entscheidungsfindung für

unterschiedliche Zielgruppen und ist eine sinnvolle Planungsgrundlage für dessen Umsetzung.

- 11) Für Anwender ist dieser Modellansatz einfach nachzuvollziehen und mit den beschriebenen Inputdaten ist eine Übertragbarkeit auf andere Stadtquartier gewährleistet.

4 Auswahl integrativer Schmutzwasser-Managementkonzepte für Stadtteile

Neben dem Niederschlagswasser sollte bei der Entwässerungsplanung einer Stadt auch immer das Schmutzwasser betrachtet werden. Anders als das Niederschlagswasser fällt es relativ kontinuierlich an und ist zumeist deutlich stärker und gleichmäßiger verschmutzt. Auch beim Schmutzwasser gibt es Ansätze der Dezentralisierung, die in den letzten Jahrzehnten wissenschaftlich untersucht und in Pilotvorhaben umgesetzt wurden. In der Praxis der Entwässerungsplanung sind sie in Deutschland bisher noch nicht angekommen. Die Dezentralisierung der Niederschlagsentwässerung ist eine gute Gelegenheit, ebenfalls eine Dezentralisierung der Schmutzwasserbehandlung in Erwägung zu ziehen. Im Folgenden finden sich hierzu mögliche Szenarien.

Schmutzwasser wird in Städten üblicherweise zentral gesammelt und behandelt, meist in großen Kläranlagen am Rande der Stadt. Dies hat sich bezüglich der primären Ziele Seuchenhygiene und Gewässerschutz bewährt, auch wenn es noch ungelöste Problemstellungen gibt, wie z.B. die hohen Kosten für den Erhalt der Kanalisation und den Überlauf von ungereinigtem Abwasser ins Gewässer bei starken Niederschlagsereignissen (bei Mischkanalisationen). In den letzten Jahrzehnten ist jedoch die Ressourceneffizienz als weitere Zielstellung hinzugekommen. Dies betrifft in erster Linie die Ressourcen Energie, Nährstoffe und Wasser, aber auch den Beitrag zum Klimawandel.

Energie wird zum Transport und zur Reinigung von Schmutzwasser benötigt. Je weitergehender das Schmutzwasser gereinigt werden soll, desto mehr Energie ist dafür nötig. Hier wird in erster Linie elektrische Energie benötigt, in den letzten zehn Jahren gab es erhebliche Anstrengungen, den Energieverbrauch auf Kläranlagen durch erhöhte Effizienz zu reduzieren (Fricke 2009). Auf der anderen Seite enthält Abwasser auch eine Menge Energie. Bisher wird vor allem die chemisch gebundene Energie genutzt, welche bei der Klärschlammfäulung gewonnen wird. Üblicherweise wird das erzeugte Biogas in Blockheizkraftwerken zu Strom und Wärme umgewandelt, wobei eine Nutzung der Wärme meist nur auf der Kläranlage selbst möglich ist. Ein großes Potenzial besteht jedoch auch in der Nutzung der Wärmeenergie des Abwassers (Beuth, Hamann 2019). Dieses ist am sinnvollsten in Kanälen mit sehr großem Schmutzwasserdurchfluss, nahe der Nutzer der Wärme.

Nährstoffe gelangen in erster Linie über menschlichen Urin und Fäzes ins Schmutzwasser. Es handelt sich hier hauptsächlich um Stickstoff- und Phosphorverbindungen, die im Gewässer zur Eutrophierung führen und daher in der Kläranlage entfernt werden müssen. Gleichzeitig sind diese Nährstoffe als Dünger jedoch wertvoll. Stickstoffdünger wird über das Haber-Bosch-Verfahren großtechnisch aus der Luft gewonnen, hierfür wird jedoch Energie verbraucht. Phosphor ist eine endliche Ressource und wird in wenigen Ländern über Bergbau gewonnen. Mit der Novelle der Klärschlammverordnung im Jahr 2017 (BMU 2017) wurde festgelegt, dass in Deutschland ab 2029 auf größeren Kläranlagen Phosphor zurückgewonnen werden muss.

Sauberes Wasser ist ebenfalls eine wertvolle Ressource. Weltweit gibt es schon lange unterschiedliche Ansätze zur Wasserwiederverwendung, also zur direkten Nutzung des gereinigten Schmutzwassers. Die Nutzung als Trinkwasser ist hier aus ökonomischen Gesichtspunkten allerdings nur bei extremem Wassermangel eine Option. Häufiger wird gereinigtes Schmutzwasser zur Bewässerung von Grünflächen, zur Straßenreinigung oder zur Anreicherung des Grundwassers genutzt. Da Schmutzwasser im Gegensatz zu Regenwasser kontinuierlich anfällt, kann es eine wichtige Rolle beim Betrieb blau-grüner Infrastrukturen spielen (siehe auch Schwammstadt, Water Sensitive Urban Design etc.). In Deutschland hat die

Nutzung alternativer Wasserressourcen seit den beiden trockenen Sommern 2018 und 2019 an Relevanz gewonnen.

Um die Ressourceneffizienz im Schmutzwassermanagement zu erhöhen, sind in den letzten Jahrzehnten kreislaforientierte Sanitärsysteme entwickelt und in einigen Fällen auch erprobt bzw. umgesetzt worden (z.B. Hamburg Water Cycle (Wuttke, Meier 2016; Oldenburg et al. 2016), semizentral Qingdao (Tolksdorf et al. 2016a; Tolksdorf et al. 2016b), Lübeck Flintenbreite, DEUS 21 (Mohr, Trösch 2013), H+ in Helsingborg (Lennartsson et al 2019; Landsbo et al. 2018)). Die grundlegende Idee dabei ist, einerseits durch einen geringeren Grad der Zentralität den Transportaufwand zu reduzieren, was insbesondere bei der Nutzung von Wärme und aufbereitetem Wasser relevant ist. Weiterhin zielen diese Ansätze auch auf eine Trennung der Stoffströme an der Quelle, so dass durch weniger Vermischung eine Rückgewinnung effizienter möglich ist.

Da in Deutschland im urbanen Raum bereits flächendeckend zentrale Schmutzwassersysteme existieren und die Erneuerungszyklen der Infrastruktur sehr groß sind, konnten sich diese alternativen Sanitärsysteme bisher kaum durchsetzen. Gerade wegen dieser Langlebigkeit der Infrastruktur ist es jedoch wichtig, bei Planungen frühzeitig solche Alternativen zu berücksichtigen, um rechtzeitig die Weichen für einen möglicherweise sinnvollen Umbau stellen zu können. Daher werden im Folgenden einige Alternativen dargestellt.

In Abgrenzung von den zentralen Systemen, werden die hier erwähnten neuartigen Sanitärsysteme häufig als semizentral oder semi-dezentral bezeichnet. Sie sind nicht zu verwechseln mit dezentralen Kleinkläranlagen, die im ländlichen Raum eingesetzt werden. Diese sind nicht in der Lage, eine Reinigungsleistung zu bringen, die in einer stark verdichteten Stadt zum Gewässerschutz notwendig ist und werden daher im Rahmen dieser Arbeit nicht betrachtet.

Bei der Auswahl eines geeigneten Schmutzwasser- Managementkonzepts müssen zahlreiche, teils widersprüchliche Zielstellungen berücksichtigt werden (siehe auch Kapitel 1.1.1):

1. Gewässerschutz
2. Grundwasserschutz
3. Wirtschaftlichkeit
4. Trinkwasserbedarf reduzieren
5. Ressourcen schonen
6. CO₂-Emissionen senken - Energiebedarf reduzieren
7. Mikroklima und Artenvielfalt verbessern
8. Lebensqualität verbessern
9. Flexibilität gegenüber Zu-/Abwanderung

4.1 Modellansatz

Da es in der Realität eine große Vielfalt an Konzepten im Umgang mit Schmutzwasser in Städten gibt, werden hier Merkmale dargestellt, anhand derer sich die Konzepte klassifizieren lassen.

Zunächst kann unterschieden werden, ob es sich um ein neues oder ein bestehendes Quartier handelt. Im Folgenden werden nur Bestandsquartiere betrachtet.

Das Schmutzwasser kann in folgende Teilströme eingeteilt werden: Gelbwasser (Urin), Braunwasser (Fäkalien), Schwarzwasser (Urin und Fäkalien) sowie Grauwasser (Schmutzwasser ohne Urin und Fäkalien).

Bei der Schmutzwassersammlung gibt es daher folgende Varianten:

- Schmutzwasser und Regenwasser (Mischsystem)
- Schmutzwasser (Trennsystem)
- Grau- und Schwarzwasser trennen
- Grau-, Gelb- und Braunwasser trennen

Bioabfälle können einem der Schmutzwasserströme zugegeben werden, sie sollten vorher aber entsprechend zerkleinert werden. Hier sollte beachtet werden, dass es abhängig vom Sammelsystem Probleme mit Ablagerungen geben könnte und dass zunächst die rechtlichen Rahmenbedingungen geklärt werden müssen, da diese Abfälle unter das Abfallrecht fallen.

Als Betrachtungsebene definieren wir folgende Einheiten:

- Stadt
- Stadtteil (z.B. 50.000 EW)
- Quartier (ca. 10.000 EW)
- Häuserblock (ca. 200 EW)

Bezüglich der Nutzung des Wassers bzw. seiner Inhaltsstoffe gibt es folgende Varianten:

- Anstelle von Trinkwasser für bestimmte Nutzungen im Haushalt (z.B. Toilettenspülung, Waschmaschine, Spülmaschine)
- Bewässerung/ Versickerung im privaten oder öffentlichen Raum
- Wärmeenergie aus Biogas bzw. Abwasserwärme
- Nährstoffe als Dünger im Gartenbau und in der Landwirtschaft

4.2 Festlegung und erste Bewertung der spezifischen Eingangsdaten für die Simulation

Um die durch die Vielzahl an Optionen bedingte Komplexität zu reduzieren, werden im Folgenden definierte Szenarien betrachtet und simuliert. Dazu wird auf die im vorhergehenden Kapitel getroffenen Definitionen zurückgegriffen. Da im Rahmen dieser Arbeit der Fokus auf einem bestehenden Stadtteil lag, wird der Neubau in den nachfolgenden Simulationen nicht betrachtet und nur qualitativ mitdiskutiert. Die Betrachtungen beziehen sich auf einen zentralen, urbanen Stadtteil und wurden am Beispiel „Leipzig Nord“ entwickelt.

Zunächst wird einerseits die Größe der betrachteten Einheit, andererseits die angestrebte Nutzung von Teilströmen zur Definition der Szenarien genutzt. Als Szenario 0 fließt der Status Quo in Leipzig (zentrale Infrastruktur) mit in die Betrachtung ein. Gleichzeitig wird in allen anderen Szenarien davon ausgegangen, dass die in Kapitel 3 beschriebenen Maßnahmen zur Zurückhaltung von Regenwasser von den Grundstücken umgesetzt wurden. Das Regenwasser von öffentlichen Flächen und Straßen wird weiterhin im bestehenden Kanal gesammelt.

Tabelle 8: Übersicht der gewählten Schmutzwasser-Szenarien

	Stadtteil	Quartier	Block
Keine Teilstromtrennung	1, 1A	-	-
Nutzung Grauwasser/ Schwarzwasser	-	2, 2A	-
Nutzung Grauwasser	-	-	3

Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Szenarien findet sich in Kapitel 4.3. Da es im Bestand sehr aufwändig ist, nachträglich eine Trennung zwischen den unterschiedlichen Schmutzwasserfraktionen vorzunehmen, wird für die größte Betrachtungsebene (Stadtteil) nur ein Szenario ohne Teilstromtrennung betrachtet (Szenario 1 und 1A). Die hier angenommene Einwohnerzahl entspricht annähernd der des Stadtteils „Leipzig-Nord“.

Bei der Renovierung eines Quartiers ist es realistischer, eine Teilstromtrennung vorzunehmen. Zudem gibt es immer wieder den Fall des Neubaus eines innerstädtischen Quartiers auf Konversionsflächen (z.B. Leipzig 416). Als Teilstromtrennung wird hier nur die Auftrennung des Schmutzwassers in Grauwasser und Schwarzwasser betrachtet. Eine Abtrennung von Urin kann für die Rückgewinnung von Nährstoffen sehr sinnvoll sein, es gibt bisher am Markt aber noch keine etablierten Trenntoiletten, daher wird diese Option in den Szenarien nicht berücksichtigt.

Es ist nur sinnvoll, für eine kleine Einheit wie das Quartier eine eigene Schmutzwasserbehandlung vorzusehen, wenn man Wasser sowie Wärme nutzen möchte, was durch eine Teilstromtrennung erheblich erleichtert wird. Daher steht die Verwertung von Ressourcen im Fokus der Szenarien 2 und 2A. Ein eigenes System für die kleinste Einheit, den Block, ist nur in Bezug auf die Grauwassernutzung ökonomisch sinnvoll, die mit relativ einfacher Technik möglich ist (Szenario 3). Komplexere Prozesse sollten aus ökonomischer Sicht nur in größerem Maßstab vorgesehen werden.

Nachdem das in Frage kommende Gebiet inklusive der Anzahl der anzuschließenden Einwohner sowie die zu untersuchenden Varianten gewählt wurden, müssen weitere Eingangsgrößen für die Simulation festgelegt werden. Zunächst sind die Menge und die Zusammensetzung des anfallenden Schmutzwassers wichtig. Bei der Menge kann im Bestand häufig auf vorhandene Daten zurückgegriffen werden, bei der Zusammensetzung kann man Messkampagnen durchführen. Da es bei beiden Parametern zu starken täglichen Schwankungen kommen kann, kann auch auf Erfahrungswerte zurückgegriffen werden. Bei Grauwasser und Schwarzwasser sind Messungen normalerweise nicht möglich, da diese nicht getrennt gesammelt werden.

Im Folgenden werden Annahmen zusammengestellt, auf deren Grundlage die Szenarien berechnet wurden. Es handelt sich hier um aus Erfahrung und der Fachliteratur ermittelte Werte, die helfen, die Kennwerte der einzelnen Szenarien bezüglich Größenordnung einzuordnen, die im Falle einer Anwendung aber durch eine genaue Bemessung und Kalkulation ersetzt werden müssen.

Folgende Annahmen wurden bei den hier durchgeführten Simulationen getroffen, dabei wurde insbesondere auf Erfahrungen aus [DWA 2008 und ATV-DVWK-A 131 2000] zurückgegriffen:

Wasserverbrauch: 90 Liter pro Einwohner und Tag

Schmutzwasseraufkommen: 90 % des Wasserverbrauchs (81 Liter pro Einwohner und Tag)

Grauwasseraufkommen: 60 Liter pro Einwohner und Tag

Schwarzwasseraufkommen: 21 Liter pro Einwohner und Tag

Die jeweiligen Annahmen zu einwohnerspezifischen Frachten und die sich daraus ergebenden Konzentrationen wichtiger Schmutzwasserparameter sind in Tabelle 9 zusammengestellt.

Tabelle 9: Annahmen zur Fracht und Konzentration der Schmutzwasserfraktionen

	CSB		Stickstoff		Phosphor		Abfiltrierbare Stoffe	
	Fracht (g/E/d)	Konz. (mg/l)	Fracht (g/E/d)	Konz. (mg/l)	Fracht (g/E/d)	Konz. (mg/l)	Fracht (g/E/d)	Konz. (mg/l)
Schmutzwasser	120	1481	11	136	1,8	22	70	900
Grauwasser	47	783	1	17	0,5	8	35	583
Schwarzwasser	73	3476	10	476	1,3	62	35	1667

Um diese Annahmen an die spezifische Situation anpassen zu können, ist insbesondere darauf zu achten, inwiefern gewerbliche oder industrielle Abwässer im Gebiet anfallen.

Beim Aufkommen des Bioabfalls wurde von 51 kg pro Einwohner und Jahr ausgegangen (UBA 2010), es wurde mit einer Trockenmasse von 30% und einem organischen Anteil an der Trockenmasse von 90% gerechnet.

Annahmen zu Effizienz, Energiebedarf und Kosten der technischen Komponenten:

Da es für einige der technischen Komponenten, wie die Vakuumkanalisation oder die anaerobe Behandlung von Schwarzwasser sowie die Phosphorrückgewinnung bisher wenige oder keine Umsetzungen in dem betrachteten Maßstab gibt, sind einige der Annahmen zu Kosten mit hohen Unsicherheiten behaftet.

Aerobe Abwasserreinigung

Hier wurde von der Anwendung des Belebtschlammverfahrens nach DWA A131 ausgegangen. Es wurde bei der Bemessung von einer minimalen Temperatur von 12°C ausgegangen, das Schlammalter wurde je nach Bedarf bei der Stickstoffelimination gewählt und ist bei den Szenarien jeweils angegeben. Ablaufkonzentrationen bewegen sich in der Größenordnung CSB 15-40 mg/l, Phosphor < 1 mg/l, Gesamtstickstoff < 5 mg/l, bei Szenario 1 und 1A < 10 mg/l. Für Szenario 1, bei welchem die aerobe Abwasserreinigung weitgehend einer herkömmlichen Belebtschlammanlage entspricht, wurde der Stromverbrauch sowie die Kapital- und Betriebskosten über etablierte Kennwerte abgeschätzt (Fricke 2009; Imhoff et al. 2005). Da die Anlagen in Szenarien 2 und 3 deutlich schwächer mit Stickstoff belastet werden und daher hier

nicht mit Erfahrungswerten kommunaler Kläranlagen gerechnet werden kann, wurden die Kennwerte angepasst, jeweils unter Berücksichtigung der für die unterschiedlichen Kläranlagengrößen gültigen Kennzahlen. Bei den Energiekosten erfolgte diese Anpassung proportional zu dem jeweiligen Sauerstoffbedarf, bei den Kosten proportional zur jeweiligen Belebungsbeckengröße.

Membranbioreaktor

Für den Membranbioreaktor in Szenario 1A wird angenommen, dass er mit einer im Belebungsbecken getauchten herkömmlichen Mikrofiltrationsmembran ausgestattet ist. Die CSB-Konzentration im Ablauf reduziert sich hier auf Werte zwischen 10 und 20 mg/l, Stickstoff- und Phosphorkonzentrationen bleiben unverändert. Der zusätzliche Energieverbrauch für den Betrieb der Membran wird mit 0,6 kWh/m³ angenommen (Frechen 2012), die zusätzlichen Betriebskosten mit 0,15 €/m³ und die Investitionskosten für die gesamte Membranbelebungsanlage mit 4.000 €/m³ (DWA 2008a). Zur Umrechnung der Investitionssumme in jährliche Kapitalkosten wurde von einer Nutzungsdauer von 15 Jahren und einem Zinssatz von 3% ausgegangen.

Vakuumkanalisation

In den Szenarien 2 und 2A wird Schwarzwasser separat gesammelt. Dafür bietet sich aufgrund des geringen Volumenstroms und der damit geringen Schleppkraft eine Vakuumkanalisation an, die auch durch die höhere Flexibilität bei der Verlegung für eine Sanierung im Bestand eher vorteilhaft ist. Hierzu wird eine zentrale Vakuumstation benötigt, an der ein Unterdruck erzeugt wird, welcher im gesamten Netz anliegt. Dieses Netz ist über Vakuumventile verschlossen. Fällt Abwasser an, öffnen sich diese Ventile automatisch und das Abwasser wird zur Übergabestation transportiert. Von dort wird es dann über Pumpen zur Abwasserreinigung gefördert. Für den spezifischen Energieverbrauch der Vakuumkanalisation wurde ein Wert von 25 kWh pro Einwohner und Jahr angenommen (Mohr et al. 2016), für Betriebskosten 140 € pro Übergabeventil und Jahr (Mohr et al. 2018). Es wird ein Übergabeventil pro Haushalt angesetzt, bei durchschnittlich 1,65 Einwohnern pro Haushalt. Bezüglich der Investitionskosten wurde eine überschlägige Aufstellung gemacht, die auf Erfahrungen mit umgesetzten Projekten basiert. Hierbei ergeben sich Kosten von ca. 9,5 Mio. €, die mit einer mittleren Nutzungsdauer der Komponenten von 20 Jahren und einem Zinssatz von 3 % auf Kapitalkosten von 64 € pro Einwohner und Jahr umgerechnet wurden. Deutlich erhöht werden diese Kosten bei Szenario 2A, da hier pro Haushalt ein Küchenabfallzerkleinerer (ca. 1.500 €) beschafft werden muss. Damit ergeben sich Kapitalkosten von 125 € pro Einwohner und Jahr.

Anaerobe Abwasserreinigung

Zur Behandlung des Schwarzwassers wird in Szenarien 2 und 2A ein anaerobes Behandlungsverfahren eingesetzt. Hier kann ein UASB-Reaktor oder ein getauchtes Festbett verwendet werden. Eine Heizung wird nicht vorgesehen, entsprechend wird für die Behandlung wenig Energie eingesetzt, der Abbaugrad ist durch niedrige Temperaturen im Bereich 12 bis 20°C allerdings auch limitiert (Annahme: 30% des CSB wird abgebaut). Energie wird bei diesem Schritt nur für das Pumpen des Abwassers verwendet (Annahme: 0,06 kWh/m³). Damit trägt diese Behandlungsstufe nur mit 0,5 kWh pro Einwohner und Jahr zum Energieverbrauch bei, mit 0,4 € pro Einwohner und Jahr zu den Betriebskosten (Stromverbrauch und Arbeitskosten) und mit 7 € pro Einwohner und Jahr zu den Kapitalkosten (Investition 1 Mio. €, Nutzungsdauer 20 a). Das entstehende Biogas (0,35 Liter pro g CSB abgebaut) hat einen Energiegehalt von 6 kWh/m³, der Wirkungsgrad bei der Wärmeerzeugung wird mit 90% angenommen.

Schlammfäulung

Eine Schlammfäulung wird ebenfalls bei den Szenarien 2 und 2A vorgesehen. Da Feststoffe (Klärschlamm und in 2A Bioabfall) zugegeben werden, ist hier der Reaktor auf ca. 37°C temperiert und voll durchmischt. Die Verweilzeit beträgt 10 bis 20 Tage, der Klärschlamm wird zu 40% abgebaut, der Bioabfall zu 65 % (jeweils bezogen auf die organischen Feststoffe). Der Heizbedarf wird basierend auf Erfahrungswerten mit 21 kWh pro Einwohner und Jahr angesetzt, dies wird von der erzeugten Wärmeenergie abgezogen. Es kann davon ausgegangen werden, dass die im Grauwasser befindlichen Nährstoffe bei der aeroben Behandlung in die Biomasse eingebaut werden. Es wird angenommen, dass die Hälfte dieser Nährstoffe bei der Schlammfäulung im Schlamm verbleibt und mit ihm als Gärrest entsorgt wird, die andere Hälfte zurückgelöst wird und damit der Nährstoffrückgewinnung zugeführt werden kann. Die Nährstoffmengen im zugebenen Bioabfall sind im Vergleich dazu vernachlässigbar gering (UBA 2010) und werden daher nicht weiter betrachtet. Für die Szenarien 0, 1 und 1A, bei denen der Klärschlamm auf einer zentralen Kläranlage behandelt wird, wird von einer Nutzung der elektrischen Energie im Bereich der üblichen Menge (15 kWh pro Einwohner und Jahr (BMU 2015)) ausgegangen. Wärmeenergie kann auf Grund der großen Entfernung zu den Verbrauchern üblicherweise nur auf der Kläranlage selbst genutzt werden, daher wird diese hier nicht mit aufgeführt. Kapitalkosten für Fäulungen liegen in der Größenordnung von 9 € pro Einwohner und Jahr, Betriebskosten und Stromverbrauch fallen im Vergleich zu den anderen Verfahren nicht ins Gewicht.

4. Reinigungsstufe

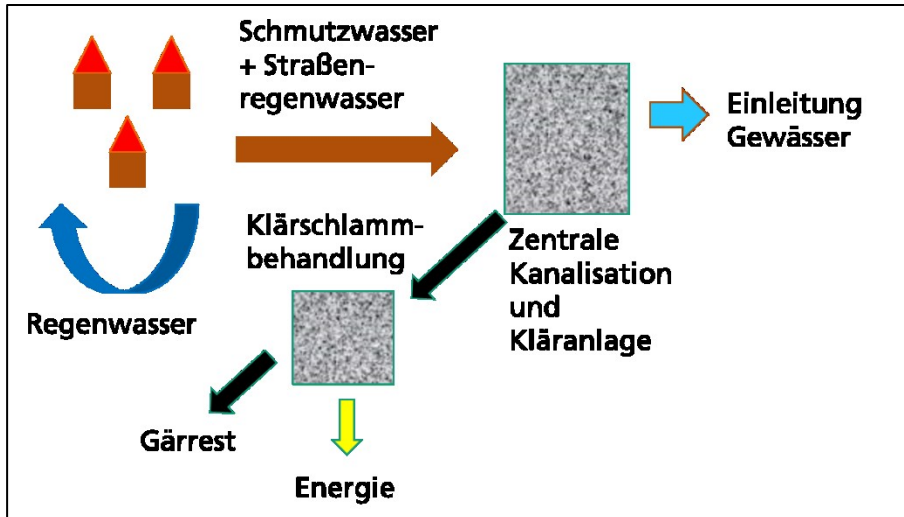
Nach der aeroben Reinigung entspricht die Qualität des Wassers dem Ablauf großtechnischer Kläranlagen in Deutschland und kann daher in Gewässer eingeleitet sowie für bestimmte Zwecke wie Straßenreinigung und Kanalspülung verwendet werden, wobei hier das Auftreten von Aerosolen vermieden werden sollte, da dieses Wasser immer noch pathogene Mikroorganismen enthält. Soll das Wasser höherwertig genutzt werden oder zur Anreicherung des Grundwassers versickert werden, ist eine weitergehende Reinigung notwendig. Zur Elimination von organischen Spurenstoffen bzw. Mikroschadstoffen sind Aktivkohleadsorption und Ozonbehandlung Stand der Technik. Zur Bewertung der Kosten und des Energieverbrauchs wird hier von dem Einsatz von Pulveraktivkohle ausgegangen. Dabei beträgt der Stromverbrauch 0,07 kWh/m³, die Betriebskosten 0,09 €/m³ und die Kapitalkosten 0,13 €/m³ (Metzger et al. 2014). Um die Keimbelastung des Wassers zu verringern, kann eine UV-Anlage eingesetzt werden. Diese hat einen Energieverbrauch von 0,03 kWh/m³ und Gesamtkosten von 0,06 €/m³.

Nährstoffrückgewinnung

Zur Phosphorrückgewinnung bieten sich Verfahren an, die in einem relativ hoch aufkonzentrierten Nebenstrom anwendbar sind, wie das P-Roc-Verfahren und das EPhos[®]-Verfahren. Da diese Verfahren bisher noch nicht in technischem Maßstab mit ausreichend Referenzen betrieben werden, ist eine Kostenangabe derzeit schwierig. Für P-Roc wird ein Bereich von 0,6-1,0 €/EW/a als Gesamtkosten angegeben (Ehbrecht et al. 2014). Es kann davon ausgegangen werden, dass ca. 90% des im Zulauf befindlichen Phosphors als Produkt (Magnesium-Ammonium-Phosphat, Struvit) zurückgewonnen werden kann. Stickstoff wird über eine Ammoniakstrippung zurückgewonnen. Hier können ca. 80% des Stickstoffs aus dem Teilstrom zurückgewonnen werden, z.B. als Ammoniumsulfat. Als Stromverbrauch kann hier 1,8 kWh/m³ und als Wärmebedarf zum Aufheizen des Wasser 9 kWh/m³ angenommen werden (DWA-AK 1.3, 2004). Aufgrund mangelnder Referenzen im entsprechenden Maßstab ist eine seriöse Kostenschätzung nicht möglich, es wird aber davon ausgegangen, dass die Kosten sowohl für die Investition als auch für den Betrieb wie bei der Phosphorrückgewinnung im Vergleich zu den sonstigen Kosten nicht ins Gewicht fallen.

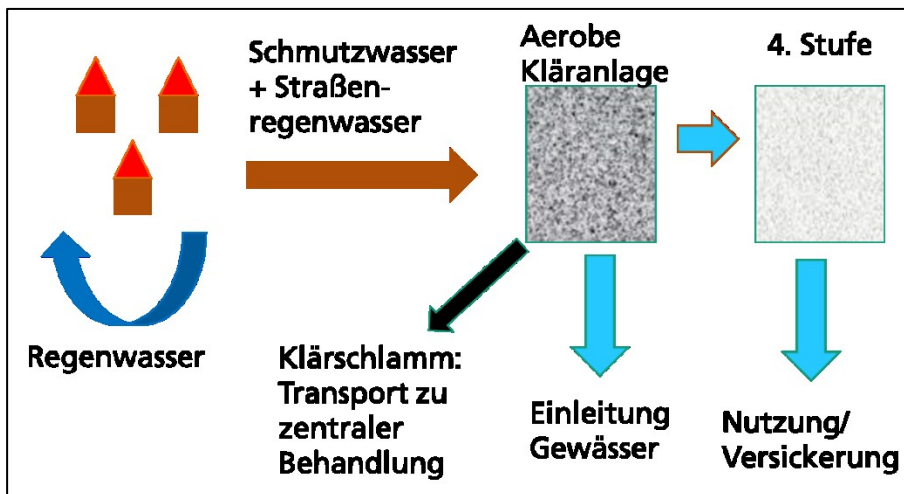
4.3 Beschreibung der gewählten Szenarien

Abbildung 17: Schmutzwasser-Szenario 0



Es wird der aktuelle Zustand mit zentraler Sammlung und Behandlung des Schmutzwassers betrachtet. Es gibt eine Schlammfäulung mit Nutzung des Biogases, jedoch keine 4. Reinigungsstufe und keine Phosphorrückgewinnung.

Abbildung 18: Schmutzwasser-Szenario 1



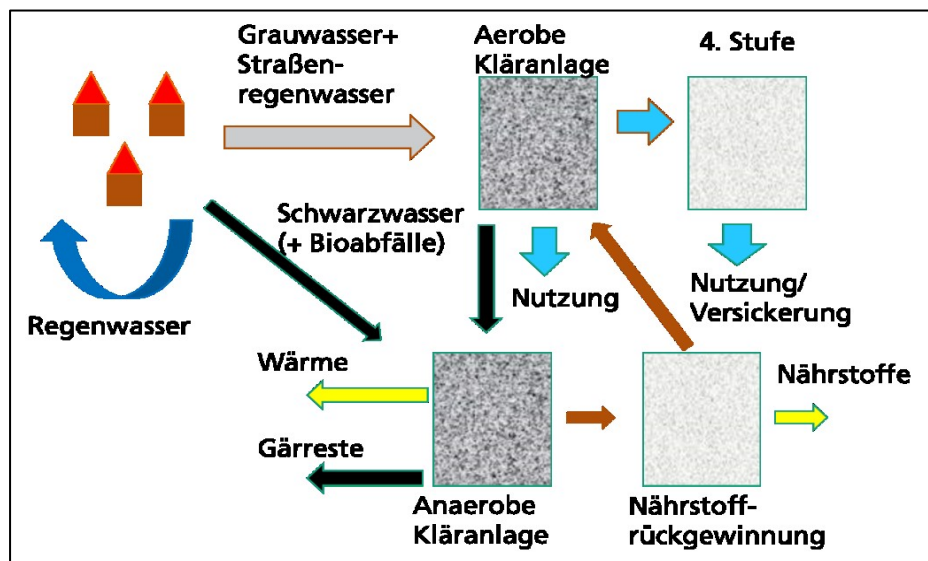
Dieses Szenario hat einerseits einen Entlastungseffekt für die zentrale Kläranlage, da das Schmutzwasser mit dem Straßenregenwasser im Stadtteil gereinigt wird. Andererseits macht es das gereinigte Wasser im Stadtteil verfügbar, was insbesondere in heißen und trockenen Sommern von Vorteil ist. Die Sammelinfrastruktur kann im Grunde beibehalten werden, an einer zentralen Stelle im Kanalnetz muss das Schmutzwasser zur Behandlungsanlage gehoben werden. Zur Behandlung kann ein herkömmliches Belebtschlammverfahren eingesetzt werden (Schlammalter 10 Tage), im Anschluss kann ein Teil des gereinigten Wassers in ein Oberflächengewässer eingeleitet oder für Nutzungen mit einem geringen Anspruch an die Wasserqualität wie Straßenreinigung und Kanalspülung eingesetzt werden. Für eine höherwertige Nutzung wie Grünflächenbewässerung oder Grundwasseranreicherung sollte das Wasser weitergehend aufbereitet werden, z.B. durch einen Aktivkohlefilter, eine Ozonung

und/oder eine UV-Anlage. Es wird davon ausgegangen, dass ca. 50 % des Wassers höherwertig genutzt werden kann. Der in der biologischen Abwasserreinigung anfallende Klärschlamm kann entweder vor Ort einer Faulung zugegeben werden, oder zu einer zentralen Behandlungsanlage transportiert werden. In diesem Falle wurde der Transport zu einer zentralen Anlage gewählt, da von limitierten Platzverhältnissen ausgegangen wurde. Der Vorteil einer Nutzung der Wärme durch in der Nähe befindliche Nutzer könnte für eine Faulung am Standort sprechen, allerdings setzt dies wiederum eine Verteilinfrastruktur voraus, die für einen Stadtteil relativ aufwändig zu realisieren wäre.

Szenario 1A:

Aufgrund potenziell limitierender Platzverhältnisse für eine Abwasserreinigung im Stadtteil wird in dieser Variante der Einsatz eines Membranbioreaktor-Verfahrens betrachtet. Hier wird das Nachklärbecken durch eine Membranfiltration ersetzt. Neben der Fläche des Nachklärbeckens, die eingespart wird, verringert sich auch die Fläche der Belebungsbecken, da mit einer höheren Schlammkonzentration gearbeitet werden kann (Annahme: 10 g/l anstatt 3 g/l, Schlammalter ebenfalls 10 Tage). Einerseits führt dies zu höheren Kosten und höherem Betriebsaufwand, andererseits hat das gereinigte Wasser eine höhere Qualität und kann möglicherweise direkt zur Grünflächenbewässerung eingesetzt werden. Eine Zugabe von Pulveraktivkohle in das Belebungsbecken würde bei der Spurenstoffelimination helfen.

Abbildung 19: Schmutzwasser-Szenario 2



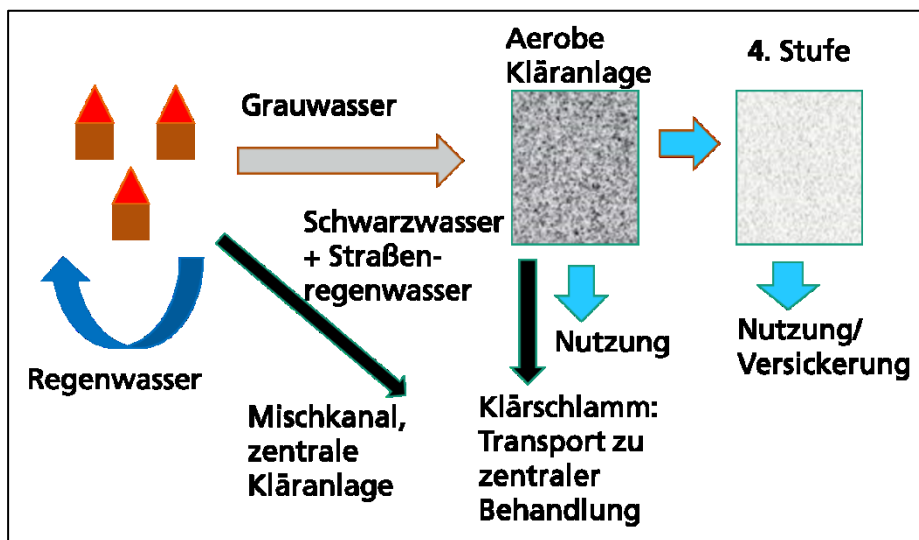
Szenario 2 betrachtet die maximale Nutzung der im Schmutzwasser enthaltenen Ressourcen auf Quartiersebene. Grauwasser wird in einer aeroben Anlage (z.B. Belebtschlammverfahren, Schlammalter 8 Tage) behandelt. Da hier im Zulauf weniger Nährstoffe enthalten sind, kann diese Anlage kleiner ausgelegt werden als in Szenario 1. Das Schwarzwasser, welches höhere Konzentrationen an CSB als auch an Nährstoffen enthält, wird zunächst anaerob behandelt (z.B. UASB oder getauchtes Festbett). Hier wird einerseits Belüftungsenergie eingespart, andererseits Biogas erzeugt. Eine Heizung wird nicht vorgesehen: dies reduziert den Abbaugrad (Annahme: 30 % des CSB), sie würde sich aufgrund des Energiebedarfs aber wohl nicht lohnen. Der Schlamm aus der Grauwasserreinigung wird ebenfalls anaerob behandelt, allerdings beheizt, da es sich um einen deutlich geringeren Volumenstrom handelt (auf 70 g/l eingedickt). Aufgrund der relativ geringen Biogasproduktion wird sich eine Verstromung hier nicht lohnen, daher wird die Nutzung der nach Verbrennung anfallenden Wärme in einem Nahwärmenetz betrachtet. Nach der anaeroben Behandlung sind im Schwarzwasser sowie im Schlammwasser hohe

Konzentrationen an Stickstoff (als Ammonium) und Phosphor (als Phosphat) enthalten. Für diese Ströme ist eine Nährstoffrückgewinnung vorgesehen, z.B. Luftstrippung und Struvit-Fällung (Annahme: 80% des enthaltenen Stickstoffs und 90% des enthaltenen Phosphors können zurückgewonnen werden). Das Wasser wird anschließend in die aerobe Abwasserreinigung zurückgeführt. Der Ablauf der aeroben Stufe kann wie in Szenario 1 direkt verwertet oder für eine höherwertige Nutzung aufbereitet werden. Da hier der Maßstab bereits deutlich dezentraler ist als in Szenario 1, wird davon ausgegangen, dass alles Wasser verwendet werden kann.

Szenario 2A:

Um die Ausbeute an Biogas und damit Energie weiter zu steigern, werden hier Bioabfälle gemeinsam mit dem Schwarzwasser gesammelt. Dies ist z.B. über eine Vakuumkanalisation und Küchenabfallzerkleinerer möglich. Dies erhöht den Komfort der Bioabfallentsorgung, da dies über die Spüle geschehen kann und keine Aufbewahrung notwendig wird. Über eine Absetzvorrichtung werden die Bioabfälle in der Behandlungsanlage vom Schwarzwasser getrennt und in die Klärschlammfäulung gegeben.

Abbildung 20: Schmutzwasser-Szenario 3



In Szenario 3 wird auf Blockebene die Wassernutzung optimiert, gleichzeitig wird die bestehende Infrastruktur zur Ableitung des Schwarzwassers weiter genutzt. Zur Grauwasseraufbereitung reicht eine kleine aerobe Anlage (Schlammalter 5 Tage), die in einen Kellerraum passen sollte. Hin und wieder muss Klärschlamm zur zentralen Kläranlage transportiert werden. Eine vierte Reinigungsstufe kann das Wasser für höherwertige Nutzungen aufbereiten.

4.4 Simulationsergebnisse

Tabelle 10 gibt einen Überblick über die wichtigsten Ergebnisse der simulierten Szenarien.

Tabelle 10: Simulationsergebnisse der Schmutzwasser-Szenarien

	Szenario 0	Szenario 1	Szenario 1A	Szenario 2	Szenario 2A	Szenario 3
Kapitalkosten Kläranlage: €/ (EW*a)	22 (Tränckner et al. 2013)	33	41	121*	182*	25**
Betriebskosten Kläranlage: €/ (EW*a)	31 (Tränckner et al. 2013)	32,5	37,5	123*	123*	24**
Kosten Schmutzwasserreinigung (€/m ³)***	1,79	2,22	2,66	8,26*	10,33*	2,23
Flächenbedarf im Stadtteil ¹ : m ²	0	2800	1040	2600 (5x520)	2600 (5x520)	3000 (250x12)
Nutzbare Wassermenge: m ³ / (EW*a)	0	15	15	29,5	29,5	22
Stromverbrauch: kWh/ (EW*a)	30	37	63	55	55	17**
Energie- Erzeugung: kWh/ (EW*a)	15****	15****	15****	30	85	0
Nährstoff zur Wiederverwendung P: kg/ (EW*a)	0	0	0	0,5	0,5	0

¹ Für Becken (Betriebsgebäude, Speichertanks, Wege etc. nicht enthalten.

	Szenario 0	Szenario 1	Szenario 1A	Szenario 2	Szenario 2A	Szenario 3
Nährstoff zur Wiederverwendung N: kg/(EW*a)	0	0	0	3	3	0
Reststoffe zur Entsorgung: kg/(EW*a)	16,5 (Tränckner et al. 2013)	27	27	17	23	12**

* Inklusive Kosten der Vakuumkanalisation

** Zuzüglich der Behandlung des Schwarzwassers in der zentralen Kläranlage

*** Bezogen auf Trockenwetterdurchfluss (nur Schmutzwasser)

**** Als Strom, da Wärme von Kläranlagen auf Grund großer Entfernungen normalerweise nicht nutzbar ist.

4.5 Diskussion der Ergebnisse

Auf den ersten Blick erscheint Szenario 0, also das bestehende, zentrale System, am vorteilhaftesten zu sein. Hier bestätigt sich, dass zentrale Infrastruktur spezifisch die geringsten Kosten aufweist, wenn man die üblichen Maßstäbe ansetzt. Was sich in den wirtschaftlichen Faktoren nicht ausdrückt, ist allerdings der Wert des Wassers, welches im Stadtteil gehalten wird. Würde für dieses der Trinkwasserpreis angesetzt, wären die Szenarien 1 und 3 wirtschaftlich vergleichbar mit Szenario 0. Insbesondere bei Szenario 3 kann das gereinigte Grauwasser tatsächlich einen Teil des Trinkwassers substituieren. In den anderen Szenarien wird es in erster Linie zur Bewässerung des Stadtgrüns sowie zur Anreicherung des Grundwassers verwendet. Dieses zahlt auf die weniger leicht ökonomisch zu quantifizierenden Ziele Verbesserung des Mikroklimas, der Artenvielfalt sowie der Lebensqualität im Stadtteil als auch auf den quantitativen Schutz des Grundwassers ein. Gerade vor dem Hintergrund der im Zuge des Klimawandels zunehmenden heißen und trockenen Sommer gewinnt diese Nutzung des Wassers an Bedeutung.

Die Szenarien 2 und 2A weisen mit Abstand die höchsten Kosten auf, diese lassen sich durch eine preisliche Bewertung der Nutzung des Wassers auch nicht ausgleichen. Dies begründet sich in erster Linie mit der Notwendigkeit einer separaten Kanalisation (hier: Vakuumsystem) für die Sammlung des Schwarzwassers (und der Küchenabfälle in Szenario 2A). Inwiefern eine Separation der Stoffströme an der Quelle im Bestand sinnvoll ist, muss im jeweiligen Einzelfall betrachtet werden. Es erfordert in jedem Fall zunächst eine hohe Investition. Ein Ausgleich der hohen Betriebskosten kann durch die Anrechnung möglicher Einkünfte bzw. Einsparungen erreicht werden: neben dem Wasser stehen hier auch Energie und Nährstoffe zur Verfügung, zudem werden Kosten für die Sammlung und Verwertung der Bioabfälle eingespart.

Eine Dezentralisierung der Schmutzwasserbehandlung kann sich auch auf den Gewässerschutz positiv auswirken, da einerseits weniger Schmutzwasser im Starkregenfall ungereinigt in die Gewässer überläuft, andererseits eine Behandlung nahe der Quelle viel spezifischer spezielle Verunreinigungen adressieren kann, wie beispielsweise pathogene oder antibiotikaresistente Mikroorganismen oder Arzneimittelrückstände im Abwasser von Krankenhäusern oder Pflegeheimen. Zudem weisen dezentralere Systeme eine höhere Flexibilität bei Änderungen der Rahmenbedingungen auf, z.B. bei demographischen Verschiebungen.

Anders als im Falle der Niederschlagswasserrückhaltung sind für die Schmutzwasserbehandlung öffentliche Flächen innerhalb der Stadtteile notwendig. Die Grauwasserbehandlung in Szenario 3 kann innerhalb von bestehenden Gebäuden durchgeführt werden (z.B. im Keller), allerdings sind auch hier zumindest gemeinschaftlich genutzte Räume mit Zugang für professionelle Betreiber notwendig.

Gerade für die Szenarien 2 und 3 gilt jedoch, dass die oben dargestellten Zahlen unter dem Vorbehalt stehen, dass es entsprechende Umsetzungen bisher nur in sehr kleinem Maßstab gibt und dass insofern kaum Erfahrungswerte vorliegen, auf deren Grundlage eine Quantifizierung der Wirkungen erfolgen kann. Im Zuge der fortschreitenden Digitalisierung kann davon ausgegangen werden, dass der Bedarf an geschultem Personal, welches sich auf den Anlagen aufhält, zunehmend durch automatisierte Systeme abgelöst wird und dezentralere Lösungen damit zunehmend wirtschaftlich attraktiv werden.

Wichtig ist, dass man bei der Bewertung entsprechender Szenarien das gesamte Entwässerungssystem einer Stadt berücksichtigt. So können für die Umsetzung eines semizentralen Schmutzwasserkonzepts zwar im Quartier höhere Kosten anfallen, dafür wird aber möglicherweise für einen Hauptsammler ein geringerer Kanalquerschnitt notwendig, was dann wiederum Kosten einspart (siehe auch Kapitel 2.2). Gelingt es, durch eine gezielte

Dezentralisierung des Entwässerungssystems einige Sammler überflüssig zu machen, sind hier große Einsparungen in Unterhalt und Sanierung möglich.

4.6 Zwischenfazit Schmutzwasser-Managementkonzepte

Anders als beim Niederschlagswasser, bei dem ein dezentraler Umgang zumindest in Neubaugebieten bereits seit längerem Stand der Technik ist, wurden beim Schmutzwasser dezentrale Konzepte im städtischen Umfeld bisher nur pilothaft umgesetzt. In dieser Studie wurden am Beispiel des Stadtteils „Leipzig-Nord“ verschiedene Szenarien mit unterschiedlich dezentralen Lösungen entwickelt und bezüglich ihrer Wirkungen quantifiziert. Anhand der Ergebnisse lässt sich einerseits zeigen, dass es zunächst zu höheren Kosten führt, wenn man ein bestehendes zentrales System dezentralisiert. Das ist der Grund, warum es bisher kaum umgesetzt wurde. Andererseits lassen sich aber auch Potenziale erkennen, die in Zukunft dazu führen können, dass sich dieser Ansatz zumindest unter bestimmten Rahmenbedingungen durchsetzt. Gerade der Aspekt, dass auf diesem Wege im Stadtteil, Quartier oder Wohnblock eine Wasserquelle zur Verfügung steht, die im Gegensatz zum Niederschlag relativ zuverlässig quantifizierbar ist und die für die lokale Bewässerung, Straßenreinigung und möglicherweise auch zur Grundwasseranreicherung genutzt werden kann, lässt eine Dezentralisierung des Schmutzwassersystems vor dem Hintergrund des Klimawandels zunehmend trockenen, heißen Sommern attraktiv erscheinen. Zudem kann auch mit einem positiven Effekt auf die Gewässerqualität gerechnet werden, da bei den dezentralen Konzepten ein Abschlag von Mischwasser nicht vorgesehen ist.

Um für die Planung entsprechender Konzepte eine bessere Datengrundlage zu bekommen, ist einerseits ein kontinuierliches Monitoring der bestehenden Umsetzungen notwendig, andererseits sollten weitere Pilotvorhaben gestartet werden. Nur wenn entsprechend zuverlässige Vorhersagen der Kosten und Wirkungen möglich sind, werden kommunale Entscheidungsgremien einer Transformation ihrer Städte im Sinne einer Dezentralisierung der Funktionen zustimmen.

5 Wirkungen der ortsnahen Regenwasserbewirtschaftung im Quartier

5.1 Einleitung - multidimensionale Wirkungen ortsnaher Regenwasserbewirtschaftung im städtischen Kontext

Die Potenzialanalysen am Beispiel des Stadtteils „Leipzig-Nord“ in Kapitel 3.4 haben gezeigt, dass technisch ein vollständiger Verbleib des Regenwassers im Quartier – selbst bei Extremniederschlägen – gewährleistet werden kann. Eine solche maßgebliche Transformation des siedlungswasserwirtschaftlichen Systems muss allerdings durch die kurz- und langfristig erzielbaren Nachhaltigkeitswirkungen gerechtfertigt sein. Daher stehen im Folgenden die Wirkungen der ortsnahen Regenwasserbewirtschaftung im Mittelpunkt.

Wie zahlreiche Forschungsveröffentlichungen und Praxisberichte verdeutlichen, bieten ortsnaher Ansätze der Regenwasserbewirtschaftung verschiedene Leistungen an, wie z. B. Rückhalt, Versickerung, Verdunstung von Niederschlägen (vgl. Tabelle 11) Diesen steht allerdings der Verbrauch finanzieller, materieller und energetischer Ressourcen gegenüber. Zugleich unterscheiden sich ortsnaher Ansätze im Hinblick auf die Kostenstruktur oder die einbezogenen Akteure von den gegenwärtig dominierenden zentralen und öffentlichen Anlagen. Beispielsweise erfordert die ortsnaher Regenwasserbewirtschaftung auf den Grundstücken die Abkehr von der bisherigen langjährigen Praxis der Regenwasserbewirtschaftung durch öffentliche Anlagen im öffentlichen Raum. Die genauen Wirkungen ortsnaher Bewirtschaftungssysteme hängen letztendlich nicht nur von den eingesetzten Technologien, sondern von den spezifischen lokalen Gegebenheiten und Rahmenbedingungen ab (vgl. Abbildung 21).

Tabelle 11: Leistungen, Ressourceninanspruchnahme und Eigenschaften ortsnaher Regenwasserbewirtschaftungskonzepte sowie deren Wirkungen – Literaturübersicht

Leistungen (in Bezug auf)	Ressourceninanspruchnahme	Eigenschaften
Versickerung, Verdunstung, temporärer Rückhalt/Speicherung zur Nutzung, Grünflächenbereitstellung, ...	Finanzielle Ressourcen, Fläche, Betriebs- und Baustoffe, Energie, ...	Kostenstruktur, Anzahl einbezogener Akteure, Prozessstabilität, Alltagstauglichkeit, ...
Induzierte Wirkungen (in Bezug auf)		
Überflutungsschutz, Oberflächengewässer – hydraulisches Regime und Wasserqualität, Wasserhaushalt – Grundwasserneubildung, Oberflächenabfluss, Verdunstung, Boden- und Grundwasserqualität, Wasserverfügbarkeit, Stadtklima, Biodiversität, Freiraumqualität, ...	Flächennutzungskonflikte, Erschwinglichkeit, Kostenverteilung, Ökobilanzielle Wirkungen, ...	Flexibilität/Adaptierbarkeit, Integrierbarkeit in städtischen Kontext, Steuerbarkeit, ...
Wirtschaftlichkeit, Wettbewerbsfähigkeit, Klimaschutz, sektorübergreifende Koordinierbarkeit, Gebrauchsfähigkeit/Alltagstauglichkeit, Sicherheit – Gesundheitsschutz/Hygiene, ...		

Entwurf: S. Geyler auf Grundlage von Balkema et al. (2002); Baumüller und Ahmadi (2016); Deister et al. (2016); Felmeden et al. (2016); Sartorius et al. (2016a); Sartorius et al. (2016b); Matzinger et al. (2017); Sartorius et al. (2017).

Die folgenden Betrachtungen konzentrieren sich auf die siedlungswasserwirtschaftlichen Wirkungen bzgl. des Überstau- und Überflutungsschutzes sowie des Gewässerschutzes, ergänzt um literaturbasierte Aussagen zu weiteren Wirkungen. Diese positiven Wirkungen werden mit der Ressourceninanspruchnahme durch ortsnahen Lösungen verglichen, konkret mit den Kosten dezentraler Systeme, der Flächenverfügbarkeit und den Konflikten, die sich durch die Flächeninanspruchnahme ergeben.

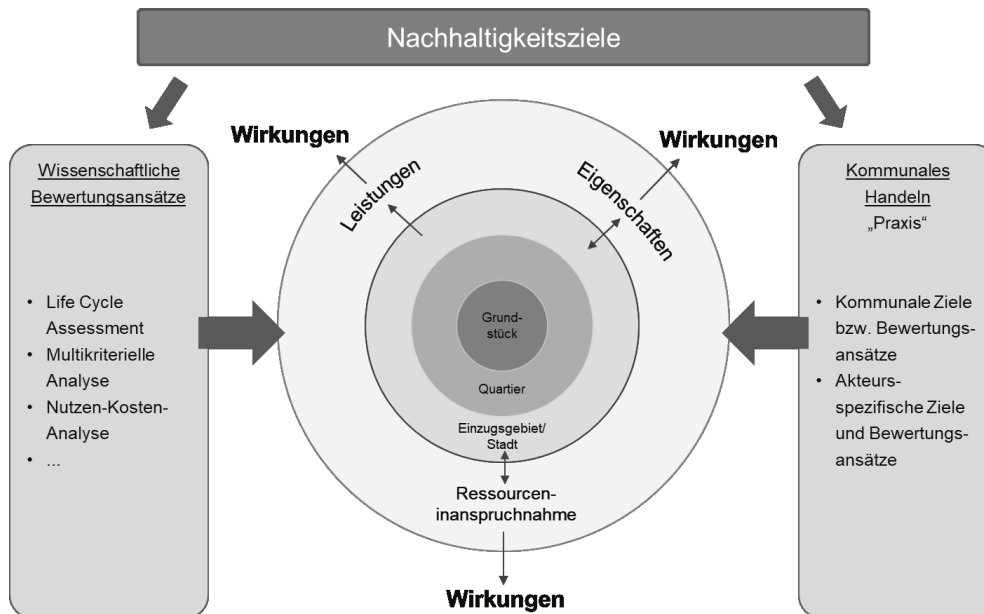
Hierbei wird der Frage nachgegangen, ob schon kleinere Dezentralisierungsschritte die Niederschlagsbewirtschaftung verbessern können oder ob solche Transformationsgewinne erst bei flächendeckenden und vollständigen Abkopplungen erzielt werden. Wenn kleine Transformationsschritte schon mit deutlichen Nachhaltigkeitswirkungen verbunden sind, so wäre dies ein Argument für einen mutigen Einstieg in den Transformationsprozess, insbesondere wenn kostengünstige und konfliktarme Teilflächen zu erwarten sind. Demgegenüber würde die Erkenntnis, dass erst großmaßstäbliche Abkopplungserfolge zu positiven Nettowirkungen führen, die Frage nach sich ziehen, wie die beteiligten kommunalen bzw. privaten Akteure für solch einen weitreichenden Umbau der Regenwasserbewirtschaftung zu motivieren wären.

Bzgl. der Abschätzung der Wirkungen werden noch folgende Festlegungen getroffen (vgl. Abbildung 21)

- Leitgedanke ist die nachhaltige Stadtentwicklung, wie sie u. a. auch in den Sustainable Development Goals umrissen wurde (vgl. z. B. Reese/Gawel/Geyler 2015; Sartorius et al. 2019).

- Die Infrastrukturen der Grundstücks-, Quartiers- und Einzugsgebiets-/Stadt Ebene kommunizieren miteinander. Daher wird das Zusammenspiel von ortsnahen Systemen und öffentlichen Bewirtschaftungsanlagen betrachtet.
- Die Wirkungen können unterschiedlich bewertet werden, da die verschiedenen Akteure unterschiedliche Ziele verfolgen bzw. diese jeweils anders gewichten. Daher bieten die folgenden Analysen nur Anregungen für die kommunalen Entscheidungsprozesse.

Abbildung 21: Wirkungen ortsnaher Regenwassersysteme (Entwurf: Geyler/Lautenschläger/Laforet)



Im folgenden Kapitel werden Analysen zu Wirkungen, Kosten und Flächenkonflikten einer Dezentralisierung durchgeführt und hierbei deren kleinräumige Variabilität betrachtet.

Das Kapitel ist folgendermaßen strukturiert:

- Im folgenden Abschnitt 5.2.1 werden die siedlungswasserwirtschaftlichen Wirkungen der Dezentralisierung in den Quartieren des Untersuchungsraumes „Leipzig-Nord“ modellbezogen hinsichtlich des Überflutungs- und Gewässerschutzes analysiert.
- Der Abschnitt 5.2.2 fasst den Literaturstand zu weitergehenden Wirkungen ortsnaher Regenwasseranlagen bzgl. des Stadtklimas, der Erhöhung der Verdunstung und der Verbesserung hinsichtlich Freiraumqualität und Biodiversität zusammen.
- Der Abschnitt 5.3 betrachtet die Kosten bei der Dezentralisierung: Es werden zuerst die Kosten für die Errichtung und den Betrieb ortsnaher Regenwasseranlagen anhand von Literaturwerten untersucht und Einflussfaktoren verglichen (Abschnitt 5.3.1). Hierbei wird die potentielle Wirtschaftlichkeit für die Grundstückseigentümer einbezogen.
- Der zweite Teil der Kostenbetrachtung, Abschnitt 5.3.2, widmet sich der Flächenverfügbarkeit für ortsnaher Maßnahmen. So wird die Verteilung der Flächenverfügbarkeit zwischen und innerhalb von typischen Bebauungsstrukturen (freistehende Ein- und Mehrfamilienhäuser, Blockrandbebauung und Zeilenbebauung) beispielhaft für das Modellgebiet untersucht. Zugleich wird die Wirkung von Abstandregelungen zum Schutz von Gebäuden und Nachbargrundstücken vor Vernässung auf die Flächenverfügbarkeit analysiert.

- Der letzte Teil der Kostenbetrachtung, Abschnitt 5.3.3, widmet sich den Konfliktpotenzialen ortsnahe Regenwasserbewirtschaftung mit Hofnutzungen. Für das Untersuchungsgebiet werden Nutzungsmuster konfliktbehafteter Hofnutzungen erhoben und Einflussfaktoren beschrieben.

5.2 Wirkungen der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung im Quartier

5.2.1 Siedlungswasserwirtschaftliche Wirkungen – Überflutungsschutz und Gewässerschutz

Im folgenden Abschnitt werden die siedlungswasserwirtschaftlichen Wirkungen der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung im Quartier am Beispiel des Stadtteils „Leipzig-Nord“ modellhaft hinsichtlich des Überflutungs- und Gewässerschutzes untersucht. Hierbei werden die Wirkungen einer vollständigen Abkopplung der Quartiersflächen vom Kanal mit denen einer Ergänzung des Kanals durch ortsnaher Systeme kleiner Bemessung verglichen. Die hierbei betrachteten Mulden stehen stellvertretend für die im Rahmen dieses Projektes betrachteten ortsnahen Rückhalte- bzw. Versickerungsansätze. Die Grundlagen der Analysen bilden eine hydrodynamische sowie eine hydrologische Modellierung.

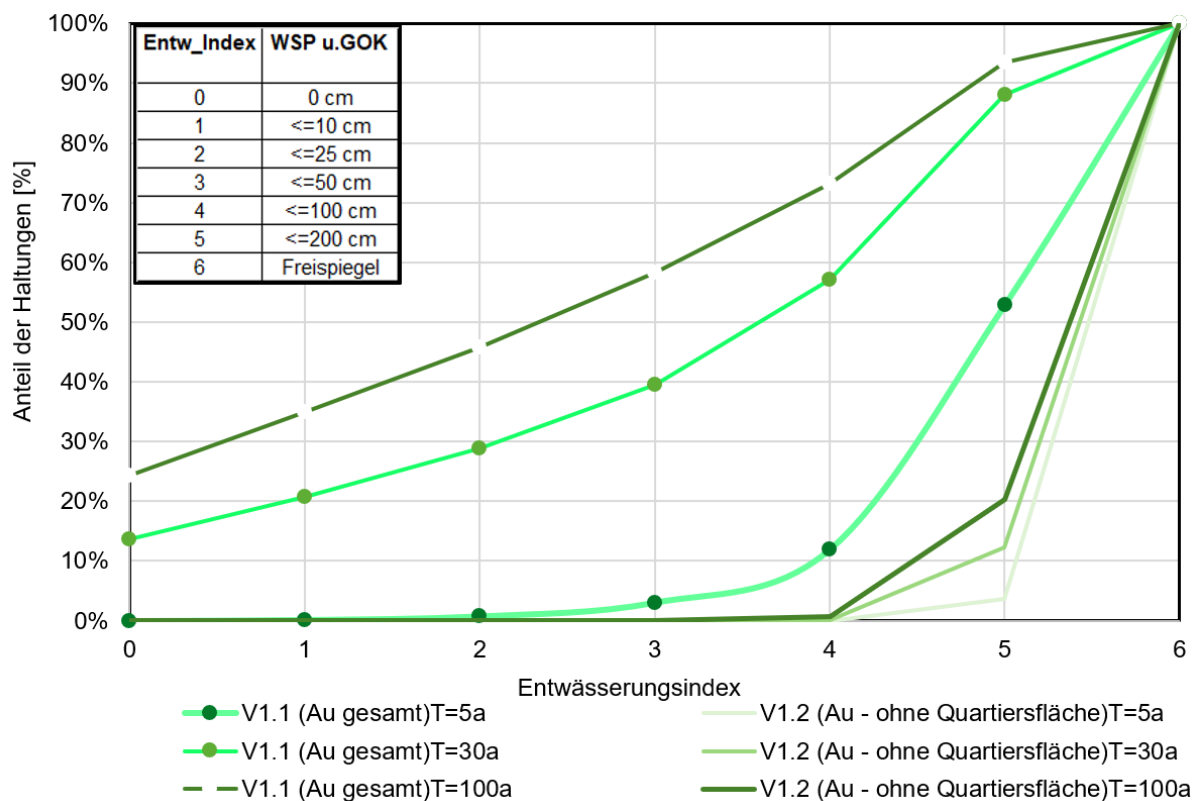
Überflutungsschutz: Die hydrodynamische Modellierung dient der Beurteilung der hydraulischen Auswirkungen, die durch eine vollständige Abkopplung der Quartiersflächen für die Kanalisation erreicht werden können. Hierfür wurden für das Untersuchungsgebiet idealtypische Rahmenbedingungen angesetzt und ein fiktives Kanalnetz zugrunde gelegt, das keine Außengebiete aufweist und die technischen Anforderungen erfüllt.

Ausgehend von den realen Gegebenheiten des Untersuchungsgebietes, wurden folgende Schritte zur Beschreibung des idealtypischen Netzes durchgeführt:

1. Beschränkung des Kanalnetzes auf das Untersuchungsgebiet (Abkopplung von Außengebieten),
2. Überstaunachweis für $T = 5$ a, Auslegung des Kanalnetzes ausschließlich mit Kreisprofilen (Änderung von vorhandenen Ei- oder Maulprofilen auf adäquate Kreisprofile),
3. Verschneiden des Kanalnetzes mit den versiegelten Flächen → deutlicher Überstau,
4. Anpassung der Abflussparameter (z. B. Endabflussparameter Straße 52 %, Gebäude 45 %) auf Kanalnetzabfluss aus Punkt 2.

Für dieses idealtypische Netz wurde eine hydrodynamische Berechnung (V1.1) mit allen versiegelten Flächen im Untersuchungsgebiet (792 ha) durchgeführt und mit einer zweiten Berechnung (V1.2) verglichen, bei der die versiegelten Flächen der Quartiere (143 ha) unberücksichtigt blieben. Im Ergebnis wurde die Kanalauslastung der 3.600 Haltungen als Einstauniveau unter Geländeoberkante (GOK) beschrieben. Dies erfolgte mit Hilfe eines Entwässerungsindizes, der kumulativ die Überschreitung bestimmter Einstauniveaus darstellt (vgl. Abbildung 22).

Abbildung 22: Überschreitungshäufigkeit bestimmter Einstauniveaus in der Kanalisation (als relativer Anteil der Haltungen) mit und ohne Abkopplung sämtlicher Quartiersflächen unter verschiedenen Bemessungsniederschlägen



Entw_Index – Entwässerungsindex; WSP u. GOK – Wasserspiegel unter Geländeoberkannte; Darstellung der Überschreitungshäufigkeit bestimmter Einstauniveaus über den Entwässerungsindex – als Anteil der Haltungen/Schächte mit bestimmten Einstauniveaus; N = 3.630 Haltungen.

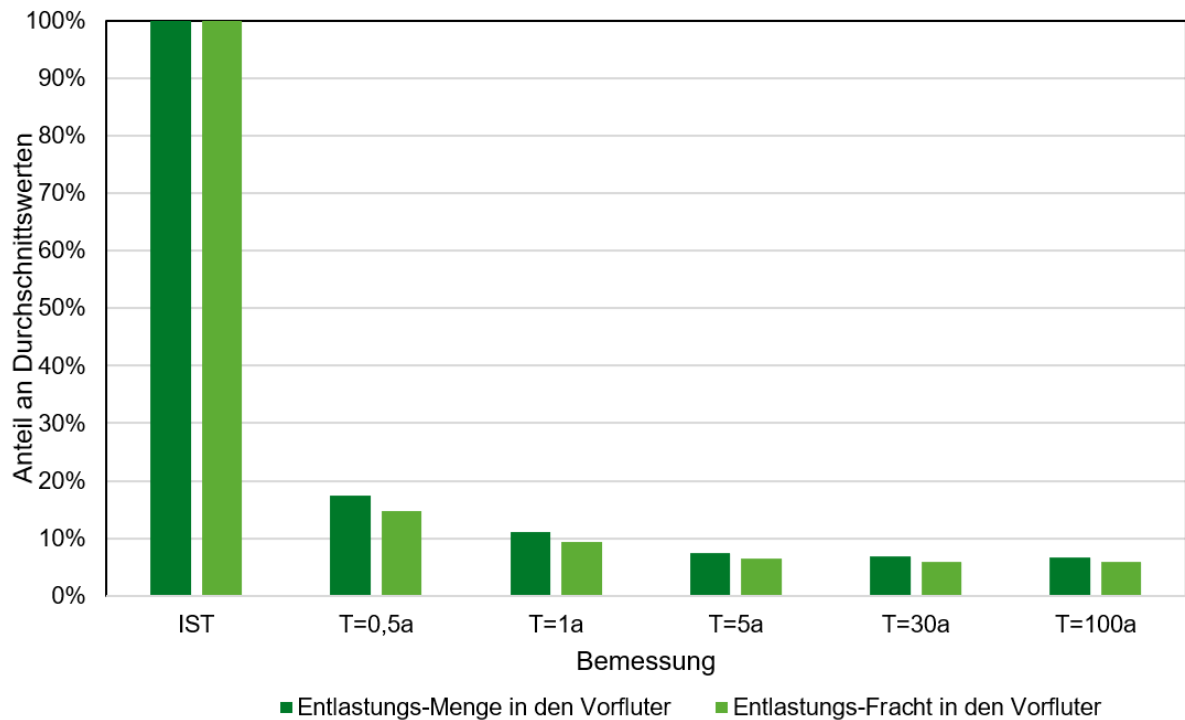
Berechnung und Entwurf: T. Sahlbach.

Vor der Abkopplung der Quartiere lag das Einstauniveau bei einem Niederschlag mit 5-jähriger Wiederkehrzeit überwiegend bei mindestens 50 cm unterhalb der GOK. Werden 30- und 100-jährige Niederschläge angesetzt, kommt es zu Überstauereignissen bei 13 % bzw. 24 % der Haltungen. Demgegenüber führt die Abkopplung der Quartiersflächen zu einer sehr deutlichen Entlastung der Kanalisation. Selbst bei einem 100-jährigem Niederschlag läge das Einstauniveau bei 99 % der Haltungen mindestens 100 cm unterhalb GOK.

Gewässerschutz: Im zweiten Schritt wurde eine hydraulische Modellierung durchgeführt, um zu analysieren, welche Wirkung durch eine ortsnaher Regenwasserbewirtschaftung bei einer vollständigen Abkopplung der Quartiersflächen erreicht werden kann und welche Wirkungen ortsnaher Regenwassersysteme in den Quartieren in Bezug auf Mischwasser- und Schmutzfrachtlastentlastung in die Gewässer erzielen (vgl. Abbildung 23). Die Abschätzung erfolgte in mehreren Schritten:

1. Überführung des hydraulischen Modells (Hystem-Extran) in ein hydrologisches Modell (KOSIM). Dabei wurden die Flächen nach den Stadtquartieren (649 ha) und den Einzugsgebieten der Mischwasserbauwerke aufgeteilt.
2. Herstellung und Validierung der Gleichwertigkeit zwischen hydraulischem und hydrologischem Modell für T=1 a;
3. Ermittlung des erforderlichen Volumens für Regenüberlaufbecken (RÜB) als Referenzfall (IST-Zustand);

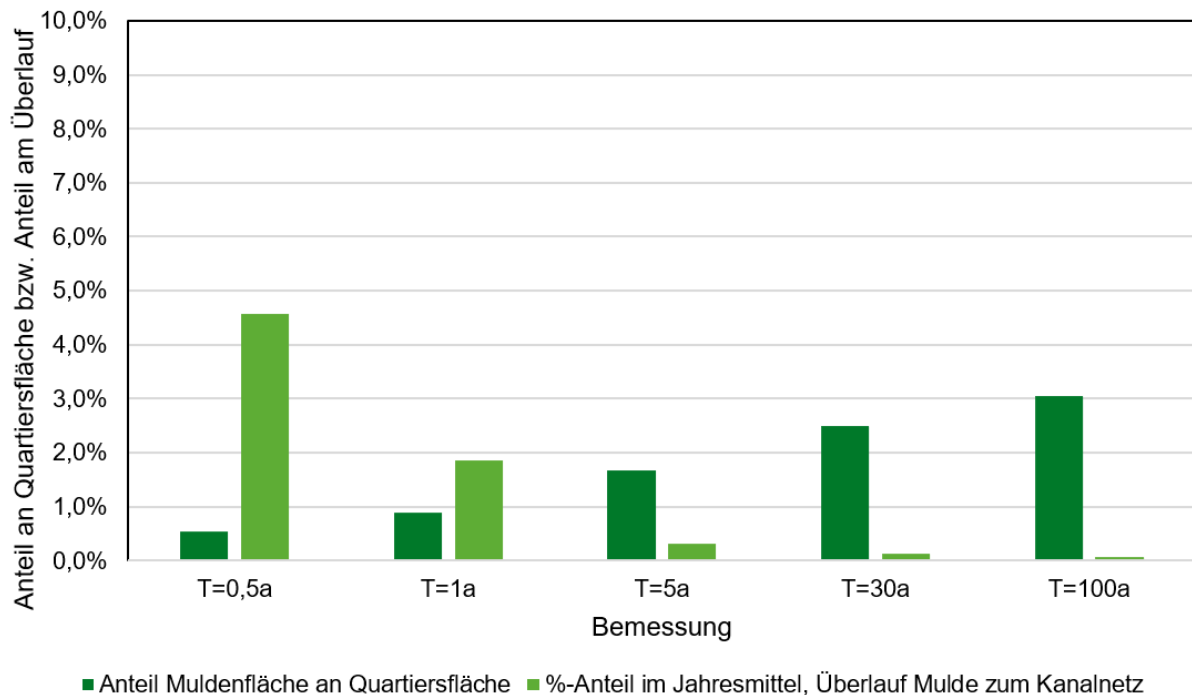
Abbildung 24: Veränderung der mittleren entlasteten Schmutzfracht bzw. der entlasteten Abflussmenge in Abhängigkeit der gewählten Wiederkehrzeit für die Muldendimensionierung im Quartier – dargestellt als relativer Anteil gegenüber den Durchschnittswerten der letzten 40 Jahre



Annahme: Bewirtschaftung sämtlicher Quartiersflächen durch Mulden; IST - durchschnittliche Werte der letzten 40 Jahre; Versickerungsfähigkeit $k_f = 10^{-4}$ m/s; Simulationszeitraum 40 Jahre.
Berechnung und Entwurf: T. Sahlbach.

Durch eine vollständige Abkopplung der Quartiere (ohne Straßenflächen) werden selbst bei einer Muldenbemessung von $T = 0,5$ a die in den Vorfluter entlasteten jährlichen Mischwassermengen und Schmutzfrachten durchschnittlich um ca. 85 % reduziert. Bei einer Bemessung der Mulden für seltenere Wiederkehrzeiten reduzieren sich hingegen die Entlastungsmengen und -frachten nur noch geringfügig.

Abbildung 25: Flächenbedarf von Mulden und durchschnittlicher Überlauf in den öffentlichen Kanal in Abhängigkeit der gewählten Wiederkehrzeit für die Muldendimensionierung - dargestellt als Anteil der Muldenfläche an der Quartiersfläche bzw. des Anteils am mittleren Überlauf ohne Mulden



Annahme: Bewirtschaftung sämtlicher Quartiersflächen durch Mulden; Versickerungsfähigkeit $k_f = 10^{-4}$ m/s; die Quartierfläche ging ohne Straßenflächen in die Berechnungen ein; Simulationszeitraum 40 a.
Berechnung und Entwurf: T. Sahlbach.

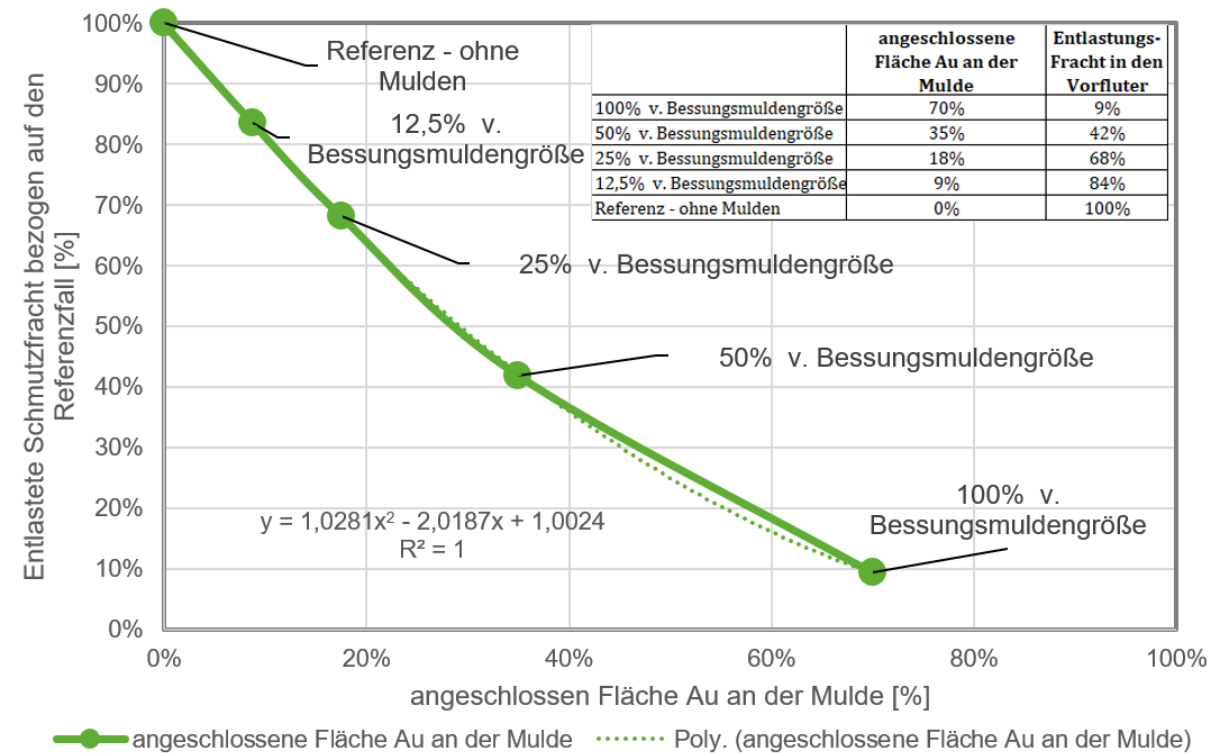
Abbildung 25 zeigt die Auswirkungen der Bemessung der Mulden im Quartier sowohl auf den Flächenbedarf als auch auf den durchschnittlichen Überlauf in die öffentliche Kanalisation. Bei guter Versickerungsfähigkeit der Böden ($k_f = 10^{-4}$ m/s) werden bei kleiner Bemessung der Mulden ($T = 0,5$ a) nur 0,5 % der Quartiersfläche in Anspruch genommen. Zugleich wird hierdurch der durchschnittliche Überlauf um 95 % auf 5 % der ursprünglichen Menge reduziert. Die Vergrößerung der Bemessung bis zu $T = 100$ a verringert den Überlauf auf nahezu 0 % und somit um weitere 5 %-Punkte. Hierfür versechsfacht sich aber die benötigte Muldenfläche. Ein Vergleich der Abbildung 24 und Abbildung 25 zeigt zudem, dass eine Dimensionierung der Mulden von $T = 0,5$ a auf $T = 100$ a die Flächeninanspruchnahme auf das 6-fache des Bedarfs bei $T = 0,5$ a erhöht, jedoch die Entlastung in die Gewässer nur um das 2,5-fache reduziert.

Es ist somit davon auszugehen, dass eine flächenhafte Ergänzung der Kanalisation durch ortsnahe Versickerungs- und Rückhaltungsmöglichkeiten zu einer deutlichen Verbesserung des Entwässerungskomforts führt. Dies erklärt sich dadurch, dass infolge des durch die Muldenversickerung stark reduzierten Zulaufes von den Dach- bzw. Quartiersflächen in den Kanal die Entlastungshäufigkeit aus der Mischwasserkanalisation stark reduziert und dadurch der überwiegende Anteil der Schmutzfrachten, insbesondere von den Straßenflächen, nicht in Gewässer abgeschlagen, sondern zur Kläranlage geleitet und dort gereinigt wird.

In einem nächsten Schritt wurden die Auswirkung auf den Entwässerungskomfort für den Fall untersucht, dass Muldenversickerungsanlagen nicht flächendeckend im Quartier, sondern nur auf Teilflächen errichtet werden.

Hierfür wurde die vorangegangene Untersuchung dahingehend erweitert, dass der Anschluss der Stadtquartiersfläche an die Mulden (Bemessung T = 1 a) nur zu 12,5 %, 25 % bzw. 50 % der Gesamtfläche erfolgt (Abbildung 26). Der jeweils verbleibende Anteil entwässert direkt in die Mischwasserkanalisation. Die nachfolgende Auswertung bezieht sich dabei auf die gesamten Entwässerungsflächen (Straße & Stadtquartier).

Abbildung 26: Verringerung der durchschnittlich in die Gewässer entlasteten Schmutzfracht in Abhängigkeit vom Anschlussgrad der Quartiersfläche an Mulden (T = 1 a)



Annahmen: Die gesamten Bemessungsflächen wurden berücksichtigt (Straßen und Quartiere); Versickerungsfähigkeit $k_f = 10^{-4}$ m/s; Simulationszeitraum 40 a. Berechnung und Entwurf: T. Sahlbach.

Im Ergebnis ist erkennbar, dass durch die Ausstattung von beispielsweise 25 % der Quartiersfläche (entspricht ca. 18 % der Gesamtfläche) mit Mulden, die entlastete Schutzfracht um 32 % auf 68 % des Referenzwertes (nur Mischwasserentlastung ohne Mulden) reduziert werden kann.

Die vorgestellten Modellbetrachtungen gehen vereinfachend von einem zentralen System aus, so dass trotz der zusätzlichen ortsnahen Bewirtschaftung das öffentliche Kanalnetz selbst nicht verändert wird. Es sind jedoch in der Praxis verschiedene Reaktionen auf eine Dezentralisierung denkbar. Die gewonnenen Kapazitätsreserven könnten helfen, eine bauliche Anpassung des zentralen Systems an steigende Anforderungen zu vermeiden, die infolge von Nachverdichtung und steigenden Gewässerschutzanforderungen ansonsten notwendig wären. Die Aufgabenträger könnten aber auch verstärkt grabenlose Erneuerungsverfahren einsetzen. Hierdurch würden die Gewinne beim Entwässerungskomfort und Gewässerschutz in Kosteneinsparungen für die Aufgabenträger und angeschlossene Bürger umgewandelt werden.

Zusammenfassend ist aus den modellbezogenen Analysen zu konstatieren, dass

- eine teilweise Dezentralisierung im Quartier selbst bei Anlagen mit kleiner Wiederkehrzeit bei der Bemessung (z. B. bei T = 0,5 a) den Entwässerungskomfort und Gewässerschutz deutlich verbessern,

- eine flächenhafte Ergänzung des Kanals durch Versickerungsanlagen die Gewässerbelastung durch Schmutzfrachten deutlich reduziert wird – z. B. auf 15 % der durchschnittlichen Schmutzfracht im Referenzfall bei einer Bemessung der Mulden auf $T = 0,5$ a und die
- vollständige Abkopplung ($T = 100$ a) zwar noch weitergehende Wirkungen erzielt, diese aber im Vergleich zur notwendigen Vergrößerung der Anlagenbemessung deutlich unterdurchschnittlich ausfällt.

5.2.2 Weitere Wirkungen

Neben dem Überflutungs- und Gewässerschutz sind in der einschlägigen Literatur weitere Wirkungen der dezentralen Regenwasseroptionen belegt. Dazu zählen:

- Wirkungen auf das Stadtklima, konkret das Lokalklima,
- Beiträge zu einem naturnahen Wasserhaushalt,
- Effekte im Hinblick auf die Biodiversität und die Freiraumqualität.

Im Folgenden wird der Literaturstand zu diesen Wirkungen für die im Rahmen des Berichtes vorrangig betrachteten ortsnahe Bewirtschaftungsansätze (Flächen- und Muldenversickerung, Rigolen, Mulden-Rigolen-Systeme sowie extensive Gründächer) zusammengefasst. Hierbei stehen die Fragen im Mittelpunkt, welche der betrachteten Bewirtschaftungsmethoden die aufgezählten weiteren Wirkungen unterstützen, von welchen Faktoren der Wirkungsumfang abhängt und welche Aussagen zum Vergleich von teilweisen bzw. vollständigen Dezentralisierung getroffen werden können.

5.2.2.1 Verbesserung Stadtklima

Die klimatische Situation in urbanen Räumen stellt vor dem Hintergrund des Klimawandels sowie der Nachverdichtung eine zentrale Herausforderung für die Stadtplanung dar. Die Installation blauer bzw. grüner Regenwasserbewirtschaftungsoptionen hat in der Regel einen positiven Einfluss auf das lokale städtische Humanbioklima. Gleichwohl werden in der Literatur verschiedene Indikatoren zur Beschreibung der klimatischen Wirkungen herangezogen, wie der „bioklimatische Effekt“, die „Kühlleistung“, die „Änderung Tropennächte“ sowie die „Änderung Hitzestress (UTCI)“.

Die Indikatoren „bioklimatischer Effekt“ und „Änderung Hitzestress (UTCI)“ beziehen sich auf die subjektiv wahrgenommene klimatische Situation – angelehnt an das Konzept der „gefühlten Temperatur“. Der Indikator „bioklimatischer Effekt“ wird dabei von Baumüller und Ahmadi (2016, S. 6) nur implizit beschrieben. Der Indikator „Änderung Hitzestress“ wird hingegen konkret an die Anzahl Stunden im Jahr mit signifikantem Hitzestress ($UTCI > 32^{\circ}\text{C}$) geknüpft (Matzinger et al. 2017, S. 25). Er bezieht sich auf die Situation am Tage. Die nächtlichen Auswirkungen auf das Stadtklima werden durch den Indikator „Änderung Tropennächte“ abgebildet: Dazu wird die Differenz der mittleren jährlichen Anzahl an Tropennächten ($T_{\min} \geq 20^{\circ}\text{C}$) bestimmt (Matzinger et al. 2017, S. 25). Der Effekt „Kühlleistung“ wird bei Baumüller und Ahmadi (2016) implizit auf die tatsächlichen (modellierten) Energieumsätze (Wärmeenergieentzug der berührenden Luft) durch Evapotranspiration über grünen bzw. blauen Maßnahmenflächen bezogen (Baumüller und Ahmadi 2016, S. 13).

Flächen- bzw. Muldenversickerungen weisen eine sehr gute Kühlleistung auf (Baumüller und Ahmadi 2016, S. 16). Für die Muldenversickerung gilt das allerdings nur, sofern der Boden feucht ist (ebd.). Die Flächenversickerung sorgt zudem aufgrund ihrer Größe für eine gute

Kaltluftproduktion in der Nacht. Matzinger et al. (2017) bewerten den Einfluss von Flächen- bzw. Muldenversickerungen auf das Stadtklima basierend auf einer Simulation als gering (nächtlich/Tropennächte) bis moderat positiv (tagsüber/UTCI) (Matzinger et al. 2017, S. 105). Es wird darauf hingewiesen, dass die Wirkungen auf das Stadtklima durch zusätzliche Baumbepflanzungen gesteigert werden könnten (Baumüller und Ahmadi 2016, S. 17).

Die Grünfläche muss dabei nicht groß sein, um den oben beschriebenen Kühleffekt zu erzeugen (Kleerekoper et al. 2012, S. 32). Dennoch korreliert die Größe der Fläche mit dem beobachteten Kühleffekt (Bowler et al. 2010, S. 152). Allerdings wächst der Wirkungsbereich einer Grünfläche nicht proportional zur Flächengröße (TEEB-DE 2016, S. 58). Signifikante Unsicherheit besteht hinsichtlich des Effektradius der Klimawirkung (Kleerekoper et al. 2012, S. 32).

Rigolen haben aufgrund ihrer unterirdischen Anordnung keine Wirkung auf das Stadtklima (Matzinger et al. 2017, S. 108).

Mulden-Rigolen-Systemen wird ebenfalls eine gute Kühlleistung (Baumüller und Ahmadi 2016, S. 18) bzw. eine gering positive (nachts) bis moderat positive Wirkungen attestiert (Matzinger et al. 2017, S. 114). Bedacht werden müssen aber der deutlich reduzierte Flächenbedarf: Es steht somit auch weniger Maßnahmenfläche zur Wirkungsentfaltung eines solchen Systems gegenüber einer einfachen Muldenversickerung zur Verfügung (Gantner 2002, S. 150).

Bei *Dachbegrünungen* wird die Kühlleistung als gut angesehen, sofern die Dächer feucht sind, der bioklimatische Effekt hingegen wird als gering beurteilt (Baumüller und Ahmadi 2016, S. 23). Hierbei wird nicht zwischen extensiven und intensiven Gründächern differenziert. Für die Kühlleistung von Dachbegrünungen auf die unmittelbare Umgebung ist vor allem die hohe Verdunstungsleistung (Verdunstungskühlung) ursächlich (Matzinger et al. 2017, S. 84; Brune et al. 2017, S. 11). Auf Gebäudeebene führt eine verbesserte Verschattung bzw. Dämmung des Baumaterials durch die aufwachsende Vegetation sowie die höhere Albedo von Dachbegrünungen zu geringeren Oberflächentemperaturen und zu einer reduzierten Temperaturamplitude (Brune et al. 2017, S. 12).

Hinsichtlich der nächtlichen Wirkung wird ein gering positiver (tagsüber: moderat positiver) Effekt für extensive Gründächer konstatiert (Matzinger et al. 2017, S. 85). Auch wenn dieser Anlagentyp die Wärmelast eines Gebäudes im Sommer um etwa 60% reduziert (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2010, S. 31), ist eine signifikante (und hier ausschlaggebende) Verringerung der Umgebungstemperaturen in Bodennähe nur unzureichend belegt (Thiele 2015, S. 8; Bowler et al. 2010, S. 153). Auch Matzinger et al. (2017, S. 84) betonen, dass der Effekt auf das Stadtklima in der Regel nur bei niedrigen Dächern (durch ein dann mögliches Absinken der Kaltluft in den Straßenraum) bemerkbar wird.

Der Umfang der Klimawirkung von Gründächern hängt von den lokalen klimatischen Verhältnissen, dem gebäudespezifischen Kühl- bzw. Heizbedarf, der Mächtigkeit und Feuchtigkeit der Substratschicht sowie der relativen Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit ab (Wise et al. 2010, S. 1130; Brune et al. 2017, S. 13). Auf Quartiers- bzw. Stadtebene kann sich eine signifikante Wirkung auf das Stadtklima zudem nur bei ausreichender Flächendeckung entfalten (Brune et al. 2017, S. 11).

5.2.2.2 Verdunstungswirkung – naturnaher Wasserhaushalt

In der Regel sind in städtischen Räumen die Versickerungs- und Verdunstungsraten im Vergleich zu naturnahen Landnutzungen sehr niedrig. Für städtische Räume werden beispielsweise ein Abfluss von 72 % des jeweiligen Jahresniederschlages, eine Versickerung von 8 % und eine Verdunstung von 20 % angegeben (Baumüller und Ahmadi 2016, S. 13). Eine

Wasserbilanz unter natürlichen Bedingungen wäre demgegenüber gekennzeichnet durch einen wesentlich niedrigeren Abfluss von 10-20 %, einer höheren Versickerung von 10-30 % und einer deutlich größeren Verdunstung von 50-80 % der Jahresniederschläge (DWA 2016). Die hier betrachteten Anlagentypen der naturnahen Regenwasserbewirtschaftung verbessern die Grundwasserneubildung und Versickerung (vgl. Kapitel 3). Im Folgenden wird auf die Auswirkung bzgl. der Verdunstung abgestellt, da die Beiträge zur Versickerung bereits zentrale Inhalte der vorangegangenen Abschnitte gewesen sind.

Flächen- bzw. Muldenversickerungen sorgen für eine sehr gute Verdunstung (Baumüller und Ahmadi 2016, S. 16f.), obgleich das primäre Bewirtschaftungsziel aber die rasche Versickerung ist (ebd.). Sie wird durch die Eigenschaften der anstehenden Böden beeinflusst (ebd.).

Mulden-Rigolen-Systeme werden bzgl. der Verdunstungswirkung als gut bewertet (Baumüller und Ahmadi 2016, S. 18). Evapotranspiration und Versickerung bewegen sich zusammen im Bereich von 48 – 74 % der Jahresniederschläge (Chapman und Horner 2010, S. 118). Einer *Rigole* zugeführtes Niederschlagswasser kann aufgrund der unterirdischen Anordnung nicht verdunsten (Matzinger et al. 2017, S. 108).

Extensive Gründächer weisen eine sehr gute Verdunstungswirkung auf, sofern das Substrat feucht ist (ebd.). Ein schräges, extensiv bewirtschaftetes Gründach hat einen simulierten mittleren Verdunstungsanteil von reichlich 50 % (Sieker 2004, S. 90); andere Quellen geben Verdunstungsraten von 40 – 80 % des Niederschlages an (Wise et al. 2010, S. 1129). Es erfolgt eine Annäherung an den Verdunstungsanteil unbebauter Gebiete (Sieker 2004, S. 90). Die Wirkung extensiver Dachbegrünungen auf den naturnahen Wasserhaushalt wird vom Aufbau der Substratschicht, der Dachneigung sowie eventuell installierten Abflussdrosseln beeinflusst (Sieker 2004, S. 87).

5.2.2.3 Wirkungen Freiraumqualität / Biodiversität

Die wahrgenommenen Beiträge von Maßnahmen der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung zur Freiraumqualität sind entscheidend für deren Akzeptanz auf Gebäude-, Quartiers- und Stadtebene. Zugleich entstehen auf der Maßnahmenfläche möglicherweise wertvolle Ersatz-Lebensräume mit dem Potenzial, einen biodiversitätsförderlichen Nutzen sowie weitere Ökosystemdienstleistungen zu erbringen (Matzinger et al. 2017, S. 27).

5.2.2.3.1 Freiraumqualität

Der *Flächenversickerung*² wird bezüglich der Wirkung auf die Freiraumqualität ein moderat positiver Effekt konstatiert (Matzinger et al. 2017, S. 105). Auch an anderer Stelle wird auf die freiflächenaufwertende Wirkung von Versickerungsflächen hingewiesen (Freytag et al. 2018, S. 24).

Rigolen haben keine Auswirkung auf die Freiraumqualität aufgrund der unterirdischen Anordnung des Anlagentyps (Matzinger et al. 2017, S. 109).

Mulden-Rigolen-Systeme könnten eine entsprechende Wirkung entfalten, diese wurde jedoch in der bisherigen Literaturrecherche nicht erkennbar. Ausnahme bilden Matzinger et al. (2017), die die Wirkung eines Mulden-Rigolen-Systems auf die Freiraumqualität moderat positiv beurteilen (Matzinger et al. 2017, S. 114).

² Für Muldenversickerung wurde die Freiraumqualität nicht quantifiziert.

Der Effekt von *extensiven Dachbegrünungen* auf die Freiraumqualität wird moderat positiv (Matzinger et al. 2017, S. 85), als ästhetische Verbesserung (Baumüller und Ahmadi 2016, S. 23) bzw. als Aufwertung des Wohn- und Arbeitsumfeldes (Brune et al. 2017, S. 16) bewertet.

Die Effekte auf die Freiraumqualität werden durch die Auswahl der gepflanzten Spezies (sommergrün vs. immergrün), die Gestaltung sowie den Artenreichtum beeinflusst (stellvertretend Brune et al. 2017, S. 17; Blicharska et al. 2019, S. 1087). Die individuelle Bewertung von Gründächern unterliegt zugleich subjektiven Wahrnehmungsmustern (vgl. Matzinger et al. 2017, S. 22–24).

5.2.2.3.2 Biodiversität

Flächen- bzw. Muldenversickerungen können für eine deutliche Erhöhung der biologischen Vielfalt sorgen (Matzinger et al. 2017, S. 105; Kaiser 2004, S. 230). Die Effekte des Anlagentyps auf die Biodiversität werden von der konkreten Umsetzung, d. h. der Bepflanzung beeinflusst (Matzinger et al. 2017, S. 104).

Mulden-Rigolen-Systeme werden bzgl. der Biodiversität ebenfalls als stark positiv bewertet (Matzinger et al. 2017, S. 114). *Rigolen* vergrößern die Biodiversität aufgrund ihrer unterirdischen Anordnung nicht (Matzinger et al. 2017, S. 108).

Auch der *extensiven Dachbegrünung* werden stark positive Effekte auf die Biodiversität zugeschrieben (Matzinger et al. 2017, S. 85). Zugleich wird betont, dass der Effekt in besonderem Maße von der jeweiligen Umsetzung abhängt (Matzinger et al. 2017, S. 84). Die Flora-spezifische Diversität kann sehr hoch sein (Köhler 2006, S. 7). Gründächer stellen aus ökologischer Sicht wertvolle Ersatz-Lebensräume zur Verfügung (Brune et al. 2017, S. 17) und bieten Potenzial zur Schaffung von urbanen Gärten/Landwirtschaft (Berardi et al. 2014, S. 423), wodurch die biodiversitätsrelevante Maßnahmenfläche zunimmt (urban gardening, urbane Honigproduktion) (Brune et al. 2017, S. 17).

Das Ausmaß der Biodiversitätswirkung von Gründächern wird vor allem von der Heterogenität der dachspezifischen Lebensraumbedingungen (sonnig, verschattet, feucht, trocken), dem Einsatz verschiedener Materialien (z.B. Totholz) sowie der Substrattiefe beeinflusst. Eine größere Diversität der Flora korreliert häufig mit einer gesteigerten Vielfalt der Fauna (Wise et al. 2010, S. 1131; Brune et al. 2017, S. 17).

5.2.2.4 Zwischenfazit

Tabelle 12 fasst die oben beschriebenen Wirkungen für die einzelnen Ansätze stark vereinfacht zusammen.

Tabelle 12: Vereinfachte Zusammenfassung der Wirkungen einzelner Ansätze zur ortsnahen Regenwasserbewirtschaftung

Wirkung bzw. Technologie	Stadtklima	Verdunstung (naturnaher Wasserhaushalt)	Freiraumqualität	Biodiversität
Flächen- bzw. Muldenversickerung	+	++	+	++

Wirkung bzw. Technologie	Stadtklima	Verdunstung (naturnaher Wasserhaushalt)	Freiraumqualität	Biodiversität
Mulden-Rigolen-Systeme	+	++	+	++
Rigolen	0	0	0	0
Dachbegrünung	+	++	+	++

0 keine Wirkungen/keine Rechercheergebnisse; + Effekte; ++ starke Effekte.

Entwurf: T. Ziegenbein, S. Geyler auf Grundlage der Literaturquellen in Abschnitt 5.2.2.

Die Literaturrecherche zeigt:

- die von den dezentralen Regenwasseransätzen ausgehenden positiven Wirkungen bzgl. Stadtklima bzw. bzgl. Erhöhung der Verdunstung sowie Verbesserungen bzgl. Freiraumqualität und Biodiversität.
- Unterschiede zwischen den Anlagentypen im Hinblick auf ihre Wirkungen, zum Beispiel in Bezug auf Stadtklima oder den Beiträgen zur Verdunstung. Insbesondere die Ansätze, welche zur Vergrößerung und Erhalt von Grünflächen auf dem Boden oder auf Dächern führen, gehen mit weiteren positiven Wirkungen einher. Allerdings sind die konkreten Effekte gerade im Hinblick auf die klimatischen Wirkungen komplex und bedürfen modellbezogener Betrachtungen.
- die verschiedenen Einflussfaktoren, die anlagenspezifisch den Wirkungsumfang beeinflussen.

Bzgl. des Eingangs aufgeworfenen Vergleiches von teilweiser oder vollständiger Dezentralisierung im Quartier kann allerdings anhand der Literaturrecherche keine Aussage getroffen werden. Auch hierfür sind modellbezogene Analysen notwendig.

5.3 Kosten- und Flächeninanspruchnahme

In diesem Abschnitt werden folgende Fragen betrachtet:

- Mit welchen betrieblichen Kosten ist die Nutzung dezentraler Anlagen in den Quartieren verbunden?
- Wie heterogen sind die Stadtquartiere bzgl. Flächenverfügbarkeit und Kosten?
- Welche Nutzungskonflikte bestehen bzgl. der benötigten Freiflächen auf den Grundstücken?

Wie bei den siedlungswasserwirtschaftlichen Wirkungen der Dezentralisierung lassen sich hierdurch Schlussfolgerungen zu den Kosten einer vollständigen Abkopplung, einer flächenhaften Ergänzung des Kanals mit dezentralen Lösungen kleiner Dimensionierung sowie von der Nutzung dezentraler Lösungen auf Teilflächen ziehen.

5.3.1 Betriebliche Kosten der Errichtung und des Betriebes dezentraler Regenwasseranlagen

Ein wichtiges, aber nicht das alleinige zentrale Kriterium für die Diskussion um die Bedeutung dezentraler Systeme sind die damit verbundenen betrieblichen Kosten. Im Folgenden werden die szenarienbezogenen Kosten für die Errichtung und den Betrieb anhand von Literaturwerten untersucht und die Kostenwirkung einer vollständigen Abkopplung gegenüber einer flächenhaften Nutzung von dezentralen Lösungen mit kleiner Dimensionierung vor dem Hintergrund weiterer Einflussfaktoren verglichen. Hierbei wird die Wirtschaftlichkeit aus Perspektive der Grundstückseigentümer berücksichtigt.

5.3.1.1 Literaturüberblick zu Kostendaten

5.3.1.1.1 Ausgewertete Literatur und Vorgehensweise

Die Literaturquellen, welche zur Schätzung der Kosten herangezogen wurden, sind in Tabelle 27 (im Anhang) zusammengefasst. Sie weisen Informationen zu Investitionshöhen und Betriebskosten aus. Datengrundlagen, Flächenbezug und Aktualität der genutzten Quellen sind unterschiedlich. Es wurden Kostendaten aus Beispielprojekten ausgewertet (vgl. Leimbach et al. 2018; Strehl et al. 2017) oder die Angaben basieren auf Literaturangaben (vgl. Sieker 1999; Muschalla et al. 2014). BSU (2013) weist die genutzten Quellen nicht aus.

Als Flächenbezug wird von den Quellen i. d. R. die angeschlossene, befestigte oder versiegelte Fläche (A_{red} bzw. $A_{E,b}$) bzw. die undurchlässige Fläche (A_U) herangezogen. Zum Teil beziehen sich Angaben ergänzend auch auf die Versickerungs- bzw. Maßnahmenfläche (A_S).

Unter Bezugnahme auf die versiegelte Fläche wird der Bewirtschaftungsaufwand für die angeschlossenen Flächen sichtbar. Somit können Vergleiche mit den Regenwasserentgelten durchgeführt werden. Bei Bezugnahme auf Versickerungs- bzw. Maßnahmenfläche lassen sich demgegenüber Kostenunterschiede z. B. infolge der Dimensionierung für unterschiedliche Bemessungsniederschläge oder aufgrund unterschiedlicher Durchlässigkeiten der anstehenden Böden klarer herausarbeiten. Hierauf baut die szenarienbezogene Betrachtung auf.

Im Folgenden wird von den unterschiedlichen Flächenbezügen (A_{red} , $A_{E,b}$ sowie A_U) abstrahiert und allgemein von versiegelter Fläche A_V gesprochen. Die von den Literaturquellen

herangezogenen Flächenmaße A_{red} bzw. $A_{E,b}$ und A_U unterscheiden sich zwar konzeptionell³ und sie unterscheiden sich weiterhin von der in diesem Bericht ermittelten versiegelten Fläche (im Folgenden A_V - bzgl. Berechnung vgl. Kapitel 3.3.2). Es ist jedoch unklar, inwieweit die konzeptionellen Unterschiede von den herangezogenen Autoren beachtet wurden. Allerdings lässt sich die Richtung des Fehlers begründen, der beim direkten Vergleich von Kostenmaßen mit Flächenbezug zu $A_{E,b}$ und A_U entsteht, aber nicht die Höhe des Fehlers.⁴

Falls die jeweiligen Originalquellen keinen Zusammenhang zwischen versiegelter Fläche und Maßnahmenfläche herstellen, wurde dies auf Grundlage der Angabe von BSU (2013, S. 56–58) vorgenommen. Diese Bezüge sind in Tabelle 32 (im Anhang) zusammengefasst. Die Tabelle enthält zugleich Umrechnungsfaktoren aus anderen Quellen mit Bezug zu anderen Flächenmaßen. Die Dimensionen sind ähnlich.

5.3.1.1.2 Spezifische Investitionshöhen und Betriebskosten

Die Tabelle 28 und Tabelle 29 (im Anhang) stellen die flächenspezifischen Investitionshöhen aus den ausgewählten Quellen dar mit Bezug auf versiegelte Fläche bzw. Maßnahmenfläche. Weiterhin enthalten sie die Ergebnisse der vereinfachten Vorplanung, die auf durchschnittlichen Einheitspreisen basieren und im Rahmen dieses Berichtes erarbeitet wurden (vgl. Kapitel 3.7).

Tabelle 13: Spezifische Investitionshöhen von Anlagen zur Regenwasserbewirtschaftung (Preisniveau 2018)

Quelle	Min	Mittel	Max
Extensives Gründach			
Strehl et al. (2017) [€/m ² $A_{E,b}$]	13	32	130
Muschalla et al. (2014) [€/m ² A_{red}]	14	-	56
BSU (2013) [€/m ² A_U]	23	-	52
Leimbach et al. (2018) [€/m ² A_U]	-	-	-
Kostenschätzung/Vereinfachte Vorplanung (Kap. 3.7) [€/m ² A_V]	-	28	-
Flächenversickerung			
Strehl et al. (2017) [€/m ² $A_{E,b}$]	0	5	11
Muschalla et al. (2014) [€/m ² A_{red}]	3	-	42
BSU (2013) [€/m ² A_U]	2	-	29
Leimbach et al. (2018) [€/m ² A_U]	21	-	140
Kostenschätzung/Vereinfachte Vorplanung (Kap. 3.7) [€/m ² A_V]	-	6	-
Mulde			
Strehl et al. (2017) [€/m ² $A_{E,b}$]	1	4	11
Muschalla et al. (2014) [€/m ² A_{red}]	1	-	8
BSU (2013) [€/m ² A_U]	3	-	8
Leimbach et al. (2018) [€/m ² A_U]	2	21	140

³ $A_{E,b}$ wird als Summe aller befestigten Flächen eines Abwasserentsorgungsgebietes definiert. Die undurchlässige Fläche A_U wird als Rechenwert zur Quantifizierung des Anteils einer Einzugsgebietsfläche beschrieben, von der Niederschlagsabfluss nach Abzug aller Verluste vollständig zum Abfluss in eine Entwässerungssystem gelangt. Er wird unter zusätzlicher Berücksichtigung von spezifischen Abflussbeiwerten aus den angeschlossenen Flächen ermittelt. Die Abflussbeiwerte beschreiben den Quotienten aus Abflussvolumen und Niederschlagsvolumen für einen definierten Zeitraum und eine definierte Oberfläche (vgl. z. B. DWA-A 117, 2006).

⁴ Konzeptionell stehen sich A_U und A_V näher als A_U und $A_{E,b}$, da die erstbenannten den Bedeckungsgrad der Fläche berücksichtigen. Daher wird vermutet, dass die Kostenangaben mit Bezug zu $A_{E,b}$ oder A_{red} tendenziell niedriger liegen als Kostenangaben mit Bezug auf A_U .

Kostenschätzung/Vereinfachte Vorplanung (Kap. 3.7) [€/m² A_v]	-	5	-
Rigole			
Strehl et al. (2017) [€/m² A_{E,b}]	4	13	84
Muschalla et al. (2014) [€/m² A_{red}]	1	-	14
BSU (2013) [€/m² A_U]	6	-	14
Leimbach et al. (2018) [€/m² A_U]	10	32	220
Kostenschätzung/Vereinfachte Vorplanung (Kap. 3.7) [€/m² A_v]	-	10	-
Muldenrigole			
Strehl et al. (2017) [€/m² A_{E,b}]	4	7	29
Muschalla et al. (2014) [€/m² A_{red}]	14	-	31
BSU (2013) [€/m² A_U]	17	-	29
Leimbach et al. (2018) [€/m² A_U]	5	33	88
Kostenschätzung/Vereinfachte Vorplanung (Kap. 3.7) [€/m² A_v]	-	16	-
Sickerschacht			
Strehl et al. (2017) [€/m² A_{E,b}]	6	16	26
Muschalla et al. (2014) [€/m² A_{red}]	11	-	23
BSU (2013) [€/m² A_U]	17	-	29
Leimbach et al. (2018) [€/m² A_U]	-	-	-
Kostenschätzung/Vereinfachte Vorplanung (Kap. 3.7) [€/m² A_v]	-	26	-

Zusammenfassung der Tabelle 28 im Anhang; auf Preisniveau von 2018 angepasst; A_U - angeschlossene undurchlässige Fläche (bei BSU 2013 - angeschlossene versiegelte Fläche); A_{red} - abflusswirksame Fläche bzw. angeschlossene, befestigte Fläche; A_{E,b} - angeschlossene, befestigte Fläche; A_v - versiegelte Fläche (vgl. Kapitel 3.3.2); Mittel = Medianwerte bei Literaturangaben; bei Muschalla et al. (2014), BSU (2013) und Strehl et al. (2017) wurden das Jahr der Veröffentlichung als Grundlage für die Preisbereinigung genutzt; Entwurf: S. Geyler, E. Hofmann.

Die Tabelle 13 stellt einige Kostengrößen mit Bezug zur versiegelten Fläche vor. Mulden- und Flächenversickerung sind hierbei besonders kostengünstig, Gründächer sind am kostenintensivsten. Deutlich werden weiterhin die sehr hohe Spannweite der Investitionshöhen, welche die Quellen ausweisen, sowie die Unterschiede zwischen den Literaturquellen.

Hohe Spannweite der Investitionshöhen: Die Maximalwerte betragen das Zwei- bis Sechsfache der mittleren Werte. Die Minimalwerte entsprechen 10 bis 50 % der Mittelwerte. Dies deutet darauf hin, dass spezifische Rahmenbedingungen vor Ort die Höhe maßgeblich beeinflussen. Als Ursachen für derartige Kostenunsicherheiten nennen Leimbach et al. (2018, S. 25) den k_r-Wert des Untergrunds, die Platzverhältnisse sowie sonstige technische Rahmenbedingungen, z. B. vorliegende Höhenverhältnisse, Gefälle zum Vorfluter bzw. zum ableitenden Regenwasserkanal. Weiterhin verweisen sie auf deutliche Skaleneffekte. Strehl et al. (2017) führen neben Skaleneffekten die Bauweise bzw. Materialwahl sowie Eigenleistungen auf. Weiterhin spielen baustrukturelle Gegebenheiten und das lokale Preisniveau eine Rolle.

Unterschiede zwischen den Literaturquellen: Insbesondere Leimbach et al. (2018) weisen tendenziell deutlich höhere Investitionen aus als die anderen Quellen. Eine mögliche Erklärung ist, dass Leimbach et al. (2018) vor allem komplexere Regenwasserbewirtschaftungssysteme betrachten, die fast ausschließlich durch die öffentliche Hand betrieben werden (Leimbach et al., S. 22). Auch können die oben diskutierten unterschiedlichen Flächenbezüge dazu beitragen, dass die Angaben von Strehl et al. (2018) und Muschalla et al. (2014) eher etwas niedriger liegen als die Angaben von Leimbach et al. (2018) (vgl. Tabelle 13). Die im Rahmen einer vereinfachten Vorplanung ermittelten Werte (vgl. Kapitel 3.7) ordnen sich gut in die mittleren Werte von

Strehl et al. (2017) ein, mit Ausnahme der Muldenrigolen und Sickerschächte. Dort liegen die Werte der Vorplanung höher.

In der Tabelle 29 (im Anhang) sind weiterhin die Investitionen in Bezug auf die Versickerungs- und Maßnahmenfläche dargestellt. Tabelle 30 fasst die spezifischen Betriebskosten in Bezug auf die versiegelte Fläche zusammen. Rigolen, Mulden-Rigolen-Systeme und Sickerschacht haben tendenziell die geringsten Betriebskosten. Höhere spezifische Kosten ergeben sich für die Flächen- und Muldenversickerung aufgrund ihres höheren relativen Flächenbedarfes⁵. Die höchsten Betriebskosten sind für Gründächer ausgewiesen. Schließlich werden in Tabelle 31 (im Anhang) die Betriebskosten in Bezug auf die Versickerungs- und Maßnahmenfläche ausgewiesen. Insgesamt ist die Datensituation zu den Betriebskosten im Vergleich zu den Angaben zu den Investitionen schlechter.

Für die weitere Betrachtung soll die Variabilität der Kosten mitberücksichtigt werden. Daher wird mit drei Kostengerüsten gerechnet:

- Kostengerüst 1: Kostenschätzung/vereinfachte Vorplanung bereinigt um den Quotienten aus 1. Quartil und Median für die Regenwasseranlagen entsprechend der empirischen Analysen von Strehl et al. (2017, S. 63) und Leimbach et al. (2018, Anhang)⁶
- Kostengerüst 2: Kostenschätzung/vereinfachte Vorplanung (Kapitel 3.7) als Indikatoren für mittlere Kosten.
- Kostengerüst 3: Kostenschätzung/vereinfachte Vorplanung erhöht um den Quotienten aus 3. /Quartil zu Median für die Regenwasseranlagen entsprechend der empirischen Analysen von Strehl et al. (2017, S. 63) und Leimbach et al. (2018, Anhang)⁷.

In Tabelle 14 sind die beiden Kostengerüste in die Abschätzung der Annuitäten eingeflossen. Neben den Kostenschätzungen/vereinfachte Vorplanung (Tabelle 28 und Tabelle 29) wurden die mittleren Betriebskosten (vgl. Tabelle 30 und Tabelle 31) genutzt. Es wurde eine Nutzungsdauer von 40 Jahren⁸ sowie ein realer Zinssatz von 3 % ohne Berücksichtigung von Preissteigerungen angesetzt⁹. Vorgehen und Zinssatz folgen den Vorgaben der LAWA-Kostenvergleichsrechnung (DWA 2012), so dass eine siedlungswasserwirtschaftliche Perspektive eingenommen wird.¹⁰ Die Ergebnisunterschiede zwischen den Kostengerüsten sind deutlich. Zugleich werden die Unterschiede zwischen den spezifischen Maßnahmenkosten sichtbar:

⁵ Allerdings stellt sich hier fallspezifisch die Frage, ob die Betriebskosten der Rasenpflege bei der Nutzung einer vorhandenen Rasenfläche als Versickerungsfläche nicht sowieso anfallen und somit keine Zusatzkosten darstellen.

⁶ Mittlere Quotienten aus 1. Quartil und Median der beiden Literaturquellen: Extensives Gründach (0,70); Flächenversickerung (0,30); Mulde (0,45); Rigole (0,70); Mulden-Rigolen System (0,75); Sickerschacht (0,65) (gerundet auf 0,05).

⁷ Mittlere Quotienten aus 3. Quartil und Median der beiden Literaturquellen: Extensives Gründach (1,70); Flächenversickerung (1,95); Mulde (1,55); Rigole (1,95); Mulden-Rigolen System (1,80); Sickerschacht (1,35) (gerundet auf 0,05).

⁸ Dies entspricht den Annahmen von Matzinger et al. (2017, S. 81 ff.) und Strehl et al. (2017). Niedrigere Nutzungsdauern, wie z. B. von Leimbach et al. (2018, S. 29) mit 30 Jahren angesetzt, würden zu höheren Projektkostenbarwerten bzw. Annuitäten führen. Herzer (2004, S. 74) verweist auf eine hohe Variabilität bei den Nutzungsdauern.

⁹ Bzgl. des Zinssatzes wird die Standardannahme siedlungswasserwirtschaftlicher Kostenvergleichsrechnungen aufgegriffen (vgl. DWA 2012).

¹⁰ Im Abschnitt 5.3.1.4 wird die Perspektive der Wohnungsunternehmen diskutiert.

- Bei Bezug auf die versiegelte Fläche stellt die Muldenversickerung die kostengünstigste Maßnahme dar. Die Flächenversickerung und Mulden-Rigolen-Systeme sind etwas kostenintensiver, Gründächer sind am kostenintensivsten.
- Bei einem Bezug auf die Maßnahmenfläche ist die Flächenversickerung am günstigsten.
- Die Abweichungen vom Mittleren Kostengerüst nach oben (Unterschied zwischen Kostengerüsten 3 und 2) sind deutlich größer als die Abweichungen nach unten (Unterschied zwischen Kostengerüsten 1 und 2)

Tabelle 14: Spezifische Annuitäten der Maßnahmen in Abhängigkeit von Bezugsfläche und vom Kostengerüst

	Spez. Annuität - bezogen auf Maßnahmenfläche [€/m ² * a) A _s			Spez. Annuität - bezogen auf versiegelte Fläche [€/m ² * a) A _v		
	Kosten-gerüst 1	Kosten-gerüst 2	Kosten-gerüst 3	Kosten-gerüst 1	Kosten-gerüst 2	Kosten-gerüst 3
Extensives Gründach	2,4	2,7	3,5	2,4	2,7	3,5
Flächen- versickerung	1,0	1,3	1,7	0,4	0,6	0,9
Mulde	1,6	2,3	3,0	0,2	0,3	0,4
Rigole	5,8	7,9	14,1	0,4	0,5	0,9
Mulden- Rigolen- System	6,1	7,7	13,3	0,6	0,8	1,3
Sickerschacht	76,6	95,4	114,2	1,5	1,9	2,3

Kostengerüst 1 – Kostenschätzung/vereinfachte Vorplanung abzgl. relative Abweichung des 1. Quartils vom Median; Kostengerüst 2 – Kostenschätzung/vereinfachte Vorplanung (vgl. Abschnitt 3.7); Kostengerüst 3 – Kostenschätzung/vereinfachte Vorplanung zzgl. relative Abweichung des 3. Quartils vom Median (vgl. Erläuterung im Text); eigene Berechnungen anhand der Angaben aus Tabelle 28 bis Tabelle 31; A_v – versiegelte Fläche (vgl. Kapitel 3.3.2), A_s – Versickerungs- und Maßnahmenfläche; angenommene Nutzungsdauer 40 a, Zinssatz real 3 %, keine Preissteigerung; Berechnung und Entwurf: S. Geyley, E. Hofmann.

5.3.1.2 Szenarienbezogene Gesamtkosten

Beispielhaft für Szenario 6 aus Abschnitt 3.2 werden im Folgenden Einflussfaktoren auf die Kosten verglichen. Beim Szenario 6 kommen hauptsächlich Mulden-Rigolen-Systeme zum Einsatz. Bei nicht ausreichendem Angebot an Freiflächen werden sie um Gründächer und Sickerschächte ergänzt. Wie in Abschnitt 3.2 beschrieben, unterscheiden sich die Szenarien in Bezug auf die zur Bemessung herangezogenen Regenintensitäten (5-jähriger, 30-jähriger bzw. 100-jähriger Niederschlag) und bzgl. der zugrunde gelegten Bodenverhältnisse (k_f-Wert von 10⁻⁴ bzw. 10⁻⁶ m/s).

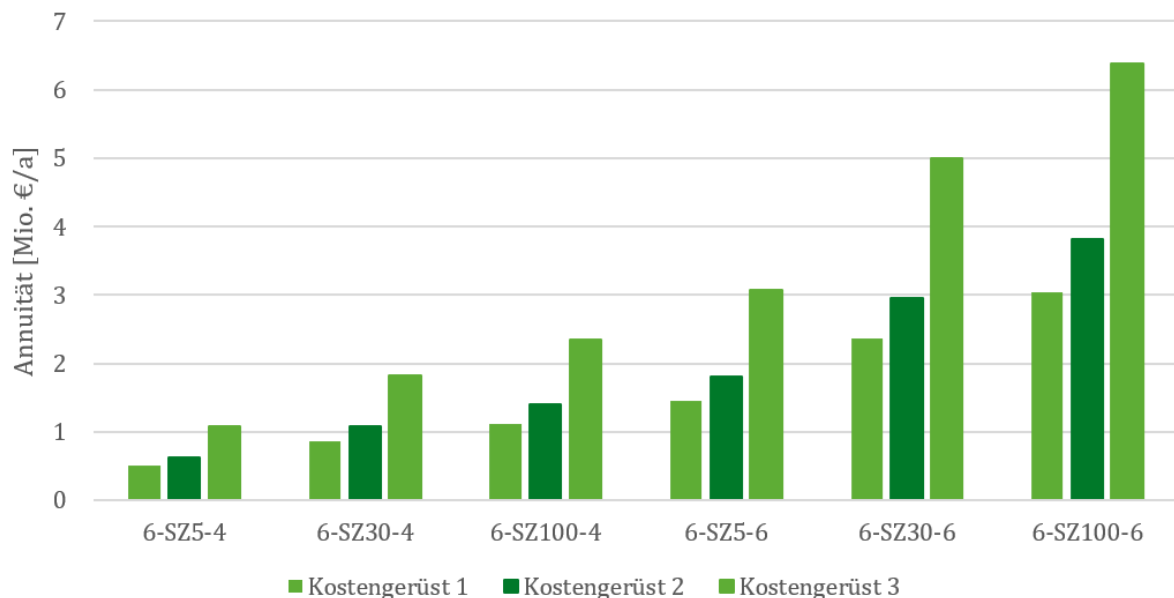
Die Abbildung 27 zeigt die Annuitäten der Gesamtkosten für Szenario 6. Ergebnisse sind:

- Die mittleren Annuitäten variieren deutlich zwischen ca. 0,5 Mio. €/a und ca. 4 Mio. €/a in Abhängigkeit von der Dimensionierung der Systeme und den Bodenverhältnissen. Bei Würdigung von weiteren Kostenfaktoren (unterschiedliche Kostengerüste) steigt die Varianz vom 8-Fachen auf das 13-Fache.

- Die Erhöhung der Wiederkehrzeiten für die Dimensionierung der Anlagen (vom 5-jährigen zum 100-jährigen Niederschlag) führt zur Verdopplung der Kosten.
- Eine schlechtere Versickerungsfähigkeit des Bodens (von $k_f = 10^{-4}$ auf 10^{-6}) führt fast zu einer Verdreifachung der Kosten gegenüber sehr gut geeigneten Böden.
- Der Wechsel vom unteren zum oberen Kostengerüst (Berücksichtigung der Unsicherheit bei den Kosten) verdoppelt die Kosten.

Geht man davon aus, dass die durch die Kostengerüste dargestellte Variabilität zumindest teilweise unabhängig von den explizit betrachteten Parametern „Bodenqualität“ und „Dimensionierung“ ist, so erscheint es als wichtig, weitere Kosteneinflüsse mitzubetrachten.¹¹

Abbildung 27: Annuitäten der Gesamtkosten für Szenario 6 in Bezug auf das Untersuchungsgebiet und unterschiedliche Kostengerüste



Kostengerüst 1 – Kostenschätzung/vereinfachte Vorplanung abzgl. relative Abweichung des 1. Quartils vom Median;
Kostengerüst 2 – Kostenschätzung/vereinfachte Vorplanung (vgl. Abschnitt 3.7);
Kostengerüst 3 – Kostenschätzung/vereinfachte Vorplanung zzgl. relative Abweichung des 3. Quartils vom Median (vgl. Erläuterung im Text); eigene Berechnungen anhand der Angaben aus Tabelle 14 und Tabelle 33; angenommene Nutzungsdauer 40 a, Zinssatz real 3 %.

Berechnung und Entwurf: S. Geyler, E. Hofmann

¹¹ Das Vorgehen bei der Ableitung der Kostengerüste 1 und 3 bietet keine Gewähr, dass diese nicht von der Bodenqualität und Anlagendimensionierung beeinflusst sind und nur zusätzliche Kosteneinflüsse abbilden. Die Literaturangaben, aus denen die Schwankungsbreiten abgeleitet wurden, differenzieren diesbezüglich nicht. Allerdings wurden für die Ableitung der Kostengerüste das 1. und 3. Quartils und nicht die Minimal- und Maximalwerte der in der Literatur angegebenen Schwankungsbreiten herangezogen. Dies basiert nicht zuletzt auf der Annahme, dass die Hälfte der Kostenvariabilität auf Bodenverhältnisse und Dimensionierung zurückzuführen sein könnte und daher unberücksichtigt bleiben sollte. Gleichwohl sind die angegebenen Kostenschwankungen vor allem als Hinweis auf die Bedeutung weiterer Kostenfaktoren zu verstehen und nicht als nachweisliche Kostenfaktoren zusätzlich zur Bodenqualität und Dimensionierung.

5.3.1.3 Potenzial zur betrieblichen Wirtschaftlichkeit

Wenn Grundstückseigentümer¹² die ortsnahe Regenwasserbewirtschaftung umsetzen, so müssen sie einerseits die Kosten für Errichtung und Betrieb der Anlagen tragen, zugleich verringern sich in der Regel die Regenwasserentgelte. Beide Positionen beeinflussen maßgeblich die Wirtschaftlichkeit der Systeme. Falls die Grundstückseigentümer nicht zur Nutzung ortsnahe Anlagen verpflichtet sind, wie z. B. bei Vorliegen einer Gründachsatzung oder von Einleitbegrenzungen in den öffentlichen Kanal, spielt die Wirtschaftlichkeit eine wichtige, wenn auch nicht die alleinige Rolle bei deren Entscheidung, Innovationen aufzugreifen.

Die folgenden Abbildung 28 und Abbildung 29 schätzen vereinfachend das Potenzial zur betrieblichen Wirtschaftlichkeit der Dezentralisierungsszenarien und stellen die Einflüsse von verschiedenen Rahmenbedingungen dar. Berücksichtigt werden:

- die spezifischen Maßnahmenkosten,
- die Regenwasserentgelte sowie
- die Wirtschaftlichkeitsmaßstäbe der Grundstückseigentümer selbst.

Auf die szenarienbedingt unterschiedlichen Maßnahmenkosten in Abhängigkeit vom Kostengerüst, Bodenqualität und Bemessung der Anlagen wurde schon ausführlich im vorangegangenen Abschnitt eingegangen.

Regenwasserentgelte variieren deutlich zwischen den Kommunen. Geyley et al. (2019) dokumentieren Regenwasserentgelte zwischen 0,29 und 1,93 €/m² für 40 Städte in Deutschland. Die mittlere Höhe wird für 2013 mit 0,85 €/m² (DWA 2014) angegeben¹³. Im Folgenden werden Entgelthöhen von 0,50 €/m²*a, 0,85 €/m² und 1,50 €/m²*a verglichen.¹⁴ Weiterhin variieren die spezifischen Entgeltermäßigungen für ortsnahe Regenwasseranlagen zwischen den Kommunen. Insbesondere dann, wenn die Anlagen noch an den Kanal angeschlossen sind, wird häufig nicht das gesamte Regenwasserentgelt erlassen (vgl. Geyley et al. 2019). Im Folgenden wird angenommen, dass bei Regenwasseranlagen mit Überlauf in den Kanal das Regenwasserentgelt um 50 Prozent reduziert wird, bei vollständiger Abkopplung das gesamte Regenwasserentgelt.

Die Grundstückseigentümer haben unterschiedliche Wirtschaftlichkeitsmaßstäbe in Abhängigkeit der Organisationsform, Ziel der Grundstücksbewirtschaftung und Kompetenz zur rationalen Entscheidungsfindung. So muss zwischen selbstnutzenden Eigentümern, privaten Vermietern mit persönlicher Haftung, privatwirtschaftlichen Wohnungsunternehmen sowie kommunalen bzw. öffentlichen Wohnungsunternehmen und Genossenschaften unterschieden werden (Schätzl et al. 2007, 18-22). Deren Entscheidungskriterien und Bewertungsmaßstäbe werden in Abhängigkeit vom Unternehmensziel¹⁵ und der Kompetenz zur rationalen

¹² Bei den folgenden Ausführungen können die Grundstückseigentümer analytisch nicht von den Mietern getrennt werden. Dadurch lassen sich wichtige Verteilungskonflikte zwischen diesen Gruppen bzgl. der Nutzen und Kosten der Regenwasseranlagen nicht darstellen (Vermieter-Mieter-Dilemma – vgl. DiFu 2011, S. 63). Jedoch lassen sich gleichwohl grundsätzliche Potenziale zur betrieblichen Wirtschaftlichkeit betrachten und somit die Ausgangsbasis für zukünftige Verteilungsanalysen zwischen diesen Gruppen bereitstellen.

¹³ Leipzig weist gegenwärtig eine Niederschlagsentgelt von 0,94 €/m² anrechenbare angeschlossene Fläche und Jahr aus (vgl. <https://www.l.de/wasserwerke/preise/niederschlagswasser>, zuletzt geprüft am 28.8.2020).

¹⁴ Vereinfachend wird angenommen, dass sich das Regenwasserentgelt auf die versiegelte Fläche bezieht.

¹⁵ Gewinnorientiert oder gemeinwohlorientiert.

Entscheidungsfindung¹⁶ variieren (vgl. Schätzl et al. 2007; Stengel 2014; Woess-Gallasch et al. 2017). Im Folgenden wird vereinfachend angenommen, dass sich diese Unterschiede in einer ungleichen Zinserwartung im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbewertung ausdrücken (Annahme – Verzinsung zwischen 1 bis 7 % real¹⁷).

Nicht berücksichtigt werden im Folgenden die Verteilungswirkung bzgl. Kosten und Einsparungen zwischen Grundstückseigentümern und Mietern sowie der Einfluss nicht monetärer/nicht direkt monetär greifbarer Effekte. Wichtige Teile des finanziellen Nutzens von Regenwasseranlagen liegen nicht beim Vermieter, sondern bei den Mietern (z. B. die Reduktion der Regenwasserentgelte). Können die Kosten nicht adäquat auf die Mieter umgelegt werden, so fehlt unter Umständen der wirtschaftliche Anreiz für Vermieter, Regenwasseranlagen zu errichten (vgl. DiFu 2011, S. 63). Die folgende Analyse untersucht, ob zumindest das Potenzial besteht, dass Vermieter und Mieter (bei optimaler Verteilung der Kosten und Entgelteinsparungen) derartige Anlagen wirtschaftlich positiv beurteilen.

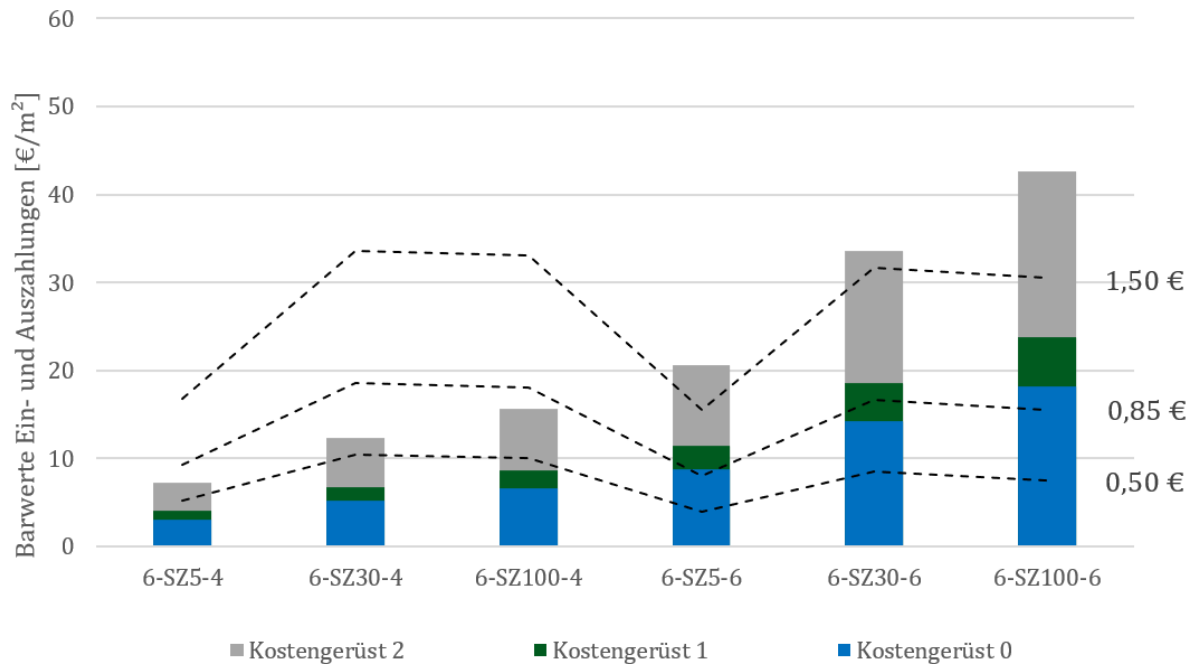
Weiterhin spielen zahlreiche Effekte hinein, die für Grundstückseigentümer und Mieter entscheidungsrelevant, aber nicht oder nur schwer monetarisierbar sind: zum Beispiel ästhetische Aspekte oder eine verlängerte Lebensdauer von Dachabdichtungen bei Gründächern (vgl. Dickhaut et al. 2017, S. 16). Darüber hinaus gibt es externe Effekte, z. B. die in Abschnitt 5.2 beschriebenen Wirkungen. Diese manifestieren sich als Nutzen für die Allgemeinheit oder andere Akteure, die aber den Grundstückseigentümern nicht honoriert werden. Daher werden sie häufig nicht adäquat bei betrieblichen Entscheidungen berücksichtigt. Diese Aspekte werden im Folgenden nicht abgebildet.

Die Abbildung 28 und Abbildung 29 vergleichen für die verschiedenen Ausprägungen von Szenario 6 die Investitionen mit dem Barwert des Deckungsbeitrages aus eingesparten Regenwasserentgelten und Betriebskosten. Liegt der Barwert des Deckungsbeitrages oberhalb der Investitionen, so ist die Maßnahme wirtschaftlich. Abbildung 28 zeigt hierbei den Einfluss des Entgeltes bzgl. der Regenwasserentgelte auf. Abbildung 29 verweist auf den Einfluss der unterschiedlichen Renditeerwartung von Wohnungsunternehmen auf die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.

¹⁶ Begrenzt rationale Entscheidung von selbstnutzenden Eigentümern oder komplexe Wirtschaftlichkeitsüberlegungen bei großen Wohnungsunternehmen.

¹⁷ Annahme: Gewichtete durchschnittliche Kapitalkosten von 3 bis 9 Prozent bei einer Inflation von 2 Prozent. Zum einen spielen hier die erwarteten Eigenkapitalrenditen hinein, die je nach Unternehmensziel und Organisationsform unterschiedlich hoch ausfallen. Weiterhin wirken sich die Fremdkapitalkosten sowie das unternehmensindividuelle Verhältnis von Eigen- und Fremdkapitalkosten auf die Höhe der Verzinsung aus.

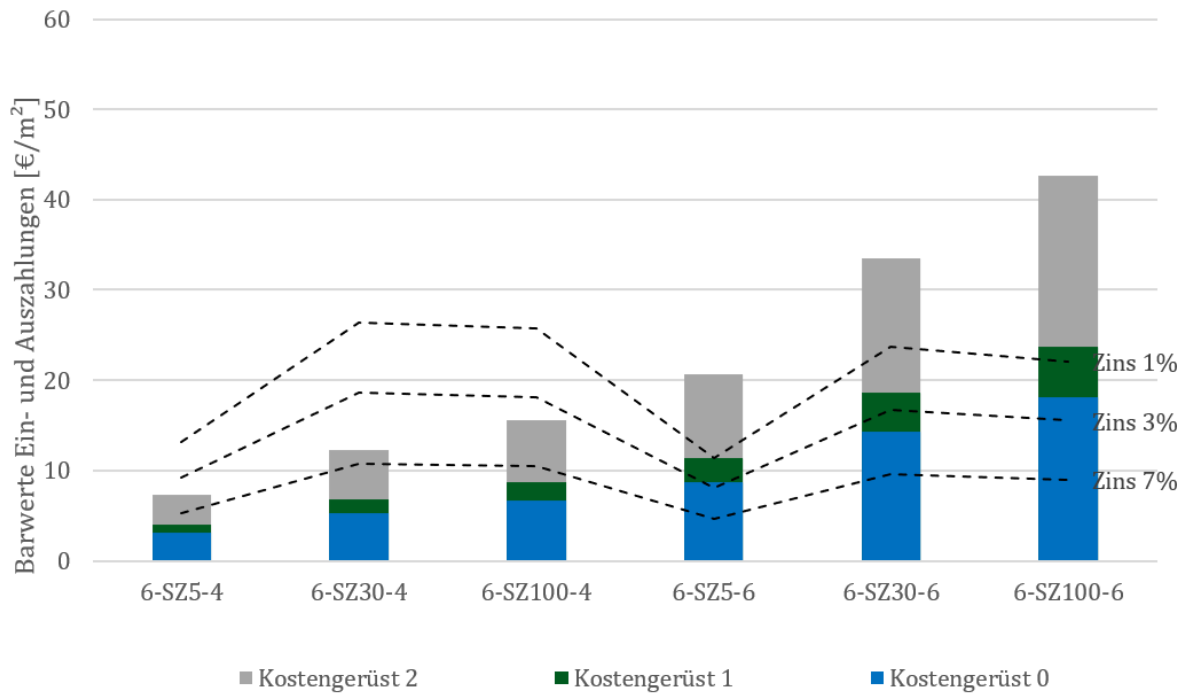
Abbildung 28: Szenarienspezifisches betriebliches Wirtschaftlichkeitspotenzial in Abhängigkeit vom Regenwasserentgelt und vom Kostengerüst (Zinssatz: 3 %)



Balken – Investitionshöhen in Abhängigkeit des Kostengerüsts; gestrichelte Linien – Barwerte der eingesparten Deckungsbeiträge (Differenz aus eingesparten Regenwasserentgelten und Betriebskosten), Beschriftung der gestrichelten Linie verweist auf Höhe des jährlichen Regenwasserentgelts bzgl. 1 m² versiegelter Fläche;

Kostengerüst 1 – Kostenschätzung/vereinfachte Vorplanung abzgl. relative Abweichung des 1. Quartils vom Median; Kostengerüst 2 – Kostenschätzung/vereinfachte Vorplanung (vgl. Abschnitt 3.7); Kostengerüst 3 – Kostenschätzung/vereinfachte Vorplanung zzgl. relative Abweichung des 3. Quartils vom Median (vgl. Erläuterung im Text); eigene Berechnungen anhand der Angaben aus Tabelle 28 bis Tabelle 31; weitere Annahmen: Nutzungsdauer der Anlagen 40 Jahre, Kalkulationszinssatz 3 % real, Reduktion des Regenwasserentgeltes um 50 % bei Dimensionierung der Anlagen auf 5-jährige Wiederkehrintervalle, Reduktion von 100 % bei Bemessungen auf 30- und 100-jährige Wiederkehrzeiten; Berechnung und Entwurf: S. Geyler, E. Hofmann

Abbildung 29: Szenarienspezifisches betriebliches Wirtschaftlichkeitspotenzial in Abhängigkeit vom Zinssatz und vom Kostengerüst (Regenwasserentgelt: 0,85 €/m²*a)



Balken – Investitionshöhen in Abhängigkeit des Kostengerüsts; gestrichelte Linien – Barwerte der eingesparten Deckungsbeiträge (Differenz aus eingesparten Regenwasserentgelten und Betriebskosten).

Kostengerüst 1 – Kostenschätzung/vereinfachte Vorplanung abzgl. relative Abweichung des 1. Quartils vom Median;

Kostengerüst 2 – Kostenschätzung/vereinfachte Vorplanung (vgl. Abschnitt 3.7);

Kostengerüst 3 – Kostenschätzung/vereinfachte Vorplanung zzgl. relative Abweichung des 3. Quartils vom Median (vgl.

Erläuterung im Text); eigene Berechnungen anhand der Angaben aus Tabelle 28 bis Tabelle 31; weitere Annahmen: Nutzungsdauer der Anlagen 40 Jahre, Regenwasserentgelt 0,85 €/m², Reduktion des Regenwasserentgeltes um 50 % bei Dimensionierung der Anlagen auf 5-jährige Wiederkehrintervalle, Reduktion von 100 % bei Bemessungen auf 30- und 100-jährige Wiederkehrzeiten; Berechnung und Entwurf: S. Geyley, E. Hofmann.

Kernaussagen sind¹⁸: Bei einer Überlagerung von eher niedrigen spezifischen Kosten, mittleren bis hohen Regenwasserentgelten und eher niedrigen Renditeerwartungen der Grundstückseigentümer ist eine Dezentralisierung potenziell wirtschaftlich. Dann sind die Voraussetzungen gegeben, dass Grundstückseigentümer und Mieter zu einer Verteilung der Kosten und Einsparungen kommen können, welche die Regenwasseranlagen für beide Akteursgruppen wirtschaftlich attraktiv macht. Ansonsten ergeben sich mehr oder weniger große Wirtschaftlichkeitsrisiken.

Bei versickerungsfähigen Böden liegen die Kosten unabhängig von Dimensionierung und Kostengerüst so günstig, dass mittlere Regenwasserentgelte und mittlere bis niedrige Kalkulationszinssätze für die potenzielle Wirtschaftlichkeit ausreichen. Eher gemeinwohlorientierte Wohnungseigentümer könnten hiervon angesprochen sein.

Hohe Entgelte verringern das Risiko von Unwirtschaftlichkeit selbst bei ungünstigen Böden deutlich. Allerdings bestehen bei allen untersuchten Konstellationen mehr oder minder

¹⁸ Es wurde weiterhin geprüft, inwieweit eine Erhöhung/Verringerung der Betriebskosten um jeweils 50 % sowie eine Erhöhung/Verringerung der Nutzungsdauer um jeweils 10 Jahre die Ergebnisse verändern. Die Effekte waren jeweils sehr gering und verändern die folgenden Aussagen nicht.

deutliche Wirtschaftlichkeitsrisiken im Fall von ungünstigen Böden. Ungünstige Kostenfaktoren (Kostengerüst 3) verstärken die Risiken deutlich.

Eine vollständige Abkopplung der grundstücksbezogenen Anlagen vom öffentlichen Kanal, hier dargestellt als Übergang von einer Dimensionierung auf 5-jährige Wiederkehrzeit hin zur Dimensionierung auf 30-jährige Wiederkehrzeit, verändert die Aussage zum betrieblichen Wirtschaftlichkeitspotenzial kaum.¹⁹ Die Einnahmegewinne durch vollständige Reduktion der Regenwasserentgelte gleichen die Kostensteigerungen aus.

Die bodenspezifischen Rahmenbedingungen, etwaige lokale Faktoren (z. B. Platzverhältnisse und Zugänglichkeit der Grundstücke für Baumaßnahmen) sowie Kalkulationsgrundsätze der Grundstückseigentümer können kleinräumig variieren. Daher können innerhalb eines Stadtgebietes Teilräume nebeneinander existieren, bei denen die Grundstückseigentümer zu unterschiedlichen Wirtschaftlichkeitsaussagen kommen. Zugleich variieren Entgelthöhe, tarifliche Reduktionstatbestände, aber auch bestimmte Kostentreiber (wie die Marktsituation) auf räumlich größeren Ebenen. So werden die Entgelte oft auf kommunaler Ebene festgelegt. Für strategische Transformationsentscheidungen scheinen daher das mittlere betriebliche Wirtschaftlichkeitspotenzial und deren kleinräumige Varianz bedeutsam zu sein.

Aufgrund der angedeuteten betrieblichen Wirtschaftlichkeitsrisiken ist es wichtig, verstärkt etwaige Zusatznutzen einer ortsnahe Regenwasserbewirtschaftung zu honorieren. Maßgebliche Beiträge zum Stadtklima, Überflutungsschutz sowie zur Freiraumqualität und Biodiversität könnten die wirtschaftliche Attraktivität der dezentralen Anlagen für Grundstückseigentümer und Mieter steigern.

5.3.1.4 Zwischenfazit

In Bezug auf die betrieblichen Kosten für ortsnahe Regenwasserbewirtschaftungsanlagen haben die Literaturobwertung und die für das Untersuchungsgebiet „Leipzig-Nord“ exemplarisch durchgeführten Berechnungen Folgendes gezeigt:

- Die literaturbezogenen Kosten für Errichtung und Betrieb von ortsnahe Regenwasseranlagen variieren deutlich in Abhängigkeit vom Typ, aber auch für die jeweiligen Anlagentypen selbst. Dies weist auf die hohe Bedeutung lokaler Rahmenbedingungen hin.
- Die beispielhaft für das Untersuchungsgebiet „Leipzig-Nord“ ausgewerteten Kosten für eine vollständige Abkopplung der Quartiere schwanken sehr deutlich in Abhängigkeit der betrachteten spezifischen Rahmenbedingungen.
- Betriebliche Wirtschaftlichkeitspotenziale für Grundstückseigentümer fallen bei den beispielhaften Berechnungen sehr unterschiedlich aus und können sowohl negativ als auch positiv sein. Für die strategische Diskussion über die Weiterentwicklung der Regenwasserbewirtschaftung sollten sowohl das mittlere Wirtschaftlichkeitspotenzial als auch deren kleinräumige Variabilität betrachtet werden.
- Etwaige positive externe Leistungen der grundstücksbezogenen Regenwasseranlagen, beispielsweise im Hinblick auf Stadtklima, Überflutungsschutz sowie Freiraumgestaltung und Biodiversität, sollten verstärkt den Grundstückseigentümern honoriert werden, um diese Aspekte in die betrieblichen Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zu internalisieren.

¹⁹ Szenario 6-SZ5-4: Überlauf an den öffentlichen Kanal, Reduktion des Regenwasserentgeltes um 50%; Szenario 6-SZ30-4: kein Überlauf an den öffentlichen Kanal, Reduktion des Regenwasserentgeltes um 100%.

Im Hinblick auf die Hauptfrage, inwieweit schon kleine Dezentralisierungsschritte die Wirksamkeit und Effizienz der Niederschlagsbewirtschaftung verbessern können, erscheint es anhand der Ergebnisse als plausibel, dass Kosten und betriebliche Wirtschaftlichkeitspotenziale ortsnaher Regenwasserbewirtschaftung kleinräumig stark schwanken. Es sollten sich daher Teilflächen für kleine Dezentralisierungsschritte finden lassen, die bzgl. der Kostensituation oder bzgl. der betrieblichen Wirtschaftlichkeitspotenziale besonders geeignet sind. Hierbei spielen naturräumliche (Bodenverhältnisse), siedlungswasserwirtschaftliche (Dimensionierung) als auch organisatorische Aspekte hinein (grundstücksbezogene Kostenfaktoren, Bewertungskriterien von Grundstückseigentümern). Allerdings beeinflussen auch mesoskalische Faktoren, wie z. B. die Höhe und Ausgestaltung der Regenwasserentgelte, die generelle Marktsituation oder kommunale Regeln zur Honorierung von externen Nutzenwirkungen ortsnaher Systeme die durchschnittlichen Kosten bzw. die durchschnittlichen betrieblichen Wirtschaftlichkeitspotenziale und können förderlich oder hemmend wirken.

5.3.2 Flächenverfügbarkeit innerhalb unterschiedlicher Bebauungsstrukturen

Wohnbauflächen und gemischte Bauflächen mit überwiegender Wohnnutzung dominieren die innerstädtischen Bereiche. In der Literatur wird regelmäßig auf die bessere Eignung von freistehenden Grundstücken und Zeilenbebauung für die Errichtung von ortsnahen Regenwasseranlagen im Vergleich zu Blockrandbebauung verwiesen (vgl. exemplarisch Geiger et al. 2009, S. 50; Heber 1998, S. 14f.; Hamburger Stadtentwässerung und Stadt Hamburg 2015, S. 30ff.). Relative Größe und Lage der Freiflächen gestalten sich bei freistehenden Grundstücken und Zeilenbebauung günstiger als bei Blockrandbebauung. Entsprechend einfacher und kostengünstiger sollten sich ortsnaher Anlagen nachträglich errichten lassen.²⁰ Daher erscheinen Bebauungsstrukturtypen (zusammen mit natürlichen Rahmenbedingungen) auch als geeignet, um die nutzungsbedingte Eignung von Quartieren für ortsnaher Regenwasserbewirtschaftung überblicksartig zu beurteilen. Dabei bleiben allerdings folgende Aspekte bei einer solchen strukturtypenbasierten Analyse offen:

- Inwieweit beeinflussen Abstandsgebote um Gebäude und Grundstücksgrenzen die Rangfolge der Bebauungsstrukturtypen hinsichtlich Flächenverfügbarkeit?
- Wie heterogen ist die Freiflächenverfügbarkeit innerhalb der einzelnen Bebauungsstrukturen? Und welche Konsequenzen ergeben sich hieraus für Transformationsansätze?

Diese Aspekte wurden beispielhaft und explorativ für den Stadtteil „Leipzig-Nord“ betrachtet. Grundlagen bildeten Daten der Stadt Leipzig, Amt für Geoinformation und Bodenordnung 2019. Die Bebauungsstrukturen werden hierbei in Anlehnung an Geiger et al. (2009) und Heber (1998) unterteilt in:

²⁰ Für eine multikriterielle Analyse lokaler Einflussfaktoren und die darauf basierende Bewertung der Wirtschaftlichkeit einzelner Maßnahmen werden regelmäßig GIS-basierte Regenwasserbewirtschaftungsartenkarten und Abkopplungspotenzialkarten herangezogen – vgl. hierzu exemplarisch Kaiser/Ingenieure et al. (2014, S. 63); Sieker et al. (2019, S. 43). Diese Karten zeigen und bewerten die Umsetzungs- und Platzierungsmöglichkeiten von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen auf Grundlage naturräumlicher Gegebenheiten (Geologie, Morphologie, Topographie, Bodenkunde sowie Hydrologie) sowie auf Grundlage von Bebauungsstrukturen (Lage der Fallrohre, Dachform etc.) und Flächennutzungsarten (Bepflanzung, Freiflächen etc.) und liefern daraus eine (Prozent-)Angabe zur möglichen abkoppelbaren Fläche. (vgl. <https://www.sieker.de/fachinformationen/regenwasserbewirtschaftung/article/potenzialkarten-441.html>, abgerufen am: 08.04.2021).

- Blockbebauung (Freiflächenstruktur: verwinkelte, enge Innenhöfe; Höfe hoch versiegelt; vereinzelt Grün),
- Zeilenbebauung (Freiflächenstruktur: große, lang gestreckte Freiflächen mit Parkplätzen, Zierrasen und Spielplätzen) sowie
- Freistehende Ein- und Mehrfamilienhäuser (Freiflächenstruktur: schmale Ziergärten; heterogene Freiflächenformen).

Viele Quartiere lassen sich nicht klar einem dieser Grundtypen zuordnen. Daher wurde die Gruppe der „heterogenen Bebauung“ den drei Grundmustern gegenübergestellt. Die Zuordnung der Quartiere zu den Bebauungsstrukturen wurde unter Nutzung der Gebäudedaten und Siedlungsstrukturtypisierung von Leipzig händisch vorgenommen (vgl. Abbildung 30). 40 % der betrachteten Flächen ließen sich nicht eindeutig einordnen und wurden daher der heterogenen Bebauung zugeordnet (vgl. Tabelle 34 im Anhang).

Abbildung 30: Übersicht über den Gebäudebestand im Untersuchungsgebiet mit Zuordnung zu Bebauungsstrukturen



Die Kategorie „Bebauung unklassifiziert“ umfasst Flächen, die lt. FNP keine Wohn- oder gemischten Bauflächen darstellen oder aus anderen Gründen aus der Betrachtung herausfielen; Bearbeitung und Darstellung: T. Wüstneck.

Die Abbildung 30 ordnet die Lage der Grundstücke²¹ in das Untersuchungsgebiet „Leipzig-Nord“ ein, für die die Grundstücksgrößen, die versiegelte Fläche sowie der mittlere Freiflächenanteil

²¹ Grundstücke wurden im Rahmen der Erhebung und Berechnung datenbedingt über Flurstücke dargestellt. Im Folgenden wird ausschließlich der Begriff Grundstück verwendet. Grundstücke bestehen mindestens aus einem Flurstück, können aber auch mehrere umfassen. Die Grundstücksgrößen werden dadurch im Folgenden tendenziell unterschätzt.

(vgl. Tabelle 34 im Anhang) berechnet und weiterhin die Hofnutzungen (vgl. Abschnitt 5.3.3) erhoben wurden. Grundstücke mit Blockbebauung (mintgrün) liegen überwiegend im Zentrum des Untersuchungsgebietes, Grundstücke mit Zeilenbebauung (hellgrün) liegen überwiegend am nordwestlichen Rand und Grundstücke mit freistehenden Gebäuden (dunkelgrün) sind über den westlichen Teil des Untersuchungsgebietes verteilt. Zusätzlich sind Grundstücke mit heterogener Bauweise (hellbraun) im westlichen Teil des Untersuchungsgebietes zu finden. Alle Grundstücke auf grau hinterlegten Flächen sind bezüglich ihrer Bauweise nicht klassifiziert worden, da sie nicht als Wohn- bzw. gemischte Bauflächen spezifiziert oder aus anderen Gründen nicht in die Betrachtung eingeschlossen worden sind. Die Zeilenbebauung war im Untersuchungsgebiet die flächenbezogen am geringsten vertretene Bauweise, gefolgt von freistehenden Gebäuden und Blockbebauung (vgl. Tabelle 34 im Anhang).

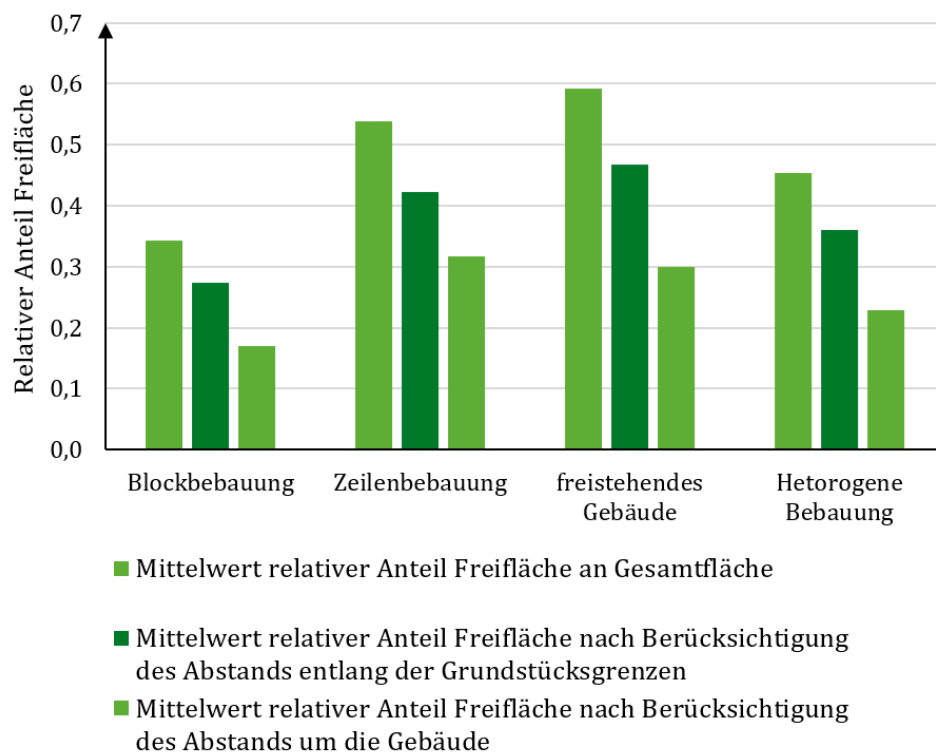
Abbildung 31 beschreibt die Unterschiede zwischen den Bauweisen im Hinblick auf den Freiflächenanteil der Grundstücke. Zugleich stellt die Abbildung die Wirkung der Abstandsregelungen beim Bau von ortsnahen Lösungen um Gebäude sowie Grundstücksgrenzen dar. Durch die Berücksichtigung eines Abstands um Gebäude sollen Vernässungsschäden an Kellern vermieden werden. Es wurde ein pauschaler Abstand von 5 m angesetzt. Diese Annahme orientiert sich an der DWA-A 138 und wurde im Abschnitt 3.3.6 näher begründet. Der Abstand von Grundstücksgrenzen soll nach DWA-A 138 Beeinträchtigungen des Nachbargrundstücks verhindern. Dies ist relevant, falls die ortsnahen Systeme für jedes Grundstück einzeln gebaut und keine grundstücksübergreifenden Lösungen verfolgt werden. Es wurde ein Abstand von 1 m von der Grundstücksgrenze angesetzt. Die DWA-A 138 gibt hierzu keine quantitative Vorgabe. Für Nordrhein-Westfalen wird ein Mindestabstand von 2 m beschrieben²². Kernaussagen entsprechend Abbildung 31 sind:

- Die Bauweisen unterscheiden sich statistisch signifikant²³ hinsichtlich des Freiflächenanteils in Bezug auf Grundstücke. Auch die heterogene Bauweise lässt sich hierbei einordnen. Die Reihenfolge mit abnehmendem Freiflächenanteil lautet: freistehende Gebäude > Zeilenbebauung > heterogene Bauweise > Blockrandbebauung.
- Durch die Sicherheitsabstände zu Gebäuden (5 m) halbiert sich die mittlere verfügbare Freifläche fast. Zeilenbebauung und freistehende Gebäude unterscheiden sich nicht mehr signifikant hinsichtlich des Freiflächenanteils.
- Etwaige Abstände um Grundstücksgrenzen wirken sich deutlich, aber weniger stark im Vergleich zu den Abständen um die Gebäude aus. Die Rangfolge zwischen den Bauweisen ändert sich nicht gegenüber der Betrachtung ohne Abstandsregeln. Die Unterschiede sind signifikant.

²² Absatz 11.3 RdErl. d. Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft IV B 5 – 673/2-29010 / IV B 6 – 031 002 0901 v. 18.5.1998, online verfügbar unter https://umwelt-online.de/regelwerk/wasser/laender/nrw/nswb_ges.html, zuletzt geprüft am 08.02.2021.

²³ Zweiseitiger Zweistichprobentest mit 5 % Signifikanzniveau.

Abbildung 31: Relative Freiflächenverfügbarkeit auf Grundstücken in Abhängigkeit von der Bebauungsstruktur und von Abstandsregelungen im Untersuchungsgebiet „Leipzig-Nord“

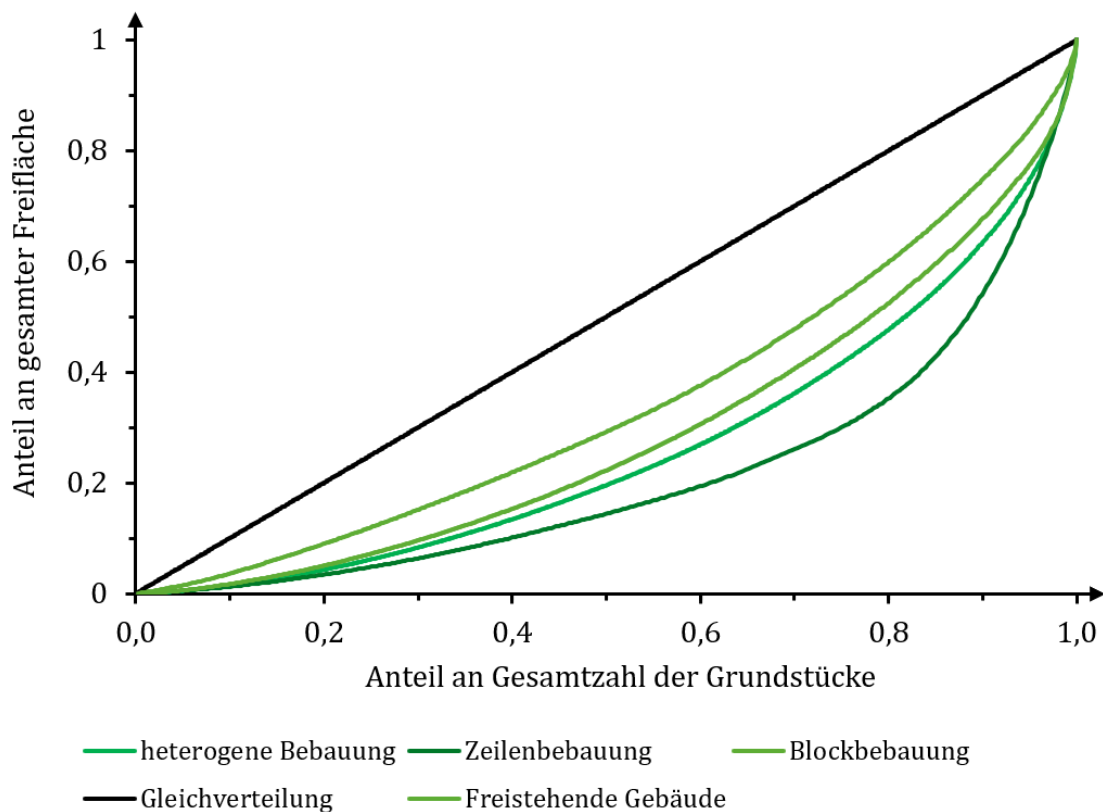


Berechnung und Entwurf: S. Geyler, E. Hofmann, T. Wüstneck auf Grundlage von Daten der: Stadt Leipzig, Amt für Geoinformation und Bodenordnung 2019 (Stand 2019). Datenbedingt wurden Flurstücke zur Darstellung der Grundstücke genutzt.

Weiterhin wurde die Varianz innerhalb der Bebauungsstrukturen untersucht. Dies erfolgte auf Ebene der Grundstücke. Abbildung 32 zeigt die Heterogenität der Freiflächen für die betrachteten Bebauungsstrukturen als Lorenz-Kurven²⁴. Die Freiflächen freistehender Gebäude sind bzgl. ihrer Größe homogener als die der Zeilenbebauung. Wenn der Freiflächenanteil die Kosten für die Errichtung ortsnaher Regenwasseranlagen beeinflusst, dann sollte eine größere Heterogenität der Flächengröße innerhalb eines Bebauungsstrukturtyps auf eine größere Heterogenität bzgl. der Ausprägung von baustrukturellen Kostentreibern in dieser Gruppe hinweisen.

²⁴ Die schwarze diagonale Linie zeigt die Gleichverteilung an. Diese würde erreicht werden, wenn die Freiflächen aller Grundstücke gleich groß wären. Je weiter die Kurven von der Diagonale abweichen, desto stärker variieren die Freiflächengrößen der Grundstücke.

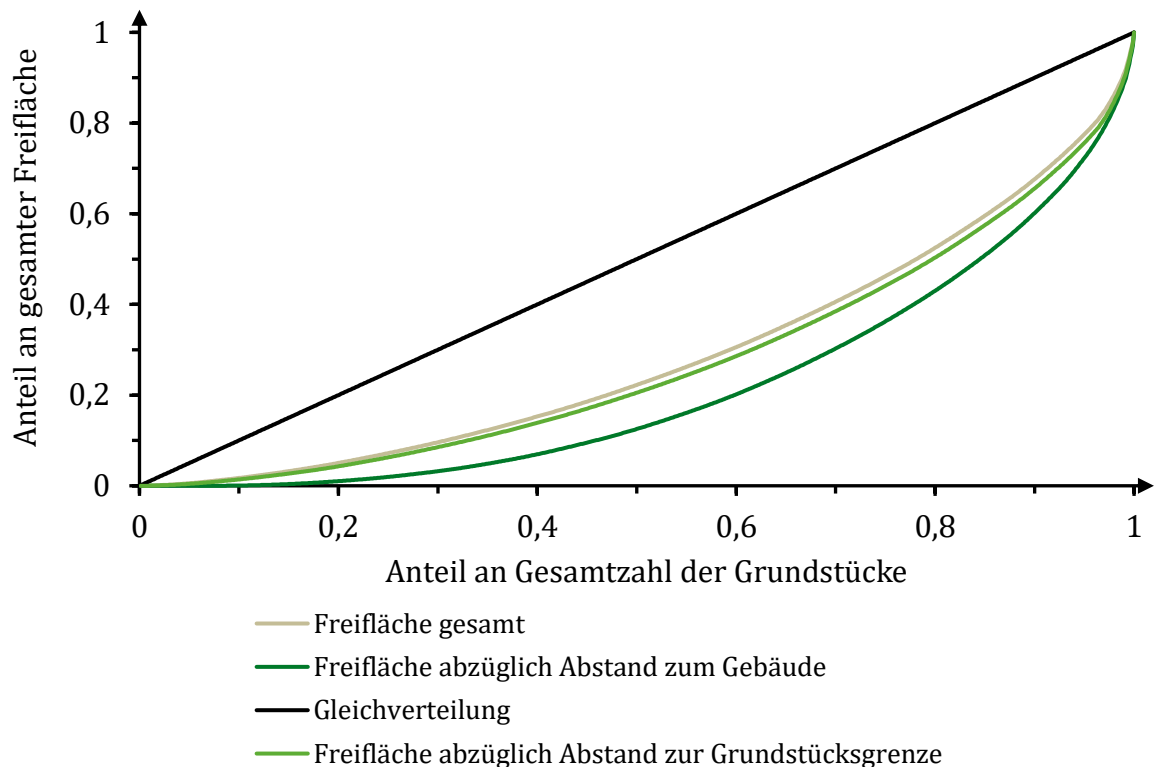
Abbildung 32: Heterogenität der Freiflächen auf Grundstücken in Abhängigkeit von der Bebauungsstruktur im Untersuchungsgebiet „Leipzig-Nord“



Berechnung und Darstellung: E. Hofmann, S. Geyler, T. Wüstneck auf Grundlage von Daten der: Stadt Leipzig, Amt für Geoinformation und Bodenordnung 2019 (Stand 2019). Datenbedingt wurden Flurstücke anstelle von Grundstücken genutzt.

Abbildung 33 zeigt darüber hinaus beispielhaft für die Blockbebauung, dass die Heterogenität bzgl. der Freiflächenverfügbarkeit auf den Grundstücken durch die Abstandsregelungen (zu Gebäuden und Grundstücksgrenzen) beeinflusst wird. Insbesondere die Abstandsregelungen zu Gebäuden vergrößern die Heterogenität bzgl. der Freiflächen innerhalb eines Bebauungsstrukturtyps. Dies trifft – wenn auch weniger ausgeprägt – ebenfalls auf die Bebauungsstruktur ‚freistehende Gebäude‘ und ‚Zeilenbebauung‘ zu.

Abbildung 33: Heterogenität der Freiflächen bei Blockbebauung in Abhängigkeit von Abstandsregelungen im Untersuchungsgebiet „Leipzig-Nord“



Berechnung und Entwurf: E. Hofmann, S. Geyler, T. Wüstneck auf Grundlage von Daten der: Stadt Leipzig, Amt für Geoinformation und Bodenordnung 2019 (Stand 2019). Datenbedingt wurden Flurstücke anstelle von Grundstücken genutzt.

Abschließend wurde untersucht, bei welchem relativen Anteil der Grundstücke die Freiflächen zumindest bilanziell²⁵ ausreichen würden, um ortsnahe Regenwasserbewirtschaftung umzusetzen (vgl. Tabelle 15). Vereinfachend wurde dabei von einem Flächenbedarf von 10 % der versiegelten Fläche ausgegangen (vgl. auch Tabelle 32 im Anhang und Abschnitt 3.5). Die Ergebnisse zeigen, dass ohne Berücksichtigung von Abstandsregelungen die Flächen bei nahezu allen Grundstücken rechnerisch den Flächenbedarf decken könnten, mit Ausnahme der Blockbebauung (Eignung nur bei 84 % der Grundstücke)²⁶. Allerdings verringert sich der Anteil an geeigneten Grundstücken bei Berücksichtigung des Abstandsgebots zu Grundstücksgrenzen und insbesondere zu Gebäuden deutlich. Zugleich wird die schon in Abbildung 31 beschriebene Reihenfolge der Bebauungsstrukturen bzgl. ihrer Eignung für ortsnahe Regenwasserbewirtschaftung weitgehend bestätigt: Freistehende Gebäude > Zeilenbebauung > Heterogene Bebauung > Blockbebauung. Es ergeben sich auch Konsequenzen im Hinblick auf die Organisation der ortsnahe Regenwasserbewirtschaftung. Während bei Bebauungsstrukturen mit hoher Flächenverfügbarkeit tendenziell eine grundstücksbezogene Organisation möglich ist, könnten quartiersbezogene, grundstücksübergreifende Lösungen für Bebauungsstrukturen mit wenig Flächenverfügbarkeit sinnvoll sein. Allerdings erhöht sich hierbei der Organisationsaufwand deutlich.

²⁵ Hierbei kann keine Aussage getroffen werden, inwieweit eine bilanziell verfügbare Fläche tatsächlich für ortsnahe Bewirtschaftungsanlagen geeignet ist.

²⁶ Sieker (1999, S. 175) gibt allerdings zu bedenken, dass selten mehr als 50 % der unversiegelten Fläche eines Grundstücks für Regenwasserbewirtschaftung zur Verfügung stehen (vgl. auch Gantner 2002). Daher werden hier die Mindestflächenbedarfe betrachtet.

Tabelle 15: Anteil von Grundstücken mit Freiflächen > 10 % der versiegelten Fläche in Abhängigkeit von Bauungsstrukturen und von Abstandsregelungen im Untersuchungsgebiet „Leipzig-Nord“.

Bauungsstrukturen	Anteil an Grundstücken mit Freiflächenanteil > 10 % der versiegelten Fläche			
	Ohne Berücksichtigung von Abstandsregelungen	Berücksichtigung des Abstands zu Gebäuden	Berücksichtigung des Abstands zu Grundstücksgrenzen	Berücksichtigung des Abstands zu Gebäuden und Grundstücksgrenzen
Blockbebauung	84 %	66 %	83 %	54 %
Freistehende Gebäude	100 %	98 %	100 %	88 %
Heterogene Bauung	94 %	80 %	93 %	68 %
Zeilenbebauung	99 %	94 %	98 %	82 %

Die Spalte „Berücksichtigung des Abstands zu Gebäuden und Grundstücksgrenzen überschätzt die aggregierte Wirkung, da etwaige Überlagerungen beider Abstände nicht gegengerechnet wurden. Berechnung und Entwurf: S. Geyler, E. Hofmann, T. Wüstneck auf Grundlage von Daten der: Stadt Leipzig, Amt für Geoinformation und Bodenordnung 2019. Datenbedingt wurden Flurstücke anstelle von Grundstücken genutzt.

Die Ergebnisse der explorativen, nicht verallgemeinerbaren Analyse zur Flächenverfügbarkeit bzgl. der Bauungsstrukturen lassen sich folgendermaßen zusammenfassen²⁷:

- Die Literatursagen zur unterschiedlichen Eignung der Bauungsstrukturen für die ortsnahen Regenwasserbewirtschaftung und die besondere Eignung von freistehenden Gebäuden (Ein- und Mehrfamilienhausstrukturen) sowie Zeilenbebauung wurde bestätigt und dies auch bei Berücksichtigung von Abstandsregeln.
- Zugleich wurde der deutliche Einfluss von Abstandsregeln auf die Flächenverfügbarkeit sichtbar. Grundstücksübergreifende Lösungen werden hierdurch gerade bei einer flächendeckenden Dezentralisierung relevant, in die auch Grundstücke mit kleinen Freiflächenanteilen einbezogen werden müssten. Für die Dezentralisierung von Teilflächen scheint aber auch ein grundstücksbezogenes Vorgehen möglich zu sein.
- Die Zeilenbebauung hat sich noch vor freistehenden Ein- und Mehrfamilienhäusern als Startpunkt von Dezentralisierungsszenarien herausgestellt. Die leichten Vorteile von freistehenden Gebäuden gegenüber der Zeilenbebauung schwimmen aufgrund der Wirkung der Abstandsregelungen und der höheren Heterogenität der Flächenverfügbarkeit bei Zeilenbebauung.
- Heterogene Strukturen weisen eine größere Flächenverfügbarkeit auf als Blockrandbebauung und könnten daher entsprechend leichter für eine Dezentralisierung zugänglich sein.

Die Untersuchung bestätigt die Eignung von Teilgebieten mit Zeilenbebauung sowie mit freistehenden Gebäuden als Orte erster Dezentralisierungsschritte. Dies gilt sowohl hinsichtlich ihrer durchschnittlichen Eignung als auch – bei Zeilenbebauung – in Bezug auf die Heterogenität innerhalb dieser Gruppe, da sich hierdurch die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass ein Teil der Grundstücke besonders geeignet ist.

²⁷ Durch die datenbedingte Nutzung von Flurstücken anstelle von Grundstücken werden die Grundstücksgrößen und die errechneten Freiflächen(-anteile) tendenziell unterschätzt.

5.3.3 Nutzungsmuster von konfliktbehafteten Hofnutzungen

Der vorangegangene Abschnitt 5.3.1 zeigte die unterschiedliche Flächenverfügbarkeit zwischen und innerhalb von verschiedenen Bebauungsstrukturen. Darüber hinaus konkurrieren ortsnah Regenwasseranlagen möglicherweise mit den Hofnutzungen. Hof- und weitere Grundstücksflächen²⁸ können in der Regel mannigfaltige Nutzungen durch die Anwohner aufweisen oder haben für diese eine spezielle Funktion. Eine verstärkte Inanspruchnahme der Flächen für ortsnah Regenwasserlösungen kann möglicherweise zu Konflikten mit anderen Nutzungsansprüchen führen. Im Folgenden werden mögliche Konflikte herausgearbeitet und systematische Zusammenhänge zu Bebauungsstrukturen empirisch für das Untersuchungsgebiet „Leipzig-Nord“ ermittelt.

Im Rahmen einer Literaturliteraturauswertung zu den Themen Freiraumnutzung, Anforderungen an das Wohnumfeld sowie Wohnbedürfnisse wurden verschiedene typische Nutzungen bzw. Funktionen identifiziert (Tabelle 16).

Tabelle 16: Verbreitete Hofnutzungen mit Merkmalen / beispielhaften Ausprägungen

Nutzung bzw. Funktion	Beispielhafte Ausprägung / Merkmale
Erholungs- und Rückzugsfunktion	Abschirmung von Straßen, stark frequentierten Bereichen; ansprechende Begrünung
Gärtnerische Nutzung	Beete; Nutz- oder Zierpflanzen; Gewächshaus
Infrastrukturelle Versorgung	Strom, Wasser, Kanalanschluss, Zufahrt Feuerwehr und Müllabfuhr
Knüpfen und Pflegen nachbarschaftlicher Kontakte – Begegnungsstätte / Kommunikationsstätte	Hohe Aufenthaltsqualität; Vorhandensein von 'Orten der Begegnung' bzw. 'Orten der Kommunikation' (z. B. Sitzgelegenheiten etc.)
Ökologische Funktion	Vegetation (Blumen, Sträucher, Gehölze etc.) als Lebensraum für Tiere (Insekten, Vögel etc.)
Repräsentations- / Imagefunktion	Gepflegte Rasenflächen, Bändigung des ‚Wildwuchses‘, Springbrunnen
Sport und Spiel für Kinder und Erwachsene	Spielplätze; bespielbare Flächen; Sandkästen; Pool
Standort für Gemeinschaftseinrichtungen	Wäschetrocknung; Teppichklopfen; Sitzecke
Stellplatzfunktion	PKW-Stellplätze; Fahrradstellplätze; (Tief-)Garagen; Fahrradschuppen
Verkehrsfunktion – Anbindung an das öffentliche Verkehrsnetz	Erschließungsstraßen und -wege
Wohnfunktion	Hinterhaus oder sonstige bauliche Nutzung

Entwurf: T. Wüstneck nach Wüstneck 2020, verändert; genutzte Literaturquellen – siehe Tabelle 35 im Anhang.

Einige der in Tabelle 16 aufgeführten Hofnutzung stehen in Konflikt zu ortsnahen Regenwasserlösungen. In Tabelle 17 sind diese Konflikte für ausgewählte Hofnutzungen in Hinsicht auf die Flächen-, Mulden- sowie Mulden-Rigolen-Versickerung dargestellt. Eine Nutzung der Flächen durch Kinder und Erwachsene und eine gleichzeitige Inanspruchnahme durch Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung kann dabei mit Einschränkungen möglich

²⁸ vgl. Fußnote 21.

sein (gelb) oder sich ausschließen (rot). Gerade bauliche Nutzungen (in Form von Hinterhäusern, Garagen, Schuppen sowie Pools / Springbrunnen) stehen im nicht auflösbaren Konflikt zu Versickerungslösungen. Gärtnerische Nutzungen, Nutzung für Erholung / Kommunikation oder zum Spielen sind demgegenüber eher mit Versickerungslösungen kombinierbar, wobei auch hier spezifische Rahmenbedingungen entscheidend sind.²⁹

Inwieweit verteilen sich konfliktbehaftete Hofnutzungen systematisch im städtischen Raum? Eine explorative empirische Erhebung auf 300 Grundstücken³⁰ im Untersuchungsgebiet „Leipzig-Nord“ deutet auf systematische Unterschiede hin (Wüstneck 2020).

Wie Abbildung 34 zeigt,

- waren bei einem Drittel (36 %) der untersuchten Grundstücke keine konfliktären Hofnutzungen festzustellen,
- waren die verbreitetsten konfliktbehafteten Hofnutzungen Garagen (21 %) und PKW-Stellplätze (12 %). Weiterhin finden sich vereinzelt Schuppen (8 %), Spielplätze und Hinterhäuser (jeweils 6 %) sowie Sandkästen (5 %),
- spielten Mietergärten, Pools / Springbrunnen und Tiefgaragen eine untergeordnete Rolle.

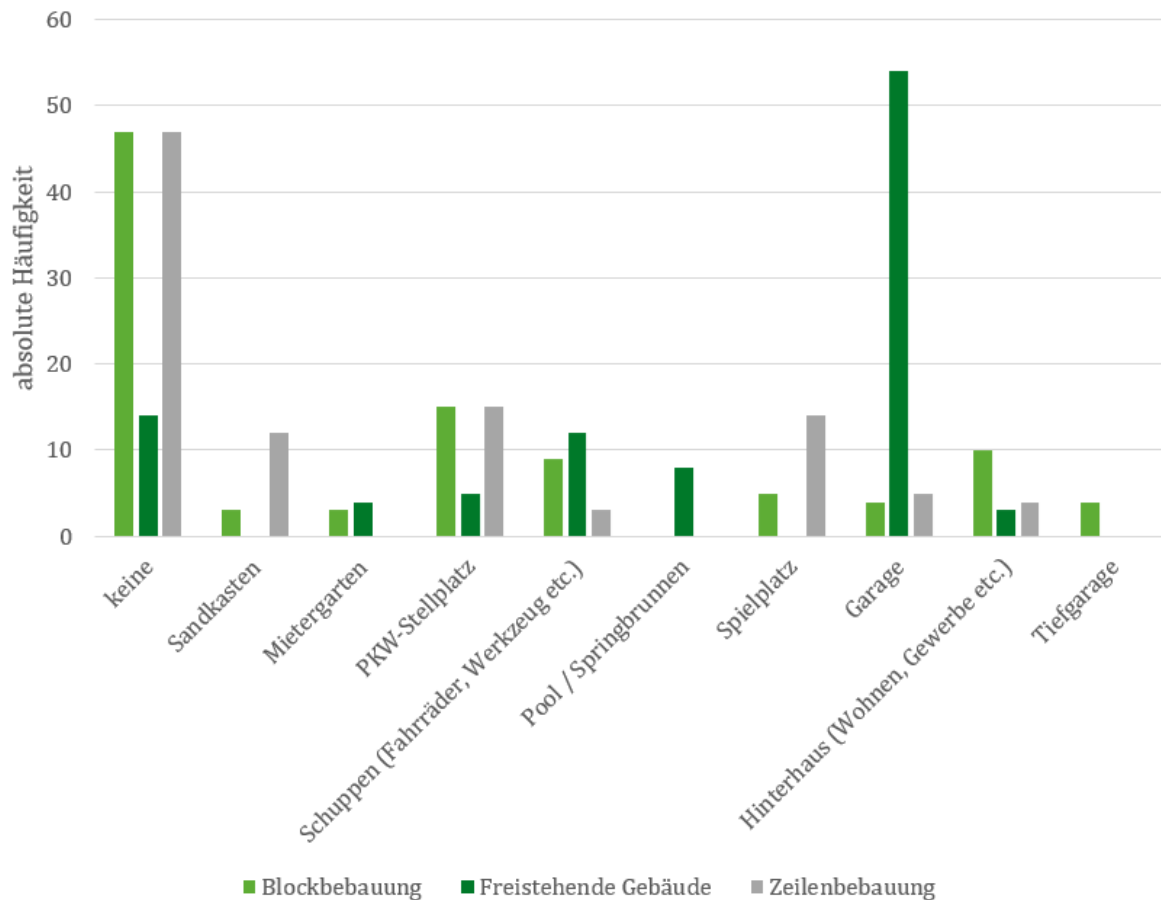
Nachfolgend werden statistisch signifikante Zusammenhänge zwischen dem Auftreten konfliktärer Hofnutzungen und der Bebauungsstruktur konkretisiert (vgl. Abbildung 34):

- Bei freistehenden Gebäuden, d. h. Ein- und Mehrfamilienhäusern, sind nahezu alle erhobenen Garagen zu verorten, wogegen sie sehr selten auf Grundstücken mit Block- oder Zeilenbebauung anzutreffen sind. Demgegenüber finden sich mehr PKW-Stellplätze auf Grundstücken mit Block- oder Zeilenbebauung.
- Spielplätze liegen besonders häufig auf Grundstücken mit Zeilenbebauung.
- Konfliktbehaftete Nutzungen fehlen am ehesten bei Grundstücken mit Block- und Zeilenbebauung. Dagegen steht die Bebauungsstruktur freistehende Gebäude besonders oft in Zusammenhang mit baulichen Nutzungen (z. B. Garage, Schuppen, Pool / Springbrunnen), welche unvereinbar mit Versickerungslösungen sind.

²⁹ Neben den in Tabelle 17 betrachteten Nutzungskonflikten sind weitere denkbar. Allerdings sind Konfliktpotenziale zwischen angedachten Regenwasserlösungen und beispielsweise den Nutzungsarten Rückzug und Erholung, Sport und Spiel sowie der Repräsentations- / Imagefunktion schwer greifbar und damit aktuell nicht bewertbar. Außerdem sind Nutzungskonflikte durch die aktuell stattfindende innerstädtische Nachverdichtung naheliegend, die über eine Auswertung der Bebauungspläne abbildbar wären. Die Wirkung des Einflussfaktors Nachverdichtung ist bisher nicht untersucht worden.

³⁰ Es wurden im Untersuchungsraum jeweils 100 zufällig ausgewählte Grundstücke aus Zeilen-, Blockbebauung bzw. freistehenden Ein- und Mehrfamilienhäusern ausgewertet. Wesentliche Daten wurden durch die Stadt Leipzig, Amt für Geoinformation und Bodenordnung (Stand 2019) zur Verfügung gestellt.

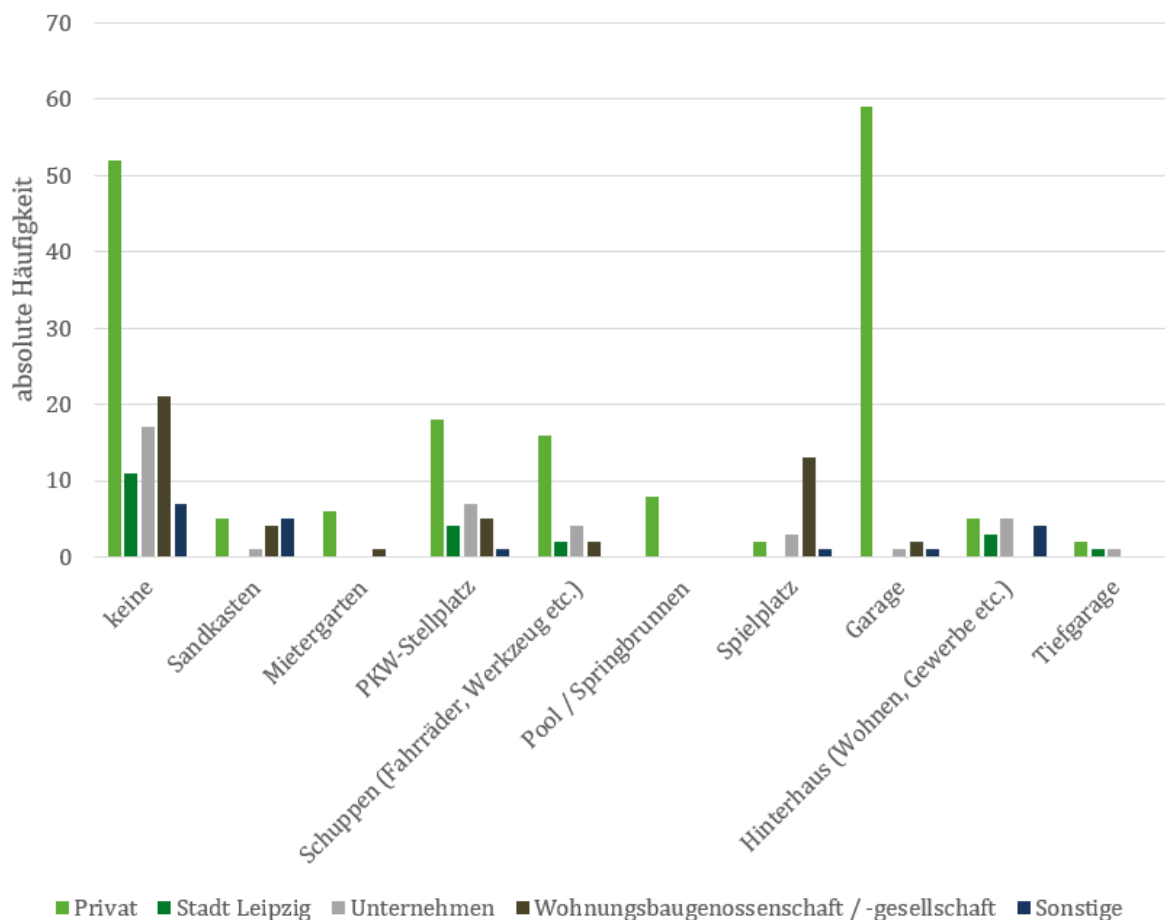
Abbildung 34: Absolute Häufigkeiten konfliktbehafteter Hofnutzungen im Untersuchungsgebiet "Leipzig-Nord" in Abhängigkeit von der Bebauungsstruktur



Entwurf: T. Wüstneck nach Wüstneck 2020; auf Grundlage von Daten der: Stadt Leipzig, Amt für Geoinformation und Bodenordnung 2019; n = 300.

Werden die Eigentumsverhältnisse zur Strukturierung (vgl. Abbildung 35) herangezogen, so sind Garagen fast ausschließlich auf Grundstücken in privater Hand zu verorten. Auf privaten Grundstücken liegen im Vergleich zu den anderen Eigentumsformen auch die konfliktbehafteten Nutzungen PKW-Stellplatz, Schuppen sowie Pool/Springbrunnen am häufigsten vor. Eine Nutzung durch Spielplätze findet sich größtenteils auf Grundstücken von Wohnungsbaugenossenschaften/-gesellschaften. Insgesamt liegen auf Grundstücken in privatem Besitz auch die meisten konfliktbehafteten Nutzungen vor.

Abbildung 35: Absolute Häufigkeiten konfliktbehafteter Hofnutzungen im Untersuchungsgebiet "Leipzig-Nord" in Abhängigkeit von der Eigentumsform



Entwurf: T. Wüstneck nach Wüstneck 2020; auf Grundlage von Daten der: Stadt Leipzig, Amt für Geoinformation und Bodenordnung 2019; n = 300.

Überdies könnten weitere Faktoren³¹ die Hofnutzung beeinflussen, so die Lebensstile der Anwohner (microm Micromarketing-Systeme und Consult GmbH 2019), die Kaufkraft der Haushalte sowie Grundstücks- und Immobilienwerte³² (Wüstneck 2020). Nach Spitthöver (2004, S. 42) unterliegt das Freiraumverhalten und damit auch die Hofnutzung weiterhin fortwährenden Veränderungen. Die Freiraumnutzung- und Freiraumakzeptanz sind zudem stark kulturell geprägt, was auch im hiesigen Kulturkreis zu ganz unterschiedlichen Freiraumangeboten und, abhängig von der Bewohnerschaft, zu unterschiedlichen Freirauminteressen führt.

Zusammenfassend deuten die explorativen empirischen Analysen darauf hin, dass:

- dauerhafte konfliktträchtige von weniger konfliktträchtigen Hofnutzungen abzugrenzen sind,
- eine nennenswerte Anzahl an Grundstücken³³ kein Konfliktpotenzial aufweist und somit eine ortsnahere Regenwasserbewirtschaftung erleichtert,

³¹ Auch unter den einzelnen Einflussfaktoren bestehen wechselseitige Abhängigkeiten.

³² Als erste Näherung wurde hierfür der Bodenrichtwert herangezogen.

³³ Durch die datenbedingte Nutzung von Flurstücken anstelle von Grundstücken wird die absolute Häufigkeit der vorliegenden Hofnutzungen auf den untersuchten Grundstücken tendenziell überschätzt.

- gerade bei freistehenden Ein- und Mehrfamilienhäusern und somit bei den Grundstücken mit vergleichsweise gutem Freiflächenangebot die baulichen Hofnutzungen den Vorteil höherer Flächenverfügbarkeit wieder etwas dämpfen,
- konfliktbehaftete Hofnutzungen nicht zufällig auftreten. Signifikante Einflussfaktoren bieten Erklärungsansätze, ohne dass die Zusammenhänge gegenwärtig abschließend erklärt werden können.

Für erste Dezentralisierungsschritte eignen sich die Grundstücke ohne bzw. mit nur geringem Konfliktpotenzial. Obgleich dies auch bei Blockbebauung gegeben ist, scheinen wiederum die Grundstücke mit Zeilenbebauung besonders geeignet zu sein.

Tabelle 17: Konflikte zwischen Flächennutzungen und Maßnahmen der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung auf Höfen / Grundstücken

Maßnahme zur Regenwasserbewirtschaftung	Nutzungseinschränkung	Hofnutzungen				
		PKW-Stellplatz	Hinterhaus Garage Schuppen Tiefgarage	Spielplatz Sandkasten	Gärtnerische Nutzung	Pool / Springbrunnen
Flächenversickerung	Versickerungsfähigkeit gewährleisten	z. B. durch Verwendung von Rasengittersteinen; Neubau erforderlich (Militzer et al. 2017, S. 19)		<ul style="list-style-type: none"> Integration von Kinderspielplätzen und -flächen möglich (Herzer 2004, S. 80f.) angemessene Pflege der Anlagen auf privaten Flächen mitunter nicht sichergestellt (Freytag et al. 2018, S. 20) 	Keine nennenswerten Einschränkungen für die Verwendung sonst üblicher standort-gerechter Pflanzen (Eppel-Hotz 2019, S. 83)	
Muldenversickerung	Temporärer Wassereinstau			<ul style="list-style-type: none"> Integration von Kinderspielplätzen und -flächen möglich (Herzer 2004, S. 80f.) angemessene Pflege der Anlagen auf privaten Flächen mitunter nicht sichergestellt (Freytag et al. 2018, S. 20) Mulden tiefer als 30 cm müssen eingezäunt werden (Freytag et al. 2018, S. 21) punktueller Verdichtung und Ausfall von Vegetation und Kolmation durch Trampelpfade möglich (Kluge et al. 2016, S. 109) 	punktueller Verdichtung und Ausfall von Vegetation und Kolmation durch Trampelpfade möglich (Kluge et al. 2016, S. 109)	
Mulden-Rigolenversickerung	Temporärer Wassereinstau			Mulden tiefer als 30 cm müssen eingezäunt werden (Freytag et al. 2018, S. 21)	punktueller Verdichtung und Ausfall von Vegetation und Kolmation durch Trampelpfade möglich (Kluge et al. 2016, S. 109)	

Erläuterung: rote Füllung - Maßnahme und Hofnutzung nicht kombinierbar; gelbe Füllungen - Maßnahme und Hofnutzung eingeschränkt kombinierbar; Entwurf: T. Wüstneck

5.4 Zwischenfazit Regenwasserbewirtschaftung

Es wurden die Wirkungen einer Niederschlagsbewirtschaftung im Quartier dahingehend untersucht, ob schon kleinere Dezentralisierungsschritte die Wirksamkeit und Effizienz verbessern können oder ob solche Transformationsgewinne erst bei einer flächendeckenden Dezentralisierung oder sogar einer vollständigen Abkopplung vom öffentlichen Kanal erzielt werden. Hierfür wurden literaturbasiert und beispielhaft-explorativ Analysen zu Wirkungen, Kosten und Flächenkonflikten einer Dezentralisierung durchgeführt und insbesondere deren kleinräumige Variabilität betrachtet. Ergebnisse und Schlussfolgerungen sind:

Eine vollständige Abkopplung verbessert den Entwässerungskomfort und Gewässerschutz deutlich. Ähnliche Wirkungen werden aber schon durch eine flächendeckende Ergänzung des zentralen Systems mit ortsnahe Anlagen kleiner Dimensionierung erreicht. Für erste Dezentralisierungsschritte ist darüber hinaus wesentlich, dass schon eine Nutzung solcher Anlagen auf Teilflächen den Entwässerungskomfort und Gewässerschutz verbessern. Daher sollte der notwendige Flächenbedarf zum Erreichen der kommunalen Ziele für Entwässerungskomfort und Gewässerschutz ermittelt werden. Hierbei sollten mögliche Anpassungsreaktionen des öffentlichen Systems auf Dezentralisierungsschritte berücksichtigt werden.

Bei der Auswahl der Teilflächen müssen Kosten, Flächenverfügbarkeit und mögliche Flächennutzungskonflikte auf den Grundstücken einbezogen werden. Günstige Flächen zeichnen sich nicht nur durch gute Bodenverhältnisse, günstige baustrukturelle Merkmale und ausreichende Flächenverfügbarkeit aus, sondern auch durch günstige Wirtschaftlichkeitsmaßstäbe der Grundstückseigentümer und durch konfliktarme Hofnutzungen. Es gilt, die kleinräumige Variabilität bei den Kostenfaktoren für die Wahl von Dezentralisierungsflächen auszunutzen, um die Dezentralisierungskosten zu minimieren.

Zugleich spielen auch die mittleren Kosten bzw. betrieblichen Wirtschaftlichkeitspotenziale eine wichtige Rolle. Kommunale Rahmenbedingungen, wie Entgelte, das Preisniveau von Bauleistungen oder Subventionen beeinflussen die mittleren Wirtschaftlichkeitspotenziale. Günstige mittlere Rahmenbedingungen erhöhen die Wahrscheinlichkeit, dass auf einer ausreichenden Anzahl von Teilflächen eine Dezentralisierung für die Grundstückseigentümer wirtschaftlich tragfähig ist. Zukünftig sollten den Grundstückseigentümern verstärkt auch externe Nutzen der ortsnahe Systeme hinsichtlich Wasserhaushalt, Stadtklima sowie Biodiversität und Freiraumqualität honoriert werden, um diese wichtigen Aspekte in die betrieblichen Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zu internalisieren.

Als Ausgangspunkt für die Suche nach kostengünstigen Teilflächen bieten sich insbesondere zeilenhafte Bebauungsstrukturen sowie Teile von freistehenden Ein- und Mehrfamilienhäusern an. Diese grundsätzlich bekannte Regel bestätigte sich exemplarisch für das Untersuchungsgebiet selbst bei Berücksichtigung von Abstandsregeln von Grundstück und Grundstücksgrenzen sowie bzgl. der Nutzungskonflikte bei Hofnutzungen. Bedeutsam für eine Auswahl geeigneter Grundstücke ist weiterhin, dass Flächenverfügbarkeit und konfliktbehaftete Hofnutzungen auch innerhalb der untersuchten Bebauungsstrukturen stark variieren.

Die Wirksamkeit einer Dezentralisierung von Teilflächen sowie die Wahrscheinlichkeit, dass Teilflächen mit vergleichsweise günstiger Wirtschaftlichkeit vorhanden sind, deuten auf die Effizienzpotenziale dieser Option gegenüber flächenhaften Dezentralisierungsbemühungen hin. Weitere Untersuchungen sind zur Stützung dieser Vermutung notwendig. Hierbei sollten auch die in diesem Bericht nur literaturbasiert betrachteten Wirkungen in Bezug auf den naturnahen Wasserhaushalt, die Klimaanpassung und die Freiraumqualität einbezogen werden.

6 Rechtlicher Rahmen und Handlungsbedarf zur Transformation der Abwasserinfrastrukturen

6.1 Zusammenfassung in Thesen

- (1) Wie die Siedlungsentwässerung auf die Herausforderungen der urbanen Nachhaltigkeit eingestellt wird, wird nicht allein von technischen Entwicklungen bestimmt, sondern wesentlich auch von rechtlichen Rahmenseetzungen, namentlich zur Umweltverträglichkeit, Sicherheit, Struktur, Zuständigkeit und Finanzierung der Stadtentwässerung. Für die Umsetzung nachhaltiger Lösungen der dezentralen Abwasserbewirtschaftung kommt es darauf an, dass das rechtliche Anforderungsprofil konstruktiv auf diese Lösungen eingestellt wird und dass auch geeignete Planungs-, Anordnungs-, und Finanzierungsinstrumente bereitgestellt werden.
- (2) In Bezug auf das Anforderungsprofil ist wesentlich, dass einerseits die **Verbesserungspotenziale** der dezentralen Lösungen für Überschwemmungsschutz, Gewässerschutz und Wasserhaushalt jedenfalls berücksichtigt und möglichst auch abgefordert werden, und dass andererseits die **Risiken** – etwa für den Boden- und Grundwasserschutz oder einer Verwertung als Bewässerungs- oder Betriebswasser – spezifisch adressiert und so reguliert werden, dass es nicht zu unangemessenen Problemverlagerungen kommen kann.
- (3) Für die Gemeinden, die im Interesse einer nachhaltigen Siedlungsentwässerung auch dezentrale Lösungen zur Abwasserbewirtschaftung vorantreiben wollen, ist außerdem von großer Bedeutung, dass der Rechtsrahmen Ihnen eine möglichst große **Klarheit** darüber vermittelt, unter welchen Bedingungen solche Lösungen zulässig sind und auf welchem Wege sie diese Lösungen planen, durchsetzen und finanzieren können. Deshalb kommt es darauf an, dass der Gesetzgeber die geforderte Infrastrukturanpassung klar zum Ziel erklärt und die Aufgabenträger durch **konstruktive Umsetzungsinstrumente** bei der Infrastrukturtransformation pro-aktiv unterstützt. Ob und inwieweit der Rechtsrahmen diesen Anforderungen bereits Rechnung trägt und wie er ggf. ertüchtigt werden könnte, ist Leitfrage dieses rechtlichen Untersuchungsabschnitts, der zunächst das Recht der Niederschlagsbewirtschaftung und sodann die Besonderheiten zur Schmutzwasserbeseitigung betrachtet und dabei zu folgenden wesentlichen Befunden und Empfehlungen gelangt.

Rechtliche Spielräume und Verpflichtungsmöglichkeiten zur dezentralen Niederschlagsbewirtschaftung

- (4) Der Blick in die einschlägigen Regelungen insb. des Wasserrechts, Baurechts und Abgabenrechts zeigt, dass die dezentrale **Niederschlagsbewirtschaftung** auch rechtlich als eine prioritäre Option der Stadtentwässerung anerkannt ist und dass das geltende Recht **bereits weite Spielräume** zur Umsetzung dezentraler Lösungen bietet. Bei näherer Hinsicht ist allerdings auch zu erkennen, dass im Anforderungsprofil und bei den Umsetzungsinstrumenten erhebliche Regelungslücken und Rechtsunsicherheiten bestehen, die die Planung und Durchsetzung dezentraler Maßnahmen mitunter als ein rechtliches Wagnis erscheinen lassen und erschweren. Auch fehlt es an maßgeschneiderten Instrumenten insb. zur Planung der (neuen) Abwasserinfrastrukturen und zum Umbau des Infrastrukturbestands, die den Wandel hin zu einer lokalen Wasserkreislauf konstruktiv fördern und damit auch solche Gemeinden auf den Weg bringen, die nicht von sich aus den Willen und Mut dazu finden.

- (5) In § 55 Abs. 2 WHG wird als ein zentraler Grundsatz Abwasserbeseitigung bestimmt, dass Niederschlagswasser vorrangig ortsnah versickert oder verrieselt werden oder getrennt abgeleitet werden soll. Die Wasserbehörden und kommunalen Aufgabenträger sind außerdem durch § 6 Nr. 5 WHG gehalten, an oberirdischen Gewässern so weit wie möglich **natürliche und schadlose Abflussverhältnisse** zu gewährleisten. Auch haben sie gem. § 5 Abs. 1 Nrn. 3 und 4 WHG dafür zu sorgen, dass die **Leistungsfähigkeit des örtlichen Wasserhaushalts** erhalten wird. Daraus folgt implizit auch eine **Priorität der dezentralen Niederschlagsbewirtschaftung** vor der getrennten Ableitung und eine entsprechende Pflicht der zuständigen Stellen, insb. bei Neuerschließungen die Möglichkeiten der dezentralen Bewirtschaftung zu prüfen und auszuschöpfen. Die **Jedermannspflichten** des § 5 Abs. 1 Nr. 3 und 4 WHG gelten darüber hinaus auch unmittelbar für die Eigentümer und Bauherren.
- (6) Auf der Grundlage von § 56 Satz 2 WHG geben die **Wassergesetze der Länder** den Gemeinden und/oder Wasserbehörden mehr oder weniger weitreichende Möglichkeiten, das Niederschlagswasser von der öffentlichen Beseitigung auszuschließen und die Grundeigentümer **zur Eigenbeseitigung zu verpflichten**. Die Wassergesetze der Länder ermächtigen die Gemeinden in unterschiedlichem Umfang auch dazu, in ihren kommunalen **Entwässerungssatzungen** genauer zu bestimmen, wie das Niederschlagswasser auf den Grundstücken zu bewirtschaften ist und welche Anlagen dazu ggf. zu errichten sind. In Baden-Württemberg findet sich eine entsprechende Ermächtigung in der Bauordnung.
- (7) Die **Festsetzungsmöglichkeiten der Bebauungsplanung** aus § 9 BauGB können in weitem Umfang dazu genutzt werden können, die **benötigten Frei- und Grünflächen** für eine dezentrale Niederschlagsbewirtschaftung zu sichern. Auch Festsetzungen zur Art und Weise der dezentralen Niederschlagsbewirtschaftung sind möglich, soweit sie der **Vermeidung von Überschwemmungsschäden** dienen oder die Bepflanzung von Gebäuden und Grundstücken betreffen. Eine Möglichkeit, Anlagen zur Niederschlagsbewirtschaftung auch unabhängig von Überschwemmungsrisiken mit dem Ziel festzusetzen, **den lokalen Wasserhaushalt zu verbessern** und die öffentlichen Entwässerungsstrukturen zu entlasten, ist dem BauGB bisher nicht unmittelbar zu entnehmen. Insofern erscheint eine **gesetzgeberische Ergänzung** wünschenswert.
- (8) Der **praktische Einsatzbereich der B-Planung** beschränkt sich weitgehend auf die Entwicklung neuer Areale, zumeist durch **vorhabenbezogene B-Pläne** gemäß § 12 BauGB und auf der Basis städtebaulicher Verträge. Die städtebaulichen Verträge bieten der Gemeinde allerdings weitreichende Möglichkeiten, um sich mit den Investoren auf Maßnahmen zur Niederschlagsbewirtschaftung zu einigen.
- (9) Bebauungspläne und die o.g. Festsetzungen zur Niederschlagsbeseitigung können auch in den **Baubestand** „hineingeplant“ und durch Bau-, Rückbau und Pflanzgebote (§§ 176, 179, 178 BauGB) umgesetzt werden. Derlei Eingriffe in den Plan- und Nutzungsbestand sind nur im Rahmen der **Abwägungsverhältnismäßigkeit und ggf. gegen Entschädigung** (§ 42 BauGB) oder auf dem Enteignungswege (§ 85 BauGB) zulässig. Grundsätzlich eignen sich auch die Instrumente der **städtebaulichen Sanierung** gem. §§ 136 ff. BauGB dazu, die Entwässerung von Bestandsquartieren durch Maßnahmen der dezentralen Rückhaltung und Versickerung zu ertüchtigen. Allerdings fehlt in § 136 Abs. 3 und 4 BauGB eine Regelung, die das Sanierungsinstrumentarium explizit auch in den Dienst einer wassersensiblen Stadtentwicklung stellt. Gleiches gilt für die Regelungen zum Stadtumbau gem. §§ 171a ff. BauGB.

- (10) Weder das (Ab)Wasserrecht noch das Baurecht normieren eine **Pflicht zur Abwasservermeidung**. Maßnahmen, die dazu dienen das Anfallen von Niederschlagswasser im Rechtssinne zu vermeiden, weil sie – wie insb. **Gründächer** – bereits ein gesammeltes Abfließen i.S.v. § 54 Abs. 1 Nr. 2 WHG verhindern, können daher – strenggenommen – nicht auf der Grundlage abwasserrechtlicher Bestimmungen angeordnete werden. Fortschrittlich wäre es demgegenüber, in Parallele zu § 7 KrWG bundesrechtliche **Grundpflichten zur Abwasservermeidung und -verwertung** einzuführen und diese Pflichten in den landesrechtlichen Entwässerungssatzungsermächtigungen zu untersetzen.

Anforderungen an den Überschwemmungsschutz

- (11) In Bezug auf die **Grundstücksentwässerung** fehlen spezifische gesetzliche Maßstäbe zum Überschwemmungsschutz. Das Abwasserrecht gibt lediglich die vage Vorgabe gem. § 60 WHG, dass die Entwässerungsanlagen den **allgemein anerkannten Regeln der Technik** zu entsprechen haben; bauordnungsrechtlich gilt zudem, dass von dem Grundstück und seiner Entwässerung **keine Gefahren und Belästigungen** ausgehen können. Die Festlegung konkreter Anforderungen bleibt weitgehend in den Händen der technischen Normsetzung. Die einschlägige DIN 1986-100 verlangt, dass die Differenz zwischen einem 2-jährlichen und einem **30-jährlichen Regenereignis** auf dem Grundstück schadlos zurückgehalten werden können muss, weil davon ausgegangen wird, dass das 2-jährliche Ereignis von der anliegenden öffentliche Kanalinfrasturktur abgeführt werden kann. Wenn demgegenüber eine weitergehende Eigenbewirtschaftung und Abkoppelung erfolgen sollen, muss die Retentionskapazität der Grundstücke entsprechend erhöht werden, wobei mit Blick auf die Aufwandsverhältnismäßigkeit nicht zwingend in jedem Fall auf das 30-jährliche Ereignis abzustellen ist.
- (12) Auch in Bezug auf die **öffentlichen Entwässerungssysteme** fehlen gesetzliche Standards zur Überschwemmungssicherheit. Die Praxis orientiert sich an den privaten Normen der DIN EN 752:2008 und des DWA-A 118:2006, die allerdings wesentlich auf Ableitungslösungen bzw. Auslegung der Kanalinfrasturktur zugeschnitten sind. Zu dem Weg der integrierten, auch dezentralen Niederschlagsbewirtschaftung gibt das **Merkblatt M-119** der DWA Empfehlungen, die im Kern auf ein **situationsgerechtes Risikomanagement** hinauslaufen, das Parallelen zum Hochwassermanagement nach der EG-**Hochwasserrichtlinie** bzw. den §§ 73-75 WHG aufweist. Ähnlich geht die Haftungsrechtsprechung davon aus, dass das zu leistende Überschwemmungsschutzniveau unter Berücksichtigung der konkreten Umstände und Entwässerungskonzeptionen zu bestimmen ist.
- (13) Der **Gesetzgebung wird empfohlen**, zum einen **Orientierungswerte** für den Überschwemmungsschutz nach dem Muster der o.g. DIN- und DWA-Normen gesetzlich zu normieren und zum anderen eine verpflichtende **Entwässerungsplanung** einzuführen, die die Gemeinden unter Anleihen beim Hochwasserrecht und auf der Grundlage von **Überschwemmungsrisikoraten** dazu verpflichtet, das Schutzniveau räumlich zu konkretisieren. Dabei sollte insb. verlangt werden, dass die Optionen der dezentralen Bewirtschaftung gründlich ermittelt und bei der Bestimmung des jeweils technisch möglichen und wirtschaftliche zumutbaren Schutzniveaus berücksichtigt werden.

Anforderungen an den Schutz der Gewässer

- (14) Zum Schutz der Gewässer stellt das Gesetz zum einen **emissionsbezogene** und zum anderen **qualitätsbezogene** Anforderungen. Emissionsseitig gilt für die Einleitung von Abwasser, einschließlich des Niederschlagswassers, nach **§ 57 Abs.1 WHG**, dass diese nur

erlaubt werden darf, wenn „Menge und Schädlichkeit so gering gehalten werden, wie dies bei Einhaltung der jeweils in Betracht kommenden Verfahren nach dem Stand der Technik möglich ist.“ Für die Bestimmung des **Standes der Technik** ist in Bezug auf die Niederschlagsbeseitigung folgendes von entscheidender Bedeutung:

- Die meisten Komponenten der dezentralen Niederschlagsbewirtschaftung und Eigenbeseitigung sind heute in zahlreichen Variationen **lange erprobt und praktisch bewährt** und müssen daher ohne weiteres als „Stand der Technik“ Anerkennung finden.
- Zum Stand der Technik der Niederschlagsentwässerung muss heute auch eine **einzugsgebietsbezogene Bewirtschaftung** gehören, die nicht nur – end-off-pipe – die Behandlungsmöglichkeiten vor dem Einleitungspunkt betrachtet, sondern alle Möglichkeiten zur Verringerung der Einleitungsmenge und -schädlichkeit insb. durch dezentrale Bewirtschaftungsmaßnahmen mit einbezieht.
- Diese Anforderungen zur Reduktion der Einleitungsmenge und -schädlichkeit gelten insbesondere **auch in Bezug auf Entlastungseinleitungen** aus der Mischkanalisation. Die Entlastungsanlagen sind darauf angelegt, bei wiederkehrenden Hochbelastungslagen Abwasser einzuleiten, es handelt sich nicht um etwa um Maßnahmen zur Abwehr unvorhergesehener Gefahren i.S.v. § 8 Abs. 2 WHG. Eine Mischwasserentlastung kann demnach nur noch insoweit zulässig sein, als durch qualifizierte Entwässerungsplanung nachgewiesen ist, dass eine Reduktion von Schädlichkeit und Menge durch dezentrale Retentions- und Versickerungsmaßnahmen mit kostenverhältnismäßigen Mitteln nicht möglich ist.

- (15) In dem Umstand, dass für die Einleitung von Niederschlagswasser außerhalb von Kläranlagen, und namentlich auch für Mischwasserentlastung, keine gesetzlichen Anforderungen zum Stand der Technik und keine Einleitungsgrenzwerte existieren, liegt eine eklatante **Regelungslücke**. Wegen der hohen Bedeutung dieser Einleitungen für die Gewässerqualität und weil die Frage der Minderung dieser Einleitung v.a. eine politische Frage des Aufwands ist, ist es vor dem verfassungsrechtlichen Wesentlichkeitsgrundsatz nicht vertretbar, diese Frage durch **privates Technikrecht** beantworten zu lassen, wie es sich im Entwurf des DWA Arbeitsblatts A 102 abzeichnet. Dies darf **verfassungsrechtlich nur als eine Notlösung** akzeptiert werden; der Ordnungsgeber ist dringend aufgerufen, dazu eine gesetzliche Regelung in die Abwasserverordnung aufzunehmen.
- (16) Der Ansatz des Entwurfs zur **DWA-A 102**, die emissionsseitige Anforderung zur Niederschlagswassereinleitung durch einen pauschalen **Grenzwert für abfiltrierbare Stoffe** AFS63 von 280 kg pro Hektar und Jahr zu konkretisieren, und die Begründung, dass Einleitungen unterhalb dieses Wertes nicht behandlungsbedürftig seien, **werden den gesetzlichen Maßstäben zur Bestimmung des Standes der Technik nicht gerecht**. Die in der DWA-Norm nicht einmal zitierten Bestimmungen gem. § 3 Abs. 11 und Anlage 1 WHG stellen nicht auf ein Kriterium der „Behandlungsbedürftigkeit“ ab, sondern darauf, welche Möglichkeiten nach dem gegebenen Stand der Technik zur Minimierung von Schädlichkeit und Menge der Abflüsse gegeben sind und außerdem auf Gesichtspunkte der Kostenverhältnismäßigkeit. Eine dementsprechende Begründung liefert die A-102 nicht. Die zuständigen Gemeinden dürfen nicht davon ausgehen, dass unterhalb des AFS-Kriteriums keine Minderungsmaßnahmen nach dem Stand der Technik möglich und geboten sind.
- (17) **Immissionsseitig** verlangt das WHG auch gegenüber Niederschlagseinleitungen und Mischwasserentlastungen, dass sie nicht zu einer Verfehlung der Qualitätsziele zum

chemischen und ökologischen Zustand führen und v.a. **keine Zustandsverschlechterungen** bewirken. Besondere Prüfungsrelevanz kommt mit Blick auf das Niederschlagswasser den **flussgebietsspezifischen Schadstoffen** und den **hydraulischen Belastungen** bei Starkregenabflüssen zu, die zu beträchtlichen „Flurschäden“ im empfangenden Gewässer führen können. Auch unter diesem Qualitätsaspekt wird es sich vielerorts empfehlen, die Einleitungsmengen durch dezentrale Bewirtschaftungsmaßnahmen zu reduzieren.

Anforderungen an Grundwasser- und Bodenschutz

- (18) Um einen effektiven Ausbau der Niederschlagsversickerung zu ermöglichen zugleich sicherzustellen, dass dadurch keine schädlichen Grundwasser- oder Bodenveränderung verursacht werden, bedarf es klarer Anforderungen zur Herkunft und Beschaffenheit des Niederschlagswassers und zur Eignung der Versickerungsanlagen und betroffenen Böden und Grundwasserkörper. Bisher haben dazu einige **Bundesländer Regelungen** erlassen (Erlaubnisfreistellungsverordnungen gem. § 46 Abs. 2 und 3 WHG), die allerdings beträchtliche Unterschiede aufweisen und eine einheitliche Umsetzung der bundesrechtlichen Anforderungen des Grundwasser- und Bodenschutzes ersichtlich nicht gewährleisten. Die Verordnungen und Erlasse der Länder stammen überdies sämtlich aus der Zeit um die Jahrtausendwende und konnten daher weder die von LAWA, LABO und LAI erarbeiteten „Geringfügigkeitsschwellen“ zur Umsetzung des grundwasserrechtlichen Besorgnisgrundsatzes (§ 48 WHG) noch die Schwellenwerte der Grundwasserverordnung berücksichtigen. Es ist daher zu empfehlen, dass der Bund dazu eine einheitliche Regelung auflegt oder zusammen mit den Ländern eine **Musterverordnung** ausarbeitet, die den o.g. Maßstäben Rechnung trägt.

Anforderungen an die Sicherheit dezentraler Abwasseranlagen

- (19) **Sicherheits- und Haftungsfragen** stellen offenbar eine relevante Praxishürde für die Realisierung von Versickerungsanlagen und insb. offenen Retentionsbecken dar. Unklarheiten bestehen z.B. darüber, wie temporäre Wasserflächen gegen Ertrinkungsgefahren gesichert werden müssen. Hier kommt es darauf an, Verkehrssicherungspflichten mit Augenmaß und unter voller Berücksichtigung des Nutzens von Retentionsbecken insb. für die Vermeidung von Überflutungsschäden zu bestimmen. Bestehende und neue Techniknormen zur Gestaltung der Retentionsbecken (DWA-A 138-Entwurf, DWA-M 176) geben dazu einige Hinweise, schaffen aber mangels rechtlicher Verbindlichkeit und vor dem Hintergrund einer **disparaten Rechtsprechung** keine hinreichende Rechtssicherheit. Diese wird sich nur durch spezifische (unter)gesetzliche **Standards** erreichen lassen, die die Verkehrssicherungsfrage klar adressieren.

Anforderungen und Instrumente zur Planung der Stadtentwässerung

- (20) Die systematische Umstellung auf dezentrale Strukturen der flächenhaften Niederschlagsbewirtschaftung verlangt in **hohem Maße eine Abstimmung** nicht nur innerhalb des Entwässerungssystems, sondern v.a. auch mit den betroffenen Flächennutzungen im Hinblick sowohl auf Nutzungskonflikte als auch Synergien der multifunktionalen Gestaltung und „Mitbenutzung“ urbaner Grün- und Verkehrsflächen. Diese komplexe Koordinierungs- und Konfliktlösungsaufgabe kann durch informale, technische Planungen, wie sie für eine weitgehend unterirdische Infrastruktur genügt haben, nicht adäquat geleistet werden. Vielmehr bedarf es einer formalen Fachplanung auf der Grundlage gesetzlicher Regelungen, die gewährleisten, dass

- die **Planung zur Pflicht** wird und alle größeren Gemeinden eine Entwässerungsplanung erstellen und regelmäßig fortschreiben, und
 - der Entwässerungsplanung eine gründliche **Ermittlung** und transparenten Darstellung der Tatsachengrundlagen einschließlich einer Kartierung der Überschwemmungsrisiken und Versickerungspotenziale zugrundegelegt wird,
 - eine geordnete **Abstimmung** mit den relevanten Verwaltungsstellen insb. der Stadtplanung, Grünämter, Straßenämter erfolgt und dass **Betroffene und die Öffentlichkeit beteiligt** werden,
 - die Planung inhaltlich den **Erfordernissen einer integrierten, auf die Einzugsgebiete bezogenen Entwässerungsplanung** und wassersensiblen Stadtplanung genügen und
 - die Planung **mit der örtlichen Gesamtplanung und relevanten Fachplanungen** zur Grün- und Weeginfrastruktur interaktiv verknüpft ist und darin Beachtung findet.
- (21) Zwar gibt es **fortschrittliche Städte**, die den Erfordernissen einer integrierten Entwässerungsplanung auch ohne gesetzliche Vorgaben bereits in beachtlichem Maße Rechnung tragen. Dies erübrigt jedoch keinesfalls, sondern unterstreicht vielmehr die Notwendigkeit, dies auch flächendeckend für alle anderen Städte bzw. Verbände sicherzustellen.
- (22) Die von einigen Bundesländern in ihren Landeswassergesetzen geregelten Pflichten und Anforderungen zur Erstellung von **Abwasserbeseitigungskonzepten** werden den o.g. Anforderungen an eine integrierte, auf eine dezentrale Niederschlagsbewirtschaftung ausgelegte Stadtentwässerungsplanung nur teilweise gerecht und bedürfen insofern einer **Ertüchtigung**. Der Bund kann die Entwässerungsplanung wegen Art. 84 Abs. 1 Satz 7 GG nicht bundesrechtlich regeln. Eine einheitliche, problemadäquate Ergänzung der Landeswassergesetze kann jedoch durch ein von der LAWA zu erarbeitendes **Mustergesetz** gefördert werden.

Rechtliche Besonderheiten in Bezug auf eine dezentrale Schmutzwasserbewirtschaftung

- (23) In Bezug auf **Schmutzwasser** bestimmt § 55 Abs. 1 Satz 2 WHG grundlegend, dass auch eine dezentrale Beseitigung in Betracht kommt. Voraussetzung ist allerdings, dass konkret dargelegt wird, dass die dezentralen Lösungen ein gleichwertiges Umweltschutzniveau gewährleisten, wobei eine integrierte Perspektive mit Blick auch auf Vorteile der Ressourcen- und Energieeffizienz zugrunde gelegt werden kann. Sofern dezentrale Lösungen als solche der Eigenbewirtschaftung durch die Grundeigentümer realisiert werden sollen oder müssen, ist zu beachten, dass die Landeswassergesetze es nur eingeschränkt erlauben, auch das Schmutzwasser von der öffentlichen Beseitigung auszunehmen bzw. die Beseitigung auf den Grundeigentümer zu übertragen. In der Regel wird dies **nur außerhalb geschlossener Ortschaften** zugelassen. Überlegenswert erscheint demgegenüber eine, „proaktive“ Regelung, die eine (partielle) Eigenbeseitigung insb. des Schmutzwassers auch innerhalb von Ortszusammenhängen zulässt, wenn jedenfalls (1) der Schutz der Gewässer, sonstigen Umwelt und Gesundheit gleichwertig gewährleistet wird, (2) die Funktionsfähigkeit der öffentlichen Abwasserinfrastruktur nicht gefährdet wird, und zudem (3) gewichtige Vorteile für den örtlichen Wasserhaushalt zu erwarten sind.
- (24) Das geltende Recht normiert **keine tragfähigen Verpflichtungsgrundlagen** dafür, Bestandseigentümer zu einer getrennten Erfassung und Überlassung oder auch Eigenbewirtschaftung von Grauwasser zu zwingen. Auf eine Aufbereitung der

Wiederverwendung des Grauwassers im örtlichen Wasserkreislauf zielende Lösungen können daher praktisch nur im Einvernehmen mit den Eigentümern bzw. Abwassererzeugern umgesetzt werden oder auf kommunalen Liegenschaften, die die Gemeinden aus eigener Verfügungsgewalt ertüchtigen können.

- (25) Keinen grundlegenden Rechtshindernissen begegnet demgegenüber das Modell der semi-zentralen Behandlung des Abwassers durch eine oder mehrere „**Quartiers-Kläranlagen**“, die die private Gebäudetechnik nicht berühren.
- (26) Für eine verpflichtende Einführung der **abwasserbürtigen Bioabfallentsorgung** fehlt im geltenden Recht eine tragfähige Rechtsgrundlage. Eine solche müsste zunächst durch den Bund in das KrWG und das WHG eingeführt werden.
- (27) Wie für die Niederschlagsbewirtschaftung gilt auch in Bezug auf die Schmutzwasserinfrastruktur, dass notwendige **Transformationsplanungen**, die in erheblichem Maße Eingriffe und Belastungen privater Grundeigentümer begründen (müssen), nicht im informellen Bereich bleiben dürfen, sondern auf eine formale Grundlage gestellt und durch angemessene Beteiligungs-, Transparenz-, Begründungs- und Verbindlichkeitsgewährleistungen untersetzt werden müssen.

6.2 Einführung: Bedeutung des rechtlichen Rahmens

Wie die Siedlungsentwässerung auf die Herausforderungen der urbanen Nachhaltigkeit eingestellt wird, wird nicht allein von technischen Entwicklungen bestimmt, sondern wesentlich auch von rechtlichen Rahmenseetzungen, namentlich zur Umweltverträglichkeit, Sicherheit, Struktur, Zuständigkeit und Finanzierung der Stadtentwässerung. Um die Transformation der Infrastrukturen hin zu nachhaltigen Lösungen voranzubringen, wird ein progressiver, auf Entwicklung ausgelegter Rechtsrahmen gebraucht, der die Verbesserungspotenziale dieser Lösungen aktiv fordert und fördert und dazu auch geeignete Planungs-, Anordnungs-, und Finanzierungsinstrumente bereitstellt.

Die Forderung nach einem progressiv-transformativen Rechtsrahmen steht allerdings im Kontrast zu dem Umstand, dass das **Recht mit Blick auf die Abwasserwirtschaft schon seit langem keine Schubkraft mehr für technische Verbesserung entfaltet**. In den achtziger und neunziger Jahren ist mit den Anforderungen zur öffentlichen Abwasserinfrastruktur und den Behandlungsstandards der Abwasserverordnung der Ausbau hochwertiger Kanalsysteme und wirksamer Reinigungsanlagen stark vorangetrieben worden. Seither ist allerdings die Dynamik dieses Rechtsbereiches weitgehend erschlafft. Die Abwasserverordnung, die das zentrale Anforderungskriterium zur Abwasserbehandlung – den „Stand der Technik“ – konkretisiert, ist kaum noch fortentwickelt worden. Die zentrale Scharniernorm des „Stand der Technik“ ist in einer den Dynamisierungszweck geradezu konterkarierenden Weise konservativ gehandhabt und auf einem Entwicklungsstand gleichsam eingefroren worden, auf dem die Priorität beim Ausbau der zentrale Abwasserbeseitigung lag und dezentralen Lösungen nur eine marginale Rolle zugemessen wurde.

In der Konsequenz dieser Rechtsentwicklung liegt es, dass der Rechtsrahmen der Stadtentwässerung hinsichtlich dieser dezentralen Lösungen und im Hinblick auf das Nachhaltigkeitsziel der örtlichen Wasserkreislaufwirtschaft noch **unterentwickelt** ist. Zwar räumt das WHG der dezentralen Beseitigung von Niederschlagswasser inzwischen eine grundsätzliche Priorität ein (§ 55 Abs. 2 WHG) und erkennt auch die Möglichkeit einer dezentralen Beseitigung von Schmutzwasser an (§ 55 Abs. 1 Satz 2 WHG). Anders als für die zentralen Systeme fehlen dazu jedoch in vieler Hinsicht noch spezifische Entwicklungsziele,

Umwelt- und Sicherheitsstandards, sowie Organisations-, Planungs- und Finanzierungsregelungen.

Für die Gemeinden genügt indes die abstrakte rechtliche Möglichkeit nicht, um die dezentralen Lösungen zur Abwasserbewirtschaftung effektiv voranzutreiben. Sie benötigen vielmehr einen spezifischen Rechtsrahmen, der Ihnen eine möglichst große **Klarheit** darüber vermittelt, unter welchen Bedingungen solche Lösungen zulässig sind und auf welchem Wege sie diese planen, durchsetzen und finanzieren können. In Anbetracht der Widerstände, die gegenüber den Pfadabhängigkeiten der Ableitungssysteme und den betroffenen Eigentümern zu überwinden sind, wird es den kommunalen Entscheidungsträgern kaum genügen, wenn das geltende Recht die erforderlichen Planungen, Anordnungen und Finanzierung nur leidlich ermöglicht und dazu zunächst fortschrittlich ausgelegt werden muss. Sofern die Dezentralisierung der Stadtentwässerung ein rechtliches Abenteuer darstellt, werden sich die wenigsten Verwaltungen darauf einlassen. Deshalb kommt es darauf an, dass der Gesetzgeber die geforderte Infrastrukturanpassung klar zum Ziel erklärt und die Aufgabenträger durch **konstruktive Umsetzungsinstrumente** bei der Infrastrukturtransformation pro-aktiv unterstützt. Ob und inwieweit der Rechtsrahmen diesen Adäquatheitsbedingungen bereits Rechnung trägt und wie er ggf. ertüchtigt werden könnte, ist Leitfrage dieses rechtlichen Untersuchungsabschnitts, der zunächst das Recht der Niederschlagsbewirtschaftung und sodann die Besonderheiten zur Schmutzwasserbeseitigung betrachtet und zu folgenden wesentlichen Befunden und Empfehlungen gelangt.

6.3 Niederschlagswasser

6.3.1 Die maßgeblichen Rechtsgrundlagen und technischen Normen im Überblick

Rechtliche Vorgaben zum Umgang mit Niederschlagswasser finden sich in erster Linie im Wasserrecht des Bundes, der Länder, aber auch der EU.

- **Das Abwasserrecht der §§ 54 ff. WHG** regelt die primäre öffentliche Aufgabenverantwortung und die grundlegenden, insb. emissionsbezogenen Anforderungen an die Beseitigung der Niederschläge, sofern sie als Abwasser anfallen. Diese Anforderungen dienen auch der Umsetzung der EU-Kommunalabwasserrichtlinie 91/271/EWG (KomAbwRL), die die Mitgliedstaaten dazu verpflichtet, für eine geordnete Abwasserbeseitigung und Schmutzwasserreinigung zu sorgen. Das Landes(ab)wasserrecht regelt Ergänzendes insbesondere zu der Frage, inwieweit von Grundstückseigentümern eine Eigenbewirtschaftung des Niederschlagswassers verlangt werden kann und welche Anforderungen insoweit zu beachten sind.
- **Das Gewässerqualitätsrecht der §§ 27 ff. und 46 ff. WHG** normiert in Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) immissionsbezogene Anforderungen, die bei der Einleitung in Oberflächengewässer oder Versickerung in das Grundwasser zu beachten sind.
- **Die allgemeinen Sorgfaltspflichten und Grundsätze gem. §§ 5, 6 WHG** schützen insb. auch den – mengenmäßigen – Wasserhaushalt in seiner Leistungsfähigkeit für Mensch und Natur. § 5 Abs. 1 verpflichtet jedermann dazu „die Leistungsfähigkeit des Wasserhaushalts zu erhalten und eine Vergrößerung und Beschleunigung des Wasserabflusses zu vermeiden.“ In Bezug auf die Siedlungsentwässerung bedeutet dies, dass das Niederschlagswasser möglichst dezentral zu versickern bzw. zu verwenden ist.

- **Die hochwasserrechtlichen Bestimmungen der §§ 72 ff. WHG** und die Vorsorgepflicht des § 5 WHG finden in der Praxis bisher auf niederschlagsbedingte Überschwemmungen aus dem Siedlungsbereich keine Anwendung. Dem liegt die Rechtsauffassung zugrunde, dass der Hochwasserbegriff gem. § 72 Abs. 2 auf Überschwemmungen durch Oberflächengewässer beschränkt worden sei und Überschwemmungen „aus Abwasseranlagen“ ausgeschlossen würden. Die EG-HochwasserRL 2007/60/EG, deren Instrumente zur Risikoermittlung, -kartierung und -managementplanung durch §§ 72-75 WHG umgesetzt werden, sollen durchaus auch auf „pluviale“ Überschwemmungsrisiken angewendet werden können, stellt es den Mitgliedstaaten aber anheim, „Überflutungen aus Abwassersystemen“ von der Anwendung auszunehmen (Art. 2 Nr. 1 S. 2 2.Hs).
- **Das BauGB** eröffnet mit der Bebauungsplanung und den Festsetzungsmöglichkeiten des § 9 eine Reihe von Möglichkeiten, um geeignete Flächen zur Versickerung, Speicherung und Ableitung von Niederschlagswasser zu sichern und dabei Synergien mit der „grünen“ und „grauen“ Infrastrukturentwicklung zu realisieren. Die Instrumente des besonderen Städtebaurechts können ferner dazu eingesetzt werden, Bestandsgebiete auch entwässerungstechnisch zu sanieren. Dem Sanierungsrecht des BauGB fehlt allerdings noch eine klare wasserwirtschaftliche Zielkomponente (s. unten 6.3.12).
- **Die Bauordnungen der Länder** sind, insofern bedeutend, als sie Anforderungen an die sichere Gestaltung von Entwässerungsanlagen normieren und außerdem die Gemeinden ermächtigen, örtliche Bauvorschriften auch zur wassersensiblen Grund- und Gebäudegestaltung z.B. mit Dach- und Fassadenbegrünung zu erlassen. Solche örtlichen Bauvorschriften haben indes den Vorrang der bunderechtlichen Bebauungsplanung zu respektieren und unterliegen in dieser Hinsicht einiger Rechtsunsicherheit.
- **Dem Naturschutzrecht** kommt vornehmlich durch die Eingriffsregelung eine große Bedeutung zu, weil der danach gebotene Ausgleich für flächenversiegelnde Baumaßnahmen – ggf. im bauplanungsrechtlichen Gewand des § 1a Abs. 3 BauGB – gezielt dazu eingesetzt werden kann, die Eingriffe in den Wasserhaushalt durch Versickerungsanlagen oder Gründächer zu kompensieren. Mit der Flächennutzungs- bzw. Grünordnungsplanung stellt das BNatSchG zudem ein Fachplanungsinstrument bereit, das zur integralen Planung von „blau-grünen“ Infrastrukturen genutzt werden kann. Die dazu erforderliche siedlungswasserwirtschaftliche Infrastrukturplanung kann allerdings durch die naturschutzrechtliche Planung nicht geleistet werden, dazu bedarf es vielmehr eines gesonderten „blauen“, wasserwirtschaftlichen Planungsinstruments (s. unten 6.3.12).
- **Technische Regelwerke:** Da die gesetzlichen Anforderungen zur Stadtentwässerung vielfältige Fragen der technischen Umsetzung und Gestaltung offenlassen, sind dazu von Fachverbänden und Normungseinrichtungen zahlreiche Normwerke und Leitfäden entwickelt worden, an denen sich die Praxis maßgeblich orientiert (siehe den Überblick in der nachstehenden Tabelle 18). Diesen Normen kommt von sich aus keiner rechtlichen Verbindlichkeit zu; sie können aber zur **Auslegung der gesetzlichen Anforderungen** herangezogen werden, wo diese auf technische Standards Bezug nehmen. Namentlich gilt dies für Errichtung, Betrieb und Unterhaltung von Abwasseranlagen, die gem. § 60 Abs. 1 Satz 2 WHG den **allgemein anerkannten Regeln der Technik** (aaRdT) zu entsprechen haben, und für die Einleitung von Abwasser in ein Gewässer (Oberflächen- oder Grundwasser), für die gem. § 57 Abs. 1 Nr. 1 WHG eine Verminderung von Menge und Schadstofffracht nach dem „**Stand der Technik**“ (SdT) vorausgesetzt wird. Auf die Bestimmung der aaRdT und des SdT sind insbesondere die **Arbeitsblätter** der DWA

gerichtet.³⁴ Die **Merkblätter** der DWA dienen daneben dazu, fortschrittliche Lösungsmöglichkeiten zu beschreiben, die noch keine Anerkennung im oben genannten Sinne gefunden haben.³⁵ Für die Bestimmung des SdT sind die gesetzliche Definition gem. § 3 Nr. 11 WHG und die Kriterien der Anlage 1 zum WHG zu beachten (s. dazu insb. unten 6.3.9).

Tabelle 18: Technische Regelwerke und Leitfäden zur Siedlungsentwässerung (Auswahl)

- DIN 1986-100 (2016), Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke - Teil 100: Bestimmungen in Verbindung mit DIN EN 752 und DIN EN 12056, Ausgabe 12-2016
- DIN EN 752, Entwässerungssysteme außerhalb von Grundstücken, Juli 1972
- DWA-A 117: Bemessung von Regenrückhalteräumen, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall 04/2006, korrigierte Fassung 2/2014
- DWA A 118: Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen, März 2006, korrigierte Fassung September 2011.
- DWA-A 100: Leitlinien der integralen Siedlungsentwässerung, 2017.
- DWA-A 102: Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer, Entwurf Stand 6/2019
- DWA M 153: Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall 08/2007.
- DWA-A 138: Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall 04/2005, mit Korrekturblatt 03/2006
- DWA-A 138-1 Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser, Teil 1: Planung, Bau, Betrieb, Entwurf, November 2020
- DWA M 119: Risikomanagement in der kommunalen Überflutungsvorsorge für Entwässerungssysteme bei Starkregen - November 2016
- DWA Praxisleitfaden zur Überflutungsvorsorge „Starkregen und urbane Sturzfluten“, 2013
- DWA-M 103 Hochwasserschutz für Abwasseranlagen
- DWA-A 166 Bauwerke der zentralen Regenwasserbehandlung und –rückhaltung - Konstruktive Gestaltung und Ausrüstung, November 2013

³⁴ Ziel der Arbeitsblätter ist es, „insbesondere zur Umsetzung gesetzlicher Anforderungen (...) technische Verfahren, Einrichtungen, Betriebsweisen und Maßnahmen zu beschreiben, die sich in ihrer praktischen Anwendung bewährt haben und nach sachverständiger Überzeugung der auf dem betreffenden Fachgebiet tätigen Personen als technisch einwandfreie und wirtschaftliche Lösungen gelten.“ (s. DWA-A 400, S. 10, 2018).

³⁵ „Aufgabe der Merkblätter ist es, Empfehlungen und Hinweise zur Lösung technischer, umweltrelevanter und betrieblicher Aufgabenstellungen sowie zum Qualitätsmanagement zu geben. Sie können auch Ergänzungen zu Arbeitsblättern darstellen sowie Verfahren, Einrichtungen, Betriebsweisen und Maßnahmen beschreiben, die noch nicht die Voraussetzungen für eine Anerkennung in einem Arbeitsblatt erfüllen. Merkblätter sollten, wenn die in ihnen enthaltenen Aussagen durch die Praxis bestätigt werden und sie die Anerkennung im betreffenden Fachgebiet gefunden haben, in Arbeitsblätter überführt werden.“ DWA-A 400, a.a.O.

- DWA-M 176: Hinweise zur konstruktiven Gestaltung und Ausrüstung von Bauwerken der zentralen Regenwasserbehandlung und -rückhaltung - November 2013
- DWA T3/2013: Beispiele zur Gestaltung von Regenbecken
- DWA-M 178: Empfehlung für Planung, Konstruktion und Betrieb von Retentionsbodenfilteranlagen zur weitergehenden Regenwasserbehandlung im Misch- und Trennsystem, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, 2019.
- BWK Merkblatt M 3: Ableitung von immissionsorientierten Anforderungen an Misch- und Niederschlagswassereinleitungen unter Berücksichtigung örtlicher Verhältnisse, Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK) e.V. 5. Auflage 2014.
- BWK Merkblatt M 7: Detaillierte Nachweisführung immissionsorientierter Anforderungen an Misch- und Niederschlagswassereinleitungen gemäß BWK-Merkblatt 3, Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK) e.V. (11/08)
- RAS-Ew Richtlinien für die Anlage von Straßen - Teil Entwässerung, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau, Ausgabe 2005
- RiStWag Richtlinien für bautechnische Maßnahmen an Straßen in Wasserschutzgebieten, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau, Ausgabe 2002

6.3.2 Wichtige Begriffsbestimmungen und -abgrenzungen

6.3.2.1 Niederschlagswasser als Gegenstand des Abwasserrechts

Als **Niederschlagswasser** ist gemäß § 54 Abs. 1 Nr. 2 WHG „das von Niederschlägen aus dem Bereich von bebauten oder befestigten Flächen gesammelt abfließende Wasser“ dem Abwasser im Rechtssinne zugeordnet und mithin dem Abwasserregime des WHG unterstellt. Dies gilt nach der gesetzlichen Definition allerdings erst, wenn und sobald das Wasser **gesammelt abfließt**, und nicht bereits, wenn das Wasser auf eine bebaute oder befestigte Fläche auftrifft. Die Folge ist, das Regenwasser, welches auf bepflanzte Flächen oder Wasserflächen – z.B. Gründächern, Grünfassaden, Mulden – auftrifft und unmittelbar dort gehalten, versickert oder verwertet wird, kein Abwasser darstellt. Anlagen, die den gesammelten Ablauf vermeiden, dienen mithin der **Abwasservermeidung** und stellen insoweit auch keine **Abwasseranlagen** i.S.d. Gesetzes dar (s. § 60 WHG).³⁶ Die Vermeidung von Abwasser gehört nicht zu den Maßnahmen der **Abwasserbehandlung** i.S.v. § 54 Abs. 2 WHG, und das Abwasserrecht normiert auch keine Grundpflicht zur Abwasservermeidung, wie sie etwa dem Abfallrecht geläufig ist.

³⁶ Nisipeanu, in Berendes/Frenz/Müggenborg, WHG Kommentar, 2. Aufl., 2017, § 60 Rn. 12; dies gilt jedoch nicht in Bezug auf Mulden und (multifunktionale) Retentionsflächen, die Niederschlagswasserabläufe aus anliegenden Flächen aufnehmen, s. *ders.*, in: MURIEL, - Multifunktionale Retentionsflächen, DBU-Forschungsbericht, Teil 1: Wissenschaftliche Grundlagen, Anhang 4, These 1, online unter: https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-32223_01.pdf.

6.3.2.2 Wild abfließendes Wasser

Kein Niederschlagswasser i.S.d. Gesetzes ist überdies das Wasser aus Niederschlägen, das nicht „aus dem Bereich von bebauten oder befestigten Flächen“ abfließt, sondern von unbefestigten Grünflächen, von denen es aufgrund von Hanglage, Sättigung, Trockenheit oder Frost nicht aufgenommen wird. Bei solchen Abflüssen handelt es sich um „**wild abfließendes Wasser**“ i.S.v. § 37 WHG, das ebenfalls nicht – jedenfalls nicht unmittelbar – dem Abwasserrecht und den Abwasserbeseitigungspflichten unterfällt. § 37 WHG regelt diesbezüglich lediglich das private Nachbarverhältnis, und zwar dahingehend, dass der „natürliche“ Abfluss wild abfließenden Wassers und nicht zulasten eines Nachbarn verstärkt oder verändert werden darf und im Übrigen geduldet werden muss. Wie mit diesem Wasser im abwasserwirtschaftlichen Zusammenhang umzugehen ist, behandelt die Vorschrift nicht. Indes kann wild abfließendes Wasser erhebliche Bedeutung für die Stadtentwässerung haben und sehr wesentlich zu Überlastungen der Entwässerungssysteme beitragen. In den unmittelbaren Anwendungsbereich des Abwasserrechts gelangt das wild abfließende (Fremd-) Wasser erst dann, wenn es auf befestigte Flächen oder in einer Kanalisation abfließt und sich dort mit dem Abwasser vermischt. Die Frage nach den rechtlichen Verantwortlichkeiten, Pflichten und Möglichkeiten zur Bewirtschaftung des wild abfließenden Wassers findet im geltenden Recht keine konstruktive Beantwortung.³⁷

6.3.3 Die kommunale Zuständigkeit zur Abwasserbeseitigung und Möglichkeiten der Übertragung auf private Grundeigentümer im Rahmen eines dezentralen Abwassermanagements

Die Zuständigkeit für die Abwasserbeseitigung liegt gem. § 56 Satz 1 WHG und den landesrechtlichen Zuweisungen bei den **Gemeinden**.³⁸ Ihnen obliegt als „Abwasserbeseitigungslast“ die Errichtung und der Betrieb der Abwasserinfrastrukturen und mithin deren Entwicklung gemäß den Grundsätzen des § 55 Abs. 2 WHG. In Umsetzung dieser Aufgabe sorgen die Gemeinden für die **abwassertechnische Erschließung** der Grundstücke i.d.R. durch Kanalanschlüsse an der Grundstücksgrenze. Sie erheben dafür von den Anschlussnehmern einen Anschlussbeitrag.³⁹ Flankierend zur Aufgabenzuweisung normieren die Landeswassergesetze die Pflicht der Grundeigentümer zur **Überlassung des Abwassers** an die kommunalen Aufgabenträger.⁴⁰ Die kommunalrechtliche Umsetzung erfolgt regelmäßig durch satzungsrechtlichen **Zwang zu Anschluss- und Benutzung** der öffentlichen Infrastruktur auf Grundlage der Gemeindeordnungen.⁴¹

Nach § 56 Satz 2 WHG können die Länder auch regeln, dass unter bestimmten „Voraussetzungen die Abwasserbeseitigung anderen als den in Satz 1 genannten Abwasserbeseitigungspflichtigen obliegt“. In Bezug auf das Niederschlagswasser sehen alle Landesgesetze vor, dass **diese von der öffentlichen Beseitigung ausgenommen oder auch ausgeschlossen** werden können, allerdings mit unterschiedlichen Bedingungen (s. den Überblick in der nachstehenden Tabelle

³⁷ S. dazu insb. *Nisipeanu* (Fn. 34), 825.

³⁸ *Nisipeanu* (Fn. 36), § 56, Rn. 15.

³⁹ S. z.B. § 8 KAG NW; 9 KAG MV; § 10 Bbg. KAG; §§ 17 ff. SächsKAG.

⁴⁰ § 46 Abs. 1 S. 2 WG BW, Art. 34 Abs. 7 BayWG, § 44 Abs. 8 S. 1 BremWG, § 37 Abs. 3 S. 1 HWG, § 40 Abs. 2 S. 1 LWaG MV, § 96 Abs. 9 NWG, § 48 S. 1 LWG NW, § 57 Abs. 2 LWG RP, § 50b Abs. 1 SWG, § 50 Abs. 2 S. 1 SächsWG, § 78 Abs. 3 WG LSA, § 30 Abs. 2 S. 1 WasG SH, § 58 Abs. 2 S. 1 ThürWG.

⁴¹ § 11 Abs. 1 S. 1 GO BW; § 12 Abs. 2 S. 1 Bbg GO; Art. 24 Abs. 1 Nr. 2 Bay GO; § 19 Abs. 2 S. 1 HGO; § 15 Abs. 1 S. 1 GO MV; § 13 S. 1 Nr. 2 a) GO Nds; § 9 S. 1 GO NW; § 26 Abs. 1 GO RP; § 22 Abs. 1 KSVG SL; § 14 Abs. 1 SächsGO; § 11 Abs. 1 S. 1 Nr. 1 b), Nr. 2 a) GO LSA; § 17 Abs. 2 S. 1 GO SH; § 20 Abs. 2 S. 1 Nr. 2 GO TH

19): Teils wird vorausgesetzt, dass das Niederschlagswasser auf dem betreffenden Grundstück versickert oder verwertet „wird“;⁴² teils genügt es, dass eine Versickerung oder Verwertung erfolgen „kann“⁴³ und überwiegend wird zudem darauf abgestellt, was die Gemeinde für das betreffende Gebiet oder Grundstück in ihrer Entwässerungssatzung vorsieht.⁴⁴ Sofern die öffentliche Abwasserbeseitigung und Überlassungspflicht entfallen, obliegt den Grundstückseigentümern die ordnungsgemäße Beseitigung des Niederschlagswassers.

Ersichtlich aus den Übertragungsregelungen steht noch überwiegend der Fall vor Augen, dass der Grundstückseigentümer eine Eigenbeseitigung des Niederschlagswassers übernehmen will (um z.B. das Wasser zu Beregnungszwecken nutzen und Abwassergebühren zu sparen), nicht aber die hier in Rede stehende Situation, dass die Gemeinde auf eine dezentrale Niederschlagsbewirtschaftung umstellen möchte. Nicht alle Landeswassergesetze sehen auch eine eindeutige Möglichkeit vor, die Grundstücksnutzer **gegen ihren Willen** aus der öffentlichen Beseitigung auszuschließen und gleichsam zur „Eigenbeseitigung“ zu zwingen. Wenn z.B. zur Übertragung der Niederschlagsbeseitigung auf den Eigentümer vorausgesetzt wird, dass das Niederschlagswasser auf dem Grundstück versickert „wird“, so impliziert dies, dass der Eigentümer bereits entsprechende Maßnahmen ergriffen hat oder ergreifen will oder – aufgrund anderweitig begründeter Anordnungen – ergreifen muss. Wenn es demgegenüber genügt, dass das Wasser versickert „werden kann“, lässt sich dies durchaus so verstehen, dass der Eigentümer auch gegen seinen Willen aus der öffentlichen Entsorgung ausgeschlossen werden kann. In keinem Fall geben allerdings die Befreiungs- bzw. Übertragungsmöglichkeiten eine tragfähige Grundlage auch dafür her, den Grundstückseigentümer zu *bestimmten* Maßnahmen der Versickerung, Speicherung oder Verwendung zu verpflichten. Dazu bedarf es vielmehr spezifischer Ermächtigungen. Darauf wird weiter unten zurückzukommen sein (s. unten Tabelle 19).

Tabelle 19: Ausnahmen von der kommunalen Abwasserbeseitigungspflicht bzw. Übertragung auf den Grundstückseigentümer

	Niederschlagswasser	Grauwasser/Schwarzwasser
	<i>Die kommunale Beseitigungspflicht und Überlassung entfallen und treffen den Grundstückeigentümer und/oder -Nutzer,</i>	
Berlin	widerruflich für die Beseitigung des Niederschlagswassers, soweit es im Einklang mit den Vorschriften der §§ 29d bis 29f BlnWG beseitigt wird. § 29 e) Abs. 3 Nr. 2 BlnWG	
Bremen	widerruflich die Beseitigung des Niederschlagswassers, soweit dieses nach § 44 dezentral beseitigt wird. Die nach § 44 zulässige dezentrale Beseitigung ist begrenzt auf Grundstücke, „die überwiegend der Wohnnutzung oder einer hinsichtlich der Qualität des Niederschlagswasserabflusses	

⁴² § 46 Abs. 2 Nr. 2 WG BW; § 29e Abs. 3 Nr. 2 BWG; § 45 Abs. 4 Nr. 4 BremWG; § 9a HambAbwG; § 47 Abs. 7 S. 1 ThürWG.

⁴³ § 50 Abs. 3 Nr. 2 SächsWG; § 58 Abs. 1 b) LWG RP.

⁴⁴ § 66 Abs. 2 Nr. 1 a) BbgWG; § 46 Abs. 2 Nr. 2 LWG BW; § 31 Abs. 5 WasG SH; § 96 Abs. 3 NWG; § 79b Abs. 1 WG LSA gibt den Grundstückseigentümern sogar die primäre Beseitigungspflicht und stellt diese unter Vorbehalt der Entsorgungssatzung.

	<p>vergleichbaren Nutzung dienen“ und „kann im Wege der Versickerung, Verrieselung, ortsnahen direkten Einleitung in ein Gewässer oder Einleitung über eine Kanalisation ohne Vermischung mit Schmutzwasser in ein Gewässer erfolgen.“</p> <p>§ 45 BremWG</p>	
Hessen	<p>für Niederschlagswasser, das auf dem Grundstück, auf dem es anfällt, verwertet, verrieselt oder versickert wird. (sofern nicht die Gemeinden durch Ortssatzung anderweitiges regeln)</p> <p>§ 37 Abs. 5 S. 1 Nr. 2 und S. 2 HWG, § 58 S. 1 Abs. 3 Nr. 2 und S. 2 ThWG, § 40 Abs. 3 S. 1 Nr. 2 und S. 2 WG MP.</p>	
Thüringen		
Mecklenburg-Vorpommern		<p>Gem. § 40 Abs. 3 Nr. 4 WG MP entfällt die kommunale Abwasserbeseitigung und Überlassung allgemein auch für „Abwasser, dass noch weiter verwendet werden soll“.</p>
NRW	<p>sofern gegenüber der zuständigen Wasserbehörde nachgewiesen ist, dass das Wasser auf dem Grundstück, auf dem es anfällt, versickert oder ortsnah in ein Gewässer eingeleitet werden kann, und die Gemeinde den Nutzungsberechtigten von der Überlassungspflicht freigestellt hat.</p> <p>§ 49 LWG NRW</p>	
Rheinland-Pfalz	<p>„wenn zu dessen Beseitigung keine zugelassenen öffentlichen Abwasseranlagen zur Verfügung stehen und es auf dem Grundstück, auf dem es anfällt, verwertet oder ohne Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit versickert oder in sonstiger Weise beseitigt werden kann.“</p> <p>§ 58 Abs. 1 Nr. 2 LWG RP</p>	
Sachsen	<p>gemäß für „Niederschlagswasser, dass auf dem Grundstück, auf dem es anfällt, verwertet oder versickert werden kann.“</p> <p>Die Wasserbehörde soll fallbezogen zulassen, dass Niederschlagswasser außerhalb der kommunalen Abwasserbeseitigung auch auf anderen als den Anfallgrundstücken verwertet oder versickert werden kann.</p> <p>§ 50 Abs. 3 Nr. 2 SächsWG</p>	
Niedersachsen	<p>Insges. für Niederschlagswasser so weit nicht die Gemeinde durch ihre Entwässerungssatzung den Anschluss an eine öffentliche Abwasseranlage und deren Benutzung vorschreibt.</p> <p>§ 96 Abs. 3 NWG, so auch § 79 Abs. 1 WG SA, § 56 WG BW</p>	
Sachsen-Anhalt		
Baden-Württemberg		<p>§ 56 Abs. 5 WG BW erlaubt es den Gemeinden, in Einzelfällen Ausnahmen von der Überlassungspflicht auch in Bezug auf Schmutzwasser zuzulassen, „</p>

		wenn dies wasserwirtschaftlich unbedenklich ist,
Bayern	[...] soweit die kommunale Entsorgungssatzung dies vorsieht, weil „das Abwasser wegen seiner Art oder Menge besser von demjenigen behandelt wird, bei dem es anfällt“ § 34 Abs. 2 BayWG	
Brandenburg	[...] soweit die Satzung der Gemeinde oder des Zweckverbandes nach § 54 Absatz 4 dies vorsieht, oder soweit eine erlaubnisfreie Benutzung oberirdischer Gewässer nach § 43 Absatz 1 Satz 2 oder des Grundwassers auf der Grundlage einer Verordnung nach § 46 Absatz 2 des Wasserhaushaltsgesetzes erfolgt“ §§ 66 Abs. 2 BbgWG	
Schleswig-Holstein	Soweit die dezentrale Beseitigung von Niederschlagswasser im Abwasserbeseitigungskonzept und einer darauf basierenden Satzungsregelung der Gemeinde festgesetzt wird. § 31 Abs. 1, 3 WG SH	Auf diesem Wege kann die Gemeinde auch die dezentrale Beseitigung von Schmutzwasser durch „Kleinkläranlagen“ anordnen, wenn die Übernahme des Abwassers technisch oder wegen unverhältnismäßigen Aufwands nicht möglich ist

6.3.4 Vorrang der dezentralen Bewirtschaftung und getrennten Ableitung (§ 55 Abs. 2 WHG)

Mit der WHG-Novelle 2009 ist folgender **Grundsatz zur Niederschlagswasserbeseitigung** in das Gesetz eingeführt worden:

„Niederschlagswasser soll ortsnah versickert, verrieselt oder direkt oder über eine Kanalisation ohne Vermischung mit Schmutzwasser in ein Gewässer eingeleitet werden, soweit dem weder wasserrechtliche noch sonstige öffentlich-rechtliche Vorschriften noch wasserwirtschaftliche Belange entgegenstehen.“

Nach der Gesetzesbegründung soll dieser Grundsatz eine nachhaltige Niederschlagswasserbeseitigung fördern, jedoch keinen Umbau bestehender Infrastrukturen erfordern, sondern „nur **für die Errichtung von neuen Anlagen** Bedeutung“ haben.⁴⁵ Auch insoweit gibt die „**Soll**“-**Vorschrift** den zuständigen Stellen einen gewissen Raum dafür, im Einzelfall doch auf eine Mischentwässerung zu setzen. Allerdings bedeutet die „Soll“-Bestimmung, dass eine solche Abweichung vom Grundsatz nur ausnahmsweise zulässig ist und dass die **Ausnahmen durch besondere Umstände zu begründen** sind. Tragfähige Ausnahmegründe können im Einzelfall darin liegen, dass eine ortsnah Versickerung oder getrennte Ableitung nicht möglich oder übermäßig aufwändig wäre, oder dass sie mit Blick auf die Schutzzwecke mehr Nachteile als Vorteile bringen würde.

Wichtig ist, dass eine Ausnahme vom Vorrang der dezentralen oder getrennten Beseitigung **in Bezug auf beide Vorrang-Varianten zu begründen** ist, d.h. dass die o.g. Gründe sowohl auf die Optionen der ortsnahen Versickerung, Speicherung und Nutzung als auch auf die Option der getrennten Ableitung zutreffen müssen. Bedeutsam ist auch, dass es dabei – v.a. in Bezug auf die

⁴⁵ BT-Drs. 16/12275, S. 68.

Variante der ortsnahen Versickerung und Verwendung – nicht a priori um ein „Entweder-Oder“ geht, sondern eine „**Inwieweit**“-**Entscheidung** zu treffen ist: Die zuständigen Stellen haben namentlich zu prüfen, *inwieweit* eine ortsnahе Versickerung (ggf. auch nach Zwischenspeicherung) leistbar ist und nur *insoweit*, wie dies nicht der Fall ist. Können sie ausnahmsweise auf eine Mischableitung ausweichen,

Obwohl die Vorschrift erklärtermaßen die „nachhaltige Niederschlagswasserbeseitigung“ fördern will, normiert sie bedauerlicherweise **keinen Vorrang der dezentralen Niederschlagswasserbewirtschaftung** vor der (getrennten) Ableitung. Ein solcher Vorrang und die Pflicht, i.d.R. eine dezentrale Bewirtschaftung vorzusehen, ergibt sich jedoch aus anderen, allgemeinen Grundsätzen des WHG, die namentlich auf den Erhalt eines leistungsfähigen Wasserhaushalts und schadloser Abflussverhältnisse abzielen (s.u.).

6.3.5 Erhalt eines leistungsfähigen Wasserhaushalts und schadloser Abflussverhältnisse (§§ 5 Abs. 1 Nr. 3, 6 Abs. 1 Nr. 2 WHG)

Ein maßgeblicher Zweck und Vorteil der dezentralen Niederschlagsbewirtschaftung liegt darin, dass dadurch der örtliche Wasserhaushalt einem natürlichen Zustand angenähert und mit Blick alle relevanten Leistungsaspekte erheblich gestärkt wird, namentlich in Bezug auf Grundwasserneubildung, Bodenfeuchte, Evapotranspiration, Mikroklima, Pflanzenbewässerung und ggf. Trinkwasserressourcen ebenso wie die Aufnahmefähigkeit und Vermeidung hydraulischer Überlasten bei Starkregenereignissen. Diese „Ökosystemdienstleistungen“ des **lokalen Wasserhaushalts** bilden neben den qualitätsbezogenen Zielsetzungen einen zentralen Schutz- und Regelungszweck des WHG, und das Gesetz normiert grundlegende Verpflichtungen dazu „die Leistungsfähigkeit des Wasserhaushalts“ zu erhalten und zu stärken.

Gemäß § 5 WHG ist „jede Person verpflichtet, bei Maßnahmen, mit denen Einwirkungen auf ein Gewässer verbunden sein können, die nach den Umständen erforderliche Sorgfalt anzuwenden, um (...) 3. Die **Leistungsfähigkeit des Wasserhaushalts** zu erhalten und (4.) eine Vergrößerung des Wasserabflusses zu vermeiden.“ Diese Sorgfaltspflicht gilt nicht nur für die Bürger, sondern auch für Verwaltungsstellen und öffentlich-rechtliche Unternehmen, die durch ihre Handlungen in den Wasserhaushalt eingreifen.⁴⁶ Dies betrifft namentlich auch die Träger der Abwasserbeseitigung hinsichtlich der Ausgestaltung der öffentlichen Siedlungsentwässerung. Ihnen obliegt es demnach – wie auch den privaten Investoren – Neuerschließungen so zu gestalten, dass der örtliche Wasserhaushalt in seiner Leistungsfähigkeit erhalten bleibt und der Abfluss nicht vergrößert wird. In Bezug auf Neubau-Vorhaben muss daher – strenggenommen – nachgewiesen werden, dass durch geeignete dezentrale Maßnahmen relevante **zusätzliche Niederschlagsabflüsse vermieden** werden.

Wesentliche Leistungskomponenten des lokalen Wasserhaushalts und der natürlichen Abflussverhältnisse werden auch durch die **allgemeinen Grundsätze der Gewässerbewirtschaftung des § 6 WHG** geschützt. Die Vorschrift verpflichtet wörtlich dazu, die Gewässer (Grund- und Oberflächengewässer) „nachhaltig zu bewirtschaften, insbesondere mit dem Ziel, (...) 2. „**Beeinträchtigungen auch im Hinblick auf den Wasserhaushalt** der direkt von den Gewässern abhängenden Landökosysteme und Feuchtgebiete zu **vermeiden** und unvermeidbare, nicht nur geringfügige Beeinträchtigungen **auszugleichen**“, (...) „5. möglichen Folgen des Klimawandels vorzubeugen“ sowie „6. an oberirdischen Gewässern so weit wie möglich **natürliche und schadlose Abflussverhältnisse zu gewährleisten** und insbesondere durch Rückhaltung des Wassers in der Fläche der Entstehung von nachteiligen Hochwasserfolgen vorzubeugen“ (Hervorhebungen durch Verfasser). Auch danach gilt für die

⁴⁶ Berendes, in Berendes/Frenz/Müggenborg, WHG – Kommentar, § 5 Rdn. 6.

Siedlungsentwässerung, dass sie alle verfügbaren Möglichkeiten nutzen muss, um Niederschlagswasser so zurückzuhalten, dass es keine schädlichen Abflüsse erzeugen kann und den Landökosystemen des Siedlungsbereichs zur Verfügung steht, zu denen neben der grünen Infrastruktur auch das städtische Mikroklima gehört. Zu beachten ist insoweit auch die o.g. „Ausgleichspflicht“. In Bezug auf die Entwässerung einer Neubaufäche bedeutet diese Pflicht: Wenn eine den o.g. Vorgaben entsprechende Rückhaltung des Niederschlagswassers nicht auf dem Grundstück selbst erfolgen kann, sind Ausgleichsmaßnahmen in der unmittelbaren Umgebung zu treffen.

Im Lichte dieser allgemeinen Pflichten und Bewirtschaftungsgrundsätze des WHG kann der spezifische abwasserrechtliche Grundsatz des § 55 Abs. 2 WHG nicht implizit dahingehend verstanden werden, dass er eine Gleichrangigkeit von der ortsnaher Versickerung und getrennter Ableitung festschreibt. Im Zusammenhang mit den o.g. allgemeinen Grundsatzbestimmungen gilt vielmehr die folgende

Prioritätenfolge für die Niederschlagsbewirtschaftung bei künftigen Siedlungsentwicklungen

- 1) Niederschlagswasser soll möglichst ortsnah versickert oder gespeichert und genutzt werden, um die Funktionen des örtlichen Wasserhaushaltes zu erhalten, (§§
- 2) Sofern der örtliche Wasserhaushalt nicht wesentlich beeinträchtigt wird, oder die ortsnaher Bewirtschaftung technisch nicht möglich ist oder einen unverhältnismäßigen Aufwand erfordert, ist vorrangig eine getrennte Ableitung vorzusehen. Beeinträchtigungen des örtlichen Wasserhaushaltes sind im Rahmen des technisch Möglichen und Verhältnismäßigen auszugleichen.
- 3) Nur wenn sich Ausnahmsweise auch die getrennte Ableitung als nicht möglich, unverhältnismäßig aufwändig oder mit Blick auf Umwelt- und Überflutungsschutz nicht vorteilig erweist, kann auf eine gemischte Ableitung ausgewichen werden. Auch dann bleibt die Ausgleichspflicht zu beachten.

Diese Prioritätenfolge der nachhaltigen Niederschlagsbeseitigung ergibt sich bereits aus dem geltenden Recht, allerdings nur implizit und – wie gezeigt – aus einer Zusammenschau der o.g. speziellen und allgemeinen Grundsätze des WHG. Wie so oft bleibt die Gesetzgebung auch in diesem Punkt zurückhaltend und schwächt die Position fortschrittlicher Akteure mehr als dass sie sie – durch klare Aufträge und Ermächtigungen – stärkt. Wünschenswert erscheint demgegenüber im Lichte der heute herrschenden Auffassung der Fachwelt und in Anbetracht der immer dringlicheren Wasserknappheits- und Überschwemmungsproblemen vieler Städte, dass in § 55 Abs. 2 ein klarer **Regelvorrang der ortsnahen Niederschlagswasserbewirtschaftung** (durch Versickerung, ggf. Zwischenspeicherung und schadlose Verwendung) eingeführt wird.

Zu beachten ist schließlich, dass eine solche Vorrangregelung zur nachhaltigen Siedlungsentwässerung **nicht ohne eine qualifizierte integrierte Abwasser-Infrastrukturplanung** umgesetzt werden kann. Nur durch eine qualifizierte Planung, die auf angemessener fachlicher Grundlage und in enger Verbindung mit der Bauleitplanung die Optionen der dezentralen Bewirtschaftung auslotet, können diese Optionen einerseits ausgeschöpft, und andererseits auch deren Grenzen aufgezeigt und Abweichungen vom Grundsatz der dezentralen Bewirtschaftung stichhaltig begründet werden (dazu noch unten 6.3.13).

6.3.6 Anforderungen an den Überflutungsschutz und Entwässerungskomfort

Mit Blick auf den Überflutungsschutz stellt sich die Frage, welche Maßnahmen zum einen auf den (privaten und öffentlichen) Grundstücken zu treffen sind, und welche Auffangkapazitäten darüber hinaus von der systemverantwortlichen Gemeinde vorzuhalten sind. Klar ist, dass in dieser Frage zwischen Neubau- und Bestand zu unterscheiden ist und dass die Aufgabenteilung zwischen Grundstücks- und Stadtentwässerung sich auch nach den örtlichen Bedingungen und nach Art und Maß der baulichen Nutzung richten muss. Klar ist auch, dass Grundstücksentwässerung und Stadtentwässerung aufeinander abgestimmt werden müssen (DWA-A 118) und dass Abstriche bei der grundstücksbezogenen Überflutungsvorsorge i.d.R. zu höherem Vorsorgebedarf in der öffentlichen Infrastruktur führen und umgekehrt. So sollten dort, wo die öffentliche Entwässerungsinfrastruktur auf dezentrale Niederschlagsbewirtschaftung etwa i.S. eines abflusslosen Quartiers umgestellt wird, entsprechend höhere Anforderungen an die grundstücksbezogene bzw. dezentrale Überflutungsvorsorge gestellt werden.

6.3.6.1 Grundstücksentwässerung

Als einschlägige Technikregeln für die Grundstücksentwässerung wird in der Praxis vor allem die **DIN 1986-100** herangezogen. Danach ist bei **Neubebauung und Sanierung** auf Grundstücken >800m² ein „Überflutungsnachweis“ darüber zu führen, dass die Differenz zwischen dem 2-jährlichen Bemessungsregen (auf den die Entwässerung zur Kanalisation zu dimensionieren ist) und einem mindestens **30-jährlichen Regenerignis** schadlos auf dem Grundstück zurückgehalten werden kann. Für Grundstücke, die zu über 70% mit nicht (schadlos) überflutbaren Flächen bebaut sind, soll die Überflutung sogar für ein 100-jährliches Regenerignis ausgeschlossen werden. Abzustellen ist auf die kürzeste maßgebliche Niederschlagsdauer, d.h. den ungünstigsten Fall einer länger anhaltenden Starkregenepisode.⁴⁷

In Hinblick darauf, dass die Grundstücksentwässerung auf die örtlichen Gegebenheiten und Infrastrukturkonzepte einzustellen ist, können die generellen Anforderungen der DIN 1986-100 nur für hergebrachte Standardstrukturen einschlägig sein, in denen die Gemeinde eine konventionelle Kanalableitung auf Basis des 2-jährlichen Bemessungsniederschlags bereitstellt. Wenn jedoch im Rahmen nachhaltiger Entwässerungskonzepte eine Abkoppelung erfolgen und ein abwasserfreies Grundstück/Quartier entstehen soll, sind ggf. weitergehende Anforderungen an die Überflutungsvorsorge auf dem Grundstück zu stellen, die letztlich nur fallbezogen auf der Grundlage einer integrierten Entwässerungsplanung zu bestimmen sind.

Fraglich ist im Übrigen aus rechtlicher Sicht, auf welcher **Rechtsgrundlage** die Anforderungen an die Grundstücksentwässerung zu bestimmen und verbindlich zu stellen sind. In Betracht kommt zunächst die Norm des § 60 Abs. 1 WGH, wonach Entwässerungsanlagen den „allgemeinen Regeln der Technik“ zu entsprechen haben.

Unter den allgemein anerkannten Regeln der Technik (aaRdT) werden verstanden: „die in technischen Normen und Vorschriften festgeschriebenen Prinzipien und Lösungen, die in der Praxis erprobt und bewährt sind und sich bei der Mehrheit der auf diesem Gebiet tätigen Praktiker durchgesetzt haben.“⁴⁸ Dass bestimmte Standards in anerkannten Techniknormen niedergelegt sind (DIN-, DWA-) niedergelegt sind, bedeutet demnach nicht, dass diese bereits rechtlich als aaRdT zu rezipieren sind. Hinzukommen muss stets, dass sich die Regeln in der Praxis allgemein durchgesetzt haben. Dies verdeutlicht, dass der Maßstab der aaRdT um einen konservativen

⁴⁷ DWA-Arbeitsgruppe ES-3.1.

⁴⁸ Statt vieler: *Nisipeanu*, in: Berendes/Frenz/Müggenborg, WGH, 2. Aufl. 2017, § 60 Rn. 29.

Technikmaßstab handelt, der per se nicht dazu geeignet ist, innovative Konzepte oder gar Systemwechsel voranzutreiben.

Welche Rückhaltekapazitäten und schadlos überflutbare Flächen auf dem Grundstück vorzuhalten sind, ist freilich **weniger eine allgemeine Frage der Technik als vielmehr der konkreten Risiko- und Kostenabwägung**⁴⁹ sowie der Abstimmung mit der anliegenden Infrastruktur. Zu Recht wird etwa gefordert, dass für besonders vulnerable und kritische Nutzungen ein höherer Überflutungsschutz verlangt werden sollte.⁵⁰ Schon im Grundsatz erscheint es daher fragwürdig, diese Frage durch generelle Festlegungen in untergesetzliche Techniknormen zu regeln, und es ist ebenso zweifelhaft, dass die genannten Normen der DIN 1986-100 als aaRdT über § 60 Abs. 1 WHG rechtsverbindlich gestellt werden können. Problematisch daran wäre auch, dass weitergehende Maßnahmen der Überflutungsvorsorge, wie sie etwa zur Umsetzung eines abflusslosen Quartiers erforderlich sind, u.U. im Widerspruch zu den aaRdT oder jedenfalls *a priori* als eine überobligatorische Zusatzleistung des Grundeigentümers zu sehen wären.

Ähnliche Einschränkungen ergeben sich, wenn die Grundstücksentwässerung auf **bauordnungsrechtlicher Grundlage** angeordnet wird. Die Bauordnungen der Länder verlangen im Rahmen ihrer Anforderungen zur Sicherheit der baulichen Nutzung mehr oder weniger spezifisch, dass die schadlose Beseitigung des auf dem Grundstück anfallenden Abwassers gesichert sein muss. Die Sächsische Bauordnung ist in dieser Hinsicht wenig eindeutig. Abgesehen von der bauordnungsrechtlichen Generalklausel (§ 3 SächsBauO), wonach

„Anlagen so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten (sind), dass die öffentliche Sicherheit und Ordnung, insbesondere Leben, Gesundheit und die natürlichen Lebensgrundlagen, nicht gefährdet werden“

Gilt nach § 43 Abs. 3 SächsBauO, dass:

„Wasserversorgungsanlagen sowie Anlagen für Schmutz- und Niederschlagswasser (Abwasser) so herzustellen und zu unterhalten (sind), dass sie betriebssicher sind und Gefahren oder unzumutbare Belästigungen nicht entstehen können.“

Klarer auf die Grundstücksentwässerung gemünzt ist z.B. § 39 Abs. 1 der hessischen Bauordnung (nahezu wortgleich § 33 BauO BW):

„Bauliche Anlagen dürfen nur errichtet werden, wenn die einwandfreie Beseitigung des Abwassers einschließlich Niederschlagswasser dauernd gesichert ist. Die Anlagen dafür sind so anzuordnen, herzustellen und zu unterhalten, dass sie betriebssicher sind und Gefahren, unzumutbare Nachteile oder unzumutbare Belästigungen nicht entstehen.“

Auf der Grundlage solcher Bestimmungen kann im Rahmen der Baugenehmigung von den Baubehörden verlangt werden, dass auf den neu zu bebauenden Grundstücken ein hinreichender Überschwemmungsschutz sichergestellt wird. Insoweit kann auch auf die Anforderungen gem. DIN 1986-100 verwiesen werden. Rechtlich setzt dies allerdings voraus, dass diese Anforderungen umfassend als Konkretisierung des bauordnungsrechtlichen „Gefahrenmaßstabs“ begriffen werden können. Dies steht im Kontrast zu der – prima facie

⁴⁹ So ausdrücklich die DWA A 118, S. 13 in Bezug auf die öffentlichen Entwässerungssysteme, ebenso DIN EN 752-2.

⁵⁰ Sieker, F.

<https://www.sieker.de/de/fachinformationen/entwaesserungssysteme/article/ueberflutungsnachweise-554.html>

darüber hinausgehenden – Zielsetzung eines „angemessenen Entwässerungskomforts“, wie sie die technische Normung zumindest im DWA A 118 vorgibt.

Weitere Rechtsgrundlagen für Anforderungen zur Grundstücksentwässerung ergeben sich mitunter aus den – teils in den Gemeindeordnungen, teils in den Landeswassergesetzen geregelten – kommunalen Befugnissen zur **satzungsrechtlichen Regulierung** des Anschlussrechts und Anschlusszwangs an die öffentlichen Abwasseranlagen sowie zur Niederschlagseseigenbeseitigung. Als beispielhaft ist insoweit § 37 Abs. 4 HWG zu nennen:

(...) Die Gemeinden können durch Satzung regeln, dass im Gemeindegebiet oder in Teilen davon Anlagen zum Sammeln oder Verwenden von Niederschlagswasser oder zum Verwenden von Grauwasser vorgeschrieben werden, um die Abwasseranlagen zu entlasten, Überschwemmungsgefahren zu vermeiden oder den Wasserhaushalt zu schonen, soweit wasserwirtschaftliche oder gesundheitliche Belange nicht entgegenstehen.

Diese Regelung ermöglicht eindeutig auch Satzungsregelungen zur Überschwemmungsvorsorge. In Sachsen fehlt eine solche klare Ermächtigung. § 14 SächGO ermächtigt die Gemeinden lediglich,

„durch Satzung für die Grundstücke ihres Gebietes den Anschluss an Anlagen zur Wasserversorgung, Ableitung und Reinigung von Abwasser, Fernwärmeversorgung und ähnliche dem öffentlichen Wohl, insbesondere dem Umweltschutz dienende Einrichtungen (Anschlusszwang) und die Benutzung dieser Einrichtungen, der Bestattungseinrichtungen, der Abfallbeseitigungseinrichtungen und der Schlachthöfe (Benutzungszwang) vorschreiben.“

Eine klare Ermächtigung dazu, Anforderungen etwa auch zum vorsorgenden Überschwemmungsschutz zu normieren, enthält diese Regelung nicht, und dies gilt auch für vergleichbare Satzungsermächtigungen anderer Länder.

Anordnungen zur schadlosen Niederschlags-Eigenbeseitigung einschließlich des Überschwemmungsschutzes können auf **wasserrechtlicher Grundlage** dort erfolgen, wo die (Niederschlags-) Beseitigungspflicht zulässigerweise auf den Grundstückseigentümer übertragen wurde (dazu noch unten 1.3.12). Dieser Fall liegt indes nicht der DIN 1986-100 zugrunde.

Insgesamt ist festzustellen, dass spezifische gesetzliche und untergesetzliche Maßstäbe für die Grundstücksentwässerung in Rahmen *integrierter dezentraler Konzepte* der Niederschlagsbewirtschaftung noch fehlen. Gerade in Bezug auf die Maßnahmen der Grundstücksentwässerung, die ggf. gegen Widerstände der Eigentümer durchzusetzen sind, wären spezifische gesetzliche Ermächtigungen und formalrechtliche Maßstäbe besonders wichtig.

6.3.6.2 Öffentliche Abwasserinfrastruktur

Auch in Bezug auf das öffentliche Entwässerungssystem normiert das geltende Wasserrecht keine spezifischen Anforderungen an die Auslegung und den Überflutungsschutz. Wie für die Grundstücksentwässerung gilt auch für das öffentliche System, dass das Sicherheitsniveau keine ausschließlich technische Frage ist, und daher nicht im Rahmen der Anforderungen des § 60 WHG abschließend durch technische Normung bestimmt werden kann. Folgerichtig formulieren die einschlägigen Regelwerke (das DWA Arbeitsblatt A 118, Stand März 2006, DIN EN 752) zur Frage der Anlagenbemessung und Überflutungssicherheit ausdrücklich **nur „Empfehlungen“** und weisen zu Recht darauf hin, dass diese als Orientierungswerte zu begreifen sind und die Bemessungsentscheidungen im Einzelfall an weiteren Gesichtspunkten auszurichten sind. Zu Recht wird betont, dass der Überschwemmungsschutz in Abwägung der Zielgrößen Entwässerungskomfort, Gewässerschutz und Wirtschaftlichkeit zu bestimmen sei.

Mit diesen Relativierungen wird **für Neuplanungen** Überstauhäufigkeiten von 1 in 3 Jahren in Wohngebieten und 1 in 5 Jahren in Zentren und Gewerbegebieten empfohlen und als zusätzlicher Auslegungsmaßstab wird die **Häufigkeiten von schädlichen Überflutungen** angesetzt, die je nach örtl. Gegebenheit aus einem Überstau resultieren kann (aber nicht muss). Die Überflutungshäufigkeit soll auf einen maximalen Wiederkehrzeitraum von 20 Jahren in Wohngebieten und von 30 Jahren in Stadtzentren sowie Gewerbe- und Industriegebieten beschränkt werden.

Tabelle 20: Als Anforderungskriterien empfohlene Überflutungshäufigkeiten nach DIN EN 752:2008 und Überstauhäufigkeiten für „Neuplanung/Sanierung“ und „bestehende Systeme“ nach Arbeitsblatt DWA-A 118:2006 und ATV-DVWK (2004)

Örtlichkeit/Flächennutzung	Überflutungs-Häufigkeiten ¹	Überstauhäufigkeiten	
	Entwurf/Neuplanung	Entwurf/Neuplanung	Bestehende Systeme ²
	1-mal in „n“ Jahren		
Ländliche Gebiete	1 in 10	1 in 2	-
Wohngebiete	1 in 20	1 in 3	1 in 2
Stadtzentren, Industrie- und Gewerbegebiete	1 in 30	seltener als 1 in 5	1 in 3
Unterirdische Verkehrsanlagen, Unterführungen	1 in 50	seltener als 1 in 10 *)	1 in 5

ANMERKUNGEN

1) Empfohlene Werte für den Entwurf/Neuplanung nach DIN EN 752:2008.

2) Werte als „Mindestleistungsfähigkeit“ bestehender Systeme nach ATV-DVWK (2004).

*) Bei Unterführungen ist zu beachten, dass bei Überstau über Gelände in der Regel unmittelbar eine Überflutung miteinhergeht, sofern nicht besondere örtliche Sicherungsmaßnahmen bestehen.

In Bezug auf **bestehende Systeme** wird allein auf die Überstauhäufigkeit abgestellt und namentlich empfohlen, dass sie mindestens ein Regenereignis von 2-jährlicher Wiederkehrhäufigkeit in Wohngebieten und von 3 Jahren in Stadtzentren sowie Industrie- und Gewerbegebieten aufnehmen können (siehe Tabelle 20).

Die Bemessungsvorgaben der o.g. Normen gehen insgesamt „von der Prämisse aus, dass der anfallende Regenabfluss **aus dem Bereich der Siedlungsflächen abgeleitet** werden muss.“ Explizit wird in der DWA A-118 darauf hingewiesen, dass daher für Konzepte der **dezentralen Regenwasserbewirtschaftung ergänzende Berechnungsmethoden** Anwendung finden müssen, die in der Norm nicht ausgeführt werden, dass aber das gemeinsame Ziel ein gleichermaßen angemessener „Entwässerungskomfort“ sein müsse (vgl. DWA-A 118, S. 19f).

Auch in Bezug auf die öffentlichen Entwässerungssysteme kommt den o.g. DWA- und DIN-Empfehlungen zum Überflutungsschutz bzw. „Entwässerungskomfort“ **keine Rechtsverbindlichkeit** zu. Auch insoweit gilt – wie diese Normen selbst ausdrücklich darlegen – , dass die Frage des minimal zu gewährleistenden Überflutungsschutzes eine maßgeblich nach Kosten- und Risikogesichtspunkten zu entscheidende Frage ist, die insoweit immer auch von den Gegebenheiten des Einzelfalls abhängt, und dass die empfohlenen Werte zur Systemauslegung daher nur eine Orientierungsfunktion haben können.

Dies hat auch die **Rechtsprechung** bisher so gesehen und maßgeblich auf eine **Einzelfallbetrachtung** abgestellt. In der **Haftungsfrage**⁵¹ hat der BGH entschieden, dass die öffentliche Infrastruktur jedenfalls sicherstellen muss, dass es nicht jährlich zu Überflutungen und Rückstaus auf Grundstücken kommt.⁵² Für Starkregenereignisse mit einer Wiederkehrintensität von einmal in 100 Jahren soll die Gemeinde jedoch nicht haften, weil es sich bei einem solchen Ereignis um haftungsausschließende höhere Gewalt handele.⁵³ Im Übrigen sei das von der Gemeinde zu leistende Schutzniveau nicht nur vom Berechnungsregen abhängig zu machen, sondern unter Berücksichtigung aller abwasserwirtschaftlichen, technischen und topographischen Gegebenheiten des Einzelfalls zu entscheiden.⁵⁴ Dieser Einzelfallbetrachtung hat sich auch die **verwaltungsgerichtliche Rechtsprechung** in der Frage angeschlossen, welche Systemauslegung ein Anlieger im präventiven Rechtsschutz verlangen kann,⁵⁵ und es überzeugt auch in der Sache, dass über den gebotenen Überschwemmungsschutz nicht allein nach generellen Kriterien entschieden werden kann.

Allerdings kann den Empfehlungen der aktuellen DWA und DIN-Regelwerke durchaus eine rechtliche **Indizwirkung** dafür zugemessen werden, welchen Überschwemmungsschutz Grundstückseigentümer und Gemeinden im Regelfall zu leisten haben, denn den Normen liegt regelmäßig eine umfangreiche Beteiligung der Aufgabenträger und eine Konsensbildung zugrunde, aufgrund derer sie gleichsam als herrschende Verkehrsauffassung über das im Regelfall zu erreichende Sicherheitsniveau gelten können. Abweichungen nach oben oder unten sind insofern durch besondere Umstände des Einzelfalls zu begründen.

Diesem Begründungserfordernis sollte auch rechtlich eine hervorgehobene Bedeutung zugemessen werden. Mit Blick auf die heutigen Herausforderungen der Niederschlagsbewirtschaftung einerseits und auf die vielfältigen Möglichkeiten und Abstimmungserfordernisse der zentralen und dezentralen Entwässerung sowie des Objektschutzes andererseits muss von den Gemeinden verlangt werden, dass sie die örtlichen Überflutungsrisiken und die verschiedenen Vorsorgeoptionen einschl. dezentraler Bewirtschaftungsmaßnahmen angemessen ermitteln und in einer expliziten kommunalen Risikoentscheidung nachvollziehbar berücksichtigen.⁵⁶ Dahin gehen auch die neueren Entwicklungen im technischen Regelwerk, namentlich mit dem DWA Merkblatt 119.

⁵¹ In Betracht kommt eine Gefährdungshaftung nach § 2 Abs. 1 HPfLG, vertragsähnlicher Haftung nach § 280 Abs. 1 BGB analog, oder Amtshaftung gem. § 839 BGB i.V.m. Art. 34 GG.

⁵² BGH, Urt. v. 22.4.2004, BGHZ 159, 19, NJW 2005, 1185; Urt. v. 11.12.1997, NJW 1998, 1307.

⁵³ BGH, Urt. v. 5.6.2008, DÖV 2008, 873; Urt. v. 22.4.2004, BGHZ 159, 19 = NJW 2005, 1185.

⁵⁴ BGH, Urt. v. 22.4.2004, a.a.O.

⁵⁵ OVG Lüneburg, Beschl. v. 4.1.2011, NJW 2011, 1159.

⁵⁶ Die ATV-118 bezieht diese Möglichkeiten auch bereits in ihren auf das gesamte „Entwässerungssystem“ bezogenen Berechnungsansatz mit ein.

6.3.6.3 Insbesondere: Das DWA Merkblatt M 119 zum Risikomanagement in der kommunalen Überflutungsvorsorge für Entwässerungssysteme bei Starkregen

Mit ihrem Merkblatt 119 hat die DWA im Jahr 2016 ergänzende Maßgaben zur kommunalen Überflutungsvorsorge entwickelt. Das Merkblatt formuliert insb. die folgenden Grundsätze für die Auslegung und Gestaltung der öffentlichen Entwässerungssysteme:

- Es wird anerkannt, dass zur Erreichung eines „angemessenen Überflutungsschutzes“ die alleinige Vergrößerung unterirdischer Ableitungskapazitäten und zentraler Rückhalteanlagen aus technischen und wirtschaftlichen Gründen nicht zielführend ist. Der **Nutzung der baulichen Gegebenheiten an der Oberfläche** zum temporären Rückhalt und zur schadensfreien Ableitung von Niederschlagswasser sowie dem gezielten **Objektschutz** kommen zunehmende Bedeutung zu.
- Die Überflutungsvorsorge ist deshalb **kommunale „Gemeinschaftsaufgabe“** aller insoweit beteiligten Akteure, d.h. neben dem Entwässerungsbetrieb und Tiefbauamt auch Grünflächenamt sowie Stadtplanungsamt und Straßenbaulastträger.
- Die kommunale Überflutungsvorsorge erfordert ein **integriertes Risikomanagement** in Anlehnung an die Komponenten der EG-HochwRL.

Das Merkblatt formuliert Empfehlungen, wie diesen Grundsätzen in der kommunalen Praxis Rechnung zu tragen ist. Zu einem fachgerechten Risikomanagement gehören danach v.a.

- eine detaillierte **Analyse und kartographischen Darstellung der örtlichen Überflutungsrisiken** (Häufigkeiten und Schadenspotenziale),
- eine alle relevanten Akteure einbeziehenden **Risikokommunikation** und **Abwägungsentscheidung** über das jeweils zu gewährleistende Sicherheitsniveau bzw. die zu treffenden Maßnahmen und
- ein **Maßnahmenplan Überflutungsvorsorge**, der eine abgestimmte, kosteneffiziente Kombination aller in Betracht zu ziehenden Maßnahmen zur zentralen und dezentralen Infrastruktur sowie städtebaulicher, gewässerbezogener, objektbezogener und verhaltensbezogener Maßnahmen vorzusehen hat.

Zu den genannten Maßnahmenkategorien gibt das Merkblatt jeweils weiterführende Hinweise und betont dabei verschiedentlich die **große Bedeutung dezentraler Maßnahmen** der Niederschlagsbewirtschaftung und der wassersensiblen Stadtentwicklung. Um die erforderliche Integration der relevanten Akteure zu gewährleisten, wird den Gemeinden empfohlen, einen **„Runden Tisch kommunales Risikomanagement“** einzusetzen, und zwar idealerweise mit Beteiligung von Stadtentwässerung, Stadtplanung, Bauverwaltung, Straßenbau, Grünflächenverwaltung, Katastrophenschutz, Umweltaufsicht, Wirtschaft, Bürgervertreter und Kommunalpolitik.

Diese Fachempfehlungen zu einem adäquaten kommunalen Überschwemmungsschutz sollten künftig auch **rechtlich angemessen rezipiert** werden, und zwar möglichst klar und eindeutig dadurch, dass ein solches kommunales Überflutungsrisikomanagement künftig gesetzlich geregelt wird, so wie es in Bezug auf den fluvialen Hochwasserschutz bereits heute der Fall ist. Ungeachtet dessen können die Gerichte prüfen, ob betroffene Grundstückseigentümer schon aufgrund der kommunalen Abwasserbeseitigungspflicht einen Anspruch auf entsprechende Risikoermittlungen haben oder die Gemeinde ihre zivilrechtliche Verkehrssicherungspflichten verletzt, wenn sie die o.g. Anforderungen an ein angemessenes Risikomanagement nicht ausreichend erfüllt hat.

Bei aller Wichtigkeit des Überflutungsschutzes darf bei der Entwicklung der Entwässerungssysteme nicht außer Betracht bleiben, dass diese weiteren wichtigen Zielstellungen zu dienen haben, insb. denen des Umweltschutzes. Diese Zielstellungen wie auch solche der Grünentwicklung und des Stadtklimas, die mit dem Entwässerungssystem im Zusammenhang stehen, finden im Merkblatt 119 nur eine untergeordnete Berücksichtigung und es wird insoweit auf andere Normungen verwiesen.

6.3.7 Anforderungen an die Sicherheit der Entwässerungsanlagen

Von Entwässerungsanlagen können je nach Art und Ausführung Gefahren für Menschen, Gebäude und Verkehr ausgehen. Die wichtigsten Gefährdungslagen sind:

- Nässeschäden an Gebäuden (Kellern und Fundamenten) und Leitungsinfrastrukturen im Einwirkungsbereich Versickerungsanlagen,
- Ertrinkungsgefahren in zeitweilig überfluteten Mulden, Retentionsspeichern, Verkehrsflächen,
- Sachschaden bei zeitweiliger Überflutung von Verkehrsflächen, insb. an Fahrzeugen, und Überlauf von Rückhaltebecken⁵⁷
- Verkehrsgefahren bei zeitweiliger Überflutung von Verkehrsflächen.
- U.U. auch Geruchs- oder Lärmbelästigungen durch Fäulnis oder Pumpwerke.

Rechtliche Anforderungen zur Minimierung dieser Gefahren ergeben sich öffentlich-rechtlich insb. aus dem Bauordnungsrecht und u.U. darüber hinaus zivilrechtlich aus allgemeinem Deliktsrecht.

Öffentlich-rechtlich unterliegen Grundstücksentwässerungsanlagen als „bauliche Anlagen“ dem **Bauordnungsrecht**, d.h. den Bauordnungen der Länder, die zum einen Verfahrenspflichten (Anzeige, Genehmigung) und zum anderen materielle Sicherheitsanforderungen an bauliche Anlagen normieren. Die Errichtung von Entwässerungsanlagen wird in den Landesbauordnungen i.d.R. von Genehmigungspflicht freigestellt, wenn sie separat und nicht gemeinsam mit einem Gebäude zum Zweck der Grundstückerschließung errichtet werden.⁵⁸

Inhaltlich verlangen die Landesbauordnungen, dass die Grundstücksentwässerungsanlagen betriebssicher zu sein haben und so hergestellt und angeordnet werden, dass Gefahren, erhebliche Nachteile oder Belästigungen insb. durch Geruch oder Geräusche ausgeschlossen sind. So bestimmt § 43 Abs. 3 SächsBauO:

„(3) Wasserversorgungsanlagen sowie Anlagen für Schmutz- und Niederschlagswasser (Abwasser) sind so herzustellen und zu unterhalten, dass sie betriebssicher sind und Gefahren oder unzumutbare Belästigungen nicht entstehen können.“

Für die zu verwendenden Bauprodukte gilt ferner gem. § 16 b SächsBauO:

„Bauprodukte dürfen nur verwendet werden, wenn bei ihrer Verwendung die baulichen Anlagen bei ordnungsgemäßer Instandhaltung, während einer dem Zweck entsprechenden angemessenen Zeitdauer die Anforderungen dieses Gesetzes oder aufgrund dieses Gesetzes erfüllen und gebrauchstauglich sind.“

⁵⁷ Z.B. BGH, Urt. v. 11.3.2004 – III ZR 274/03

⁵⁸ Vgl. Nr. 23, 24 Anhang zu § 50 Abs. 1 LBO BW.

Einzelheiten dazu, wie diese Sicherheitsanforderungen zu erfüllen sind, regeln die Bauordnungen nicht. Hierzu wird regelmäßig auf **technische Regelwerke** Bezug genommen (dazu sogleich).

Während die o.g. öffentlich-rechtlichen Anforderungen der Schadensprävention dienen, regelt das Zivilrecht insbesondere die Haftung für den Fall, dass sich o.g. Risiken realisieren. Eine **deliktische Haftung aus § 823 BGB** droht, wenn nicht hinreichende Maßnahmen der **Verkehrssicherung** ergriffen worden sind. Nach der Rechtsprechung müssen die Sicherungsmaßnahmen so gestaltet sein, „dass sie ein verständiger, umsichtiger und in vernünftigen Grenzen vorsichtiger Mensch für ausreichend hält, um andere Personen vor Schaden zu bewahren.“⁵⁹ Diese Vorsicht hat auch Kinder und ihr unter Umständen weniger umsichtiges Verhalten zu berücksichtigen. Fraglich bleibt, welche Sicherungsmaßnahmen konkret zu treffen sind. Zentrale Bedeutung kommt dabei der Frage zu, inwieweit Mulden und Retentionsbecken durch eine **Umzäunung** gesichert werden müssen, die eine multifunktionale Nutzung weitgehend ausschließen und auch eine gestalterische Einbettung in Grünanlagen wesentlich erschweren würde.

Empfehlungen zur Ausführungs- und Betriebssicherheit von Regenbecken und Versickerungsanlagen finden sich in dem DWA Merkblatt M-176 und in dem jüngst veröffentlichten Entwurf zur Überarbeitung der DWA-A 138. In dem **DWA Merkblatt 176** wird ausgeführt, dass bei offenen **Massivbecken** zur Regenwasserspeicherung regelmäßig Umzäunungen mit einer Höhe von 1,70 bis 2,00m erforderlich seien. Bei **Erdbecken und Mulden** sei demgegenüber im Einzelfall zu prüfen, „ob aufgrund der örtlichen Situation auf eine Umzäunung verzichtet werden kann. Die versicherungsrechtliche Situation sollte mit der zuständigen Versicherung geklärt werden.“

Eine Einzelfallprüfung empfiehlt auch der **Entwurf zum DWA A-138**. Zur Abschätzung des Gefährdungspotenzials seien umgebungs- und anlagenspezifische Aspekte zu berücksichtigen: Tiefe der Anlage, Böschungswinkel, Einsehbarkeit des Zulaufkanals, Dauer des Einstaus, Wartungs- und Pflegeintervalle, spielende Kleinkinder in der Nähe, und Ähnliches. Bei oberirdischen Versickerungsanlagen im unmittelbaren Wohnumfeld soll die Zugänglichkeit auf Bereiche beschränkt werden, wo (auch bei normalen Niederschlägen) keine großen Strömungen auftreten und die Wassertiefe maximal 40 cm beträgt. Durch die bauliche Einbindung des oberirdischen Speichers sollten größere Steigungen an den Böschungen vermieden werden, um die Rutschgefahr zu minimieren und um eine allmähliche Zunahme der Wassertiefe bei Einstau umzusetzen. Aus bautechnischer und betrieblicher Sicht sollen Steigungen 1:3 ausreichen. Eine **Einzäunung von Versickerungsmulden sei oft nicht als notwendig** zu erachten. Im Einzelfall solle dies mit der zuständigen Versicherung abgestimmt werden.

Festzuhalten ist, dass bei Mulden und Erdbecken auf eine Umzäunung situationsabhängig insb. dann verzichtet werden kann, wenn die Ertrinkungsrisiken auf anderem Wege hinreichend minimiert werden, wobei v.a. die Beckentiefe, Böschungsneigung, Ausstiegswege, Randbepflanzungen, Zugänglichkeit für Kinder u.v.m. in den Blick zu nehmen sind. In der Praxis bedeutet dies, dass der Verzicht auf eine Umzäunung gewisse **Mehrkosten** zur alternativen Sicherung erforderlich machen kann. Im Übrigen bleibt nach den o.g. Kriterien und aufgrund der Situationsabhängigkeit der Verkehrssicherungspflicht ein nicht unerheblicher **Unsicherheitsbereich**, der die Entwicklung dezentraler Infrastrukturen zur Niederschlagsbewirtschaftung erheblich behindern kann. Mehr noch als für die grün-blauen Komponenten gilt dies für die Mitnutzung von Verkehrsflächen zur Niederschlagsableitung und -retention, die indes nicht im Fokus dieser Untersuchung stehen. Aus der Praxis ist in beider

⁵⁹ BGH, VersR 1994, 1496.

Hinsicht zu vernehmen, dass in den unklaren Sicherungspflichten ein wesentlicher Zurückhaltungsgrund für den Ausbau offener Entwässerungsinfrastrukturen liegt.

Im Hinblick darauf, dass die besonderen Nutzenpotentiale solcher multifunktionalen Infrastrukturen – nicht zuletzt auch für die *Sicherheit* der Bevölkerung vor Überflutungen, Hitze, Trockenheit – erst in jüngerer Zeit vermehrt wahrgenommen und erheblich höher gewichtet werden als in der Vergangenheit, erscheint es geboten, eine **Neujustierung der Sicherheitsanforderungen im Lichte der gewachsenen Bedeutung multifunktionaler Wasserinfrastrukturen** vorzunehmen. Diese Forderung richtet sich zum einen an die Rechtsprechung, wenn sie über die Verkehrssicherungspflichten nach geltendem Recht zu entscheiden hat, und sie ist vorrangig auch an den Gesetzgeber zu adressieren, der zu der maßgeblichen Nutzen-Risiko-Abwägung berufen ist und durch klare **gesetzliche Kriterien** der nachhaltigen Stadtentwicklung einen sichereren Boden bereiten könnte. Schließlich sollten die Gemeinden darauf hinwirken, dass ihre Versicherungsverbände bzw. –träger geeignete **Versicherungsprodukte** und Leitfäden anbieten, die eine vernünftige multifunktionale Infrastrukturentwicklung fördern.

6.3.8 Anforderungen zum Schutz der Oberflächengewässer

Die Anforderungen zum Schutz der Gewässer sind ein zentrales Element des (Ab-) Wasserrechts. Mit Blick auf die Transformation der Niederschlagsbewirtschaftung von der ableitungsbasierten Kanalwirtschaft hin zu einer dezentralen Wasserkreislaufwirtschaft kommt diesen Anforderungen eine wesentliche Bedeutung zu. Dies gilt vor allem insoweit, als die dezentralen Lösungen – einerseits – zu einer wesentlichen Verminderung der Menge und Schädlichkeit von Niederschlagswassereinleitungen in Oberflächengewässer beitragen können. Vermindert werden können ggf. die Entlastungsüberläufe ungeklärter Abflüsse aus der Mischkanalisation, wie sie im Falle starker Regenereignisse in vielen deutschen Städten noch gängige Praxis sind. Andererseits darf die dezentrale Versickerung auch nicht dazu führen, dass Schadstoffe in kritischer Weise das Grundwasser und in die Böden eingetragen werden (dazu unten 3.1.6 und 3.17).

Rechtlicher Ausgangspunkt zur Beurteilung von Einträgen sowohl in die Oberflächengewässer als auch das Grundwasser ist die Vorschrift des **§ 57 Abs. 1 Nr. 1 WHG**. Danach bedarf wie jede Abwassereinleitung auch die Einleitung von Niederschlagswasser in ein Gewässer einer Erlaubnis, und diese darf nur erteilt werden, „wenn

1. die Menge und Schädlichkeit des Abwassers so geringgehalten wird, wie dies bei Einhaltung der jeweils in Betracht kommenden Verfahren nach dem Stand der Technik möglich ist,
2. die Einleitung mit den Anforderungen an die Gewässereigenschaften und sonstigen rechtlichen Anforderungen vereinbar ist und
3. Abwasseranlagen oder sonstige Einrichtungen errichtet und betrieben werden, die erforderlich sind, um die Einhaltung der Anforderungen nach den Nummern 1 und 2 sicherzustellen.“

Abweichend von der o.g. Bestimmung des § 57 und vorbehaltlich landrechtlicher Regelungen ist gem. § 25 Abs. 1 Nr. 1 WHG die „schadlose Einleitung von Niederschlagswasser“ in ein oberirdisches Wasser als **Gemeingebrauch** auch ohne Erlaubnis zulässig. Um eine solche schadlose Gemeingebrauchs-Einleitung handelt es sich jedoch weder bei der

Mischwasserentlastung noch bei Einleitung von Niederschlagswasser aus Trennwasserkanälen, in die auch Wasser von verschmutzten Dach- und Verkehrsflächen abfließt.⁶⁰

Keiner Erlaubnis bedarf schließlich eine Einleitung, die zur **Abwehr einer gegenwärtigen Gefahr** für die öffentliche Sicherheit dient (§ 8 Abs. 2 WHG). Diese Bestimmung darf allerdings ersichtlich nicht so ausgelegt werden, dass sie die dauerhafte Aufrechterhaltung unzureichend bemessener Abwassersysteme deckt. Auch in Bezug auf erwartbare Spitzenbelastungen muss für die Entwässerungssysteme gelten, dass die dem Stand der Technik entsprechenden Maßnahmen anzuwenden sind, um Einleitungen in Menge und Schädlichkeit zu vermindern.

Der gem. § 57 Abs. 1 Nr. 1 anzuwendende Maßstab „**Stand der Technik**“ wird in § 3 Nr. 11 iVm Anhang 1 WHG wie folgt definiert:

„Der Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen, der die praktische Eignung einer Maßnahme zur Begrenzung von Emissionen in Luft, Wasser und Boden, zur Gewährleistung der Anlagensicherheit, zur Gewährleistung einer umweltverträglichen Abfallentsorgung oder sonst zur Vermeidung oder Verminderung von Auswirkungen auf die Umwelt zur Erreichung eines allgemein hohen Schutzniveaus für die Umwelt insgesamt gesichert erscheinen lässt; bei der Bestimmung des Standes der Technik sind insbesondere die in der Anlage 1 aufgeführten Kriterien zu berücksichtigen.“

Anlage 1 zum WHG nennt weitere Kriterien zur Bestimmung des Standes der Technik und stellt insb. klar, dass auch die „**Verhältnismäßigkeit zwischen Aufwand und Nutzen** möglicher Maßnahmen“ sowie „der Grundsatz der **Vorsorge**“ zu berücksichtigen sind. Dies gilt in erster Linie für die verordnungsrechtliche Konkretisierung der Emissionsanforderungen gem. § 57 Abs. 2 WHG (durch die AbwasserV), ggf. aber auch für die Entwicklung ergänzender **technischer Regelwerke**.

6.3.8.1 Mengen- und Schadstoffreduktion nach Stand der Technik, insb. zur Mischwasserentlastung

Welche Mengen- und Schadstoffreduktionen bei der Einleitung in ein Oberflächengewässer nach dem Stand der Abwassertechnik möglich – und mithin rechtlich geboten – sind, wird in der **AbwV** für die dort berücksichtigten Herkunftsbereiche näher bestimmt. Grenzwerte für die Einleitung von „kommunalem Abwasser“ regelt Anhang 1 zur AbwV. Diese Grenzwerte gelten allgemein für die Einleitung von Abwasser, das aus Haushaltungen und sonstigen, nicht in den weiteren Anhängen besonders geregelten Anlagen stammt und über die Kanalisation abgeleitet wird. Niederschlagswasser ist vom Geltungsbereich des Anhangs nicht unmittelbar erfasst, allerdings wird das Mischwasser auch nicht explizit aus dem Geltungsbereich ausgeschlossen. Aus den Anforderungen des Anhangs wird ferner deutlich, dass diese auf Kläranlagen zugeschnitten sind, und nicht auf Anlagen zur Mischwasserentlastung.⁶¹ Die Mischwasserbauwerke wurden in der Praxis auch nicht an den Grenzwerten des Anhang 1 ausgerichtet, sondern überwiegend und insbesondere an den informalen Vorgaben des **Arbeitsblatts A 128** der Abwassertechnischen Vereinigung (ATV) aus dem Jahr 1992 – „Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenwasserentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen“.⁶² Diese technischen Anforderungen bleiben hinsichtlich der Schadstofffracht erheblich hinter den Kriterien der AbwV zurück. Die nach der Richtlinie A 128

⁶⁰ Vgl. *Czychowski/Reinhardt*, WHG, 12. Aufl., 2019, § 25 Rn. 33 f. In den Landeswassergesetzen wird die erlaubnisfreie Einleitung verbreitet auf Abflüsse von typischerweise unbelasteten Flächen beschränkt (Gärten, landwirtschaftliche Flächen etc., vgl. z.B. § 32 Abs. 1 S. 2 NWG, § 19 Abs. 1 S. 1 LWG NW).

⁶¹ *F. Sieker* (Fn. 50), S. 19, 21.

⁶² Ein Überblick über weitere im Zusammenhang mit der Regenwasserbewirtschaftung einschlägige Technikanforderungen findet sich bei *F. Sieker* (Fn. 50), S. 31 ff.

bemessenen Mischwasserbauwerke erfüllen folglich nicht die – auf Kläranlagen ausgelegten – Einleitungsbedingungen der AbwV.⁶³ Die Kriterien der Richtlinie A 128 folgen überdies einem „end-of-pipe-Ansatz“, stellen maßgeblich auf die Bemessung der Speicherbecken ab und beziehen daher nicht die vielfältigen Möglichkeiten der dezentralen Abflussreduzierung im Einzugsgebiet ein.⁶⁴

Folge ist, dass die deutsche **Praxis der Mischwasserentlastung** mit einer mittleren Entlastungsrate von 30-40 % und einer Überlaufhäufigkeit von 10-40/Jahr weit hinter dem internationalen Entwicklungsstand liegt.⁶⁵ In den Niederlanden gelten sehr viel weitergehende Anforderungen und die mittlere Entlastungsrate liegt entsprechend bei 6-8 %.⁶⁶ In den USA ist eine Überlaufhäufigkeit von nicht mehr 4 Mal pro Jahr oder die Behandlung von mindestens 85 % des Mischwasserabflusses oder eine äquivalente Frachtreduktion durch alternative Maßnahmen zu erreichen.⁶⁷ In beiden Beispielländern – und vielen anderen – bilden die Möglichkeiten der dezentralen Versickerung, Speicherung und Verwendung längst einen integralen Teil des Anforderungsprofils zur kommunalen Niederschlagsbewirtschaftung.⁶⁸ Auch innerhalb Deutschlands finden sich inzwischen zahlreiche Vorreiter-Beispiele, die zeigen, dass die hergebrachte Beseitigungspraxis nicht mehr dem Stand der Technik entspricht.⁶⁹ Eine entsprechende Anpassung der gesetzlichen- und technischen Regelwerke ist gleichwohl bis dato nicht erfolgt.

Die **Erneuerung des technischen Regelwerks** zur Regenwasserbeseitigung einschließlich der o.g. Richtlinie A 128 ist zwar seit einigen Jahren in Vorbereitung. Durch ein lange angekündigtes neues **Arbeitsblatt DWA-A 102 / BWK-A/M3** sollen die Regelungen zur Emissionsbegrenzung in Trenn- und Mischsystemen in einer Richtlinie vereint und erneuert werden, und dabei soll insbesondere auch den Möglichkeiten zur Vermeidung und Rückhaltung von Niederschlagabflüssen stärkeres Gewicht gegeben werden.⁷⁰ Ein Entwurf liegt bereits seit Oktober 2016 vor.⁷¹ Auf den aktuellen Entwurfsstand wird unten (6.3.9) zurückzukommen sein. Die abschließende Einigung auf das Anforderungsprofil fällt den zuständigen Gremien schwer, weil dies nicht zuletzt von schwerwiegenden Kosten- und Gewichtungsfragen abhängt. Diese Fragen, die die Transformation der kommunalen Infrastrukturen betreffen und keinesfalls nur technischer, sondern in hohem Maße politischer Natur sind, sollten indes gar nicht einer informellen Techniknormung überlassen bleiben.

Zu Recht ist deshalb längst **gesetzgeberischer Handlungsbedarf** angemahnt und aufgezeigt worden, dass die Anforderungen an die Niederschlagsbeseitigung nach dem heutigen Stand der Technik in einer auf das „Einzugsgebiet“ bezogenen Systemperspektive zu formulieren sind, die die Möglichkeiten der dezentralen Bewirtschaftung einbezieht.⁷² Bund und Länder haben dies im Grunde auch erkannt und bereits vor mehr als 10 Jahren eine Arbeitsgruppe eingerichtet, um

⁶³ F. Sieker (Fn. 50), S. 21.

⁶⁴ F. Sieker (Fn. 50), S. 37 ff.

⁶⁵ F. Sieker (Fn. 50), S. 39.

⁶⁶ F. Sieker (Fn. 50), S. 45.

⁶⁷ F. Sieker (Fn. 50), S. 58.

⁶⁸ F. Sieker/H. Sieker/Zweynert (Fn.), S. 7 ff.; F. Sieker (Fn. 50), S. 44 f.

⁶⁹ z.B. die Stadt Berlin, S.: Abgeordnetenhaus Berlin, Drucksache 18/0202, Antrag der Fraktion der SPD, der Fraktion Die Linke und der Fraktion Bündnis 90/Die Grünen: „Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung als wirksamen Teil der Klimafolgenanpassung voranbringen“, eingebracht am 14.3.2017, beschlossen am 6. Juli 2017.

⁷⁰ Uhl, M., Die neuen Regelwerke DWA-A102 und BWK A 3 für niederschlagsbedingte Siedlungsabflüsse

⁷¹ DWA-Regelwerk, Arbeitsblatt DWA-A 102/BWK-A 3, „Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer“, Entwurf vom Oktober 2016.

⁷² Sieker, F./Sieker, H./Zweynert (Fn.), insb. S. 5, 141.

einen neuen **AbwV-Anhang zur Niederschlagswasserbeseitigung** zu entwickeln. Auch diese Bemühungen sind aber bis zum heutigen Tage erfolglos geblieben.

Eine umgehende Anpassung der rechtlichen Anforderungen nach Maßgabe des Standes der Technik ist allerdings nicht nur aufgrund des nationalen Wasserrechts geboten, sondern auch aus europarechtlichen Gründen, namentlich **der EG-Kommunalabwasserrichtlinie** 91/271/EWG (KomAbwRL). Diese Richtlinie verpflichtet die Mitgliedstaaten schon seit dem Jahr 2000 in Gemeinden mit mehr als 15.000 Einwohnern dafür Sorge zu tragen, dass in Kanalisationen eingeleitetes kommunales Abwasser vor dem Einleiten in Gewässer bis zu einer Zweitbehandlung oder einer gleichwertigen Behandlung unterzogen wird, und zwar gemäß den im Anhang I niedergelegten Anforderungen. Nach diesem Anhang sind „bei Entwurf, Bau und Unterhaltung der Kanalisation die optimalen technischen Kenntnisse zugrunde zu legen, die keine unverhältnismäßig hohen Kosten verursachen“, und zwar insbesondere auch in Bezug auf die „Begrenzung einer Verschmutzung der aufnehmenden Gewässer durch Regenüberläufe.“ Mit Blick auf die Mischwasserentlastung macht die Richtlinie zwar gem. Fußnote 1 zu Anhang I Abschnitt A davon eine Ausnahme, allerdings nur in Bezug auf „Extremsituationen, wie z.B. bei ungewöhnlich starken Niederschlägen.“

Diese Ausnahmen hat allerdings der **Europäische Gerichtshof** (EuGH) im Lichte der umweltpolitischen Zwecksetzung der Richtlinie eng ausgelegt. Bereits im Jahr 2012 hat der Gerichtshof einen Verstoß gegen die KomAbwRL darin gesehen, dass in London nicht hinreichend dafür Sorge getragen wurde, Einleitungen kommunalen Abwassers durch Regenüberläufe aus der Kanalisation zu kontrollieren.⁷³ Die Kommission hatte zur Begründung ihrer Klage gegen das Vereinigte Königreich u.a. ausgeführt, dass zu den notwendigen und kostenverhältnismäßigen Maßnahmen zur Vermeidung von Überläufen auch solche der dezentralen Bewirtschaftung zählen können und dass die Abgrenzung der „Extremsituationen“ auch im Lichte dessen – eng – erfolgen müsse.⁷⁴ Dem ist der Gerichtshof gefolgt und hat das Vereinigte Königreich entsprechend verurteilt. Mit Blick auf die Urteilsgründe dieser Entscheidung – die hier aus Platzgründen nicht näher berichtet werden können – liegt die Annahme nahe, dass die o.g. Praxis der Mischwasserentlastung in Deutschland ebenso wie die einschlägigen Richtlinien der ATV nicht den Vorgaben der KomAbwRL entsprechen und dass die diesbezügliche Regelungslücke der AbwV zugleich ein EU-rechtliches Umsetzungsdefizit darstellt. Anforderungen an die Gewässerqualität

Die Einleitung von Abwasser in ein Oberflächengewässer setzt nicht nur eine Schadstofffrachtreduktion nach dem Stand der Technik voraus, sondern darf gemäß § 57 Abs. 1 Nr. 2 WHG auch nicht dazu führen, dass die gesetzlichen Gewässerqualitätsziele für Oberflächengewässer aus § 27 und für Grundwasser gem. § 46 WHG verfehlt werden oder gegen die Verschlechterungsverbote verstoßen wird. Die Bestandsaufnahmen im Rahmen der **EU-Wasserrahmenrichtlinie** haben gezeigt, dass in vielen Flusseinzugsgebieten die Schmutzbelastung aus Niederschlagswasser höher ist als die Summe der Belastungen aus Industrie, Gewerbe und häuslichem Abwasser.⁷⁵ Auch aufgrund der qualitätsbezogenen Einleitungsbedingung ist daher genauer zu prüfen, ob eine Reduzierung dieser niederschlagsbedingten Belastungen erforderlich ist.

In Bezug auf Oberflächengewässer gilt zunächst, dass bis Ende 2015 ein guter chemischer und ein guter ökologischer Zustand zu erreichen war. Zumeist ist allerdings von der Möglichkeit Gebrauch gemacht worden, die Zielerreichungsfrist maximal um zwei Bewirtschaftungszyklen

⁷³ Urt. v. 18.10.2012, C-301/10 – Kommission v. Vereinigtes Königreich, ECLI:EU:C:2012:633.

⁷⁴ Fn. 73, Rn. 31.

⁷⁵ Sieker F./Sieker H./Zweynert, U. (Fn.), S. 17.

bis zum Dezember 2027 zu verlängern. Spätestens bis zu diesem Zeitpunkt müssen die Ziele umgesetzt werden. In den zZ in Vorbereitung befindlichen Bewirtschaftungs- und **Maßnahmenprogrammen zum dritten Bewirtschaftungszyklus (2022-2027)** müssen daher alle dazu noch erforderlichen Maßnahmen vorgesehen werden, ggf. auch solche zur Abwasser- und insb. Niederschlagswasserbehandlung.

Das Zustandsziel des „**guten chemischen Zustands**“ ist maßgeblich durch die Schadstoffparameter und Konzentrationswerte gem. Anlage 8 der **Oberflächengewässerverordnung (OGewV)** definiert. Der gute chemische Zustand ist nur dann erfüllt, wenn alle Konzentrationswerte eingehalten werden; es gilt das „One-out-all-out-Prinzip“. Eine gem. § 27 Abs. 1 zu vermeidende Verschlechterung des chemischen Zustands liegt vor, wenn eine Konzentrationszunahme in Bezug auf mindestens einen der dort gelisteten Schadstoffe dazu führt, dass der Konzentrationswert der OGewV erstmals überschritten wird. In Bezug auf Schadstoffe, deren Konzentrationen bereits über den Grenzwerten der OGewV liegen, stellt nach Ansicht der Rechtsprechung jede weitere Konzentrationszunahme eine Verschlechterung dar.

Ob Niederschlagswasser relevante **Konzentrationen von Anlage-8-Schadstoffen** enthalten kann, hängt davon ab, von welchen Flächen es abfließt. Dachflächenabflüsse von Metalldächern enthalten abhängig von Beschaffenheit und Alter der Dächer Kupfer, Zink oder Bleikonzentrationen. Verkehrsflächenabflüsse enthalten vom Verkehrsaufkommen abhängige Mengen gelöster und partikulär gebundener Schwermetalle (Zink, Kupfer, Blei, Nickel, Chrom, Cadmium, Palladium, Platin) und organische Schadstoffe (PAK, Benzotriazole, Mineralölkohlenwasserstoffe, Pflanzenschutzmittel) (DWA-A 138, S. 11f 20). Insofern können u.a. die in Anlage 8 geregelten Werte für Cadmium, Blei, Nickel, PAK relevant sein. Höhere Konzentrationen weiterer Schadstoffe können von Gewerbe-, Industrie- und Altlastenflächen abfließen, auf denen mit entsprechenden Stoffen umgegangen wird bzw. wurde. Die Relevanz für den chemischen Zustand hängt von den Gegebenheiten des Einzelfalls ab und erfordert jedenfalls dann eine eingehendere Prüfung, wenn Indizien für eine besondere Schadstoffbelastung vorliegen. Im Übrigen ist zu konstatieren, dass längst nicht alle gewässerrelevanten Schadstoffe, die mit dem Niederschlagswasser aus Siedlungsflächen abfließen können, auch Eingang in die Liste der Prioritären Stoffe gem. Anhang V zur WRRL resp. Anlage 8 der OGewV gefunden haben. Die Schadstoffe können allerdings ungeachtet dessen für den ökologischen Zustand der betroffenen Gewässer bedeutend sein.

Der **ökologische Zustand** der das Niederschlagswasser empfangenden Gewässern beurteilt sich in erster Linie nach den biologischen Qualitätskomponenten gem. Anlage 4 der OGewV. Deren Zustand ist sowohl von den hydromorphologischen und chemisch-physikalischen Bedingungen als auch von der Schadstoffbelastung abhängig. Zur Schadstoffbelastung normiert die OGewV in Anlage 6 Konzentrationsgrenzwerte zu weiteren sog. **flussgebietsspezifischen Schadstoffen**, die in Anlage 8 nicht enthalten sind, deren Einhaltung aber als zwingende Voraussetzung für einen guten ökologischen Zustand eingestuft wird. Darunter finden sich auch weitere Stoffe, die sich in Niederschlagsabflüssen finden können, wie z.B. Kupfer, Zink, Chrom.

Neben den Schadstoffbelastungen können auch **hydraulischen Belastungen** durch von Niederschlagseinleitungen insb. bei Starkregenereignissen zu einer relevanten Minderung des ökologischen Zustands führen (DWA-A 138, S. 11f). In Bezug auf zentrale Ableitungssysteme muss demnach gewährleistet werden, dass es weder durch die Schadstofffrachten noch durch die hydraulischen Effekte einer Einleitung zu Belastungen in der Vorflut kommt, die mit den Qualitätszielen nicht vereinbar sind. Ob diese Zulassungsbedingung erfüllt ist, muss im Einzelfall geprüft werden. Ggf. sind die Möglichkeiten zur Verminderung dieser Belastungen durch dezentralen Bewirtschaftungsmaßnahmen in der Maßnahmenplanung gemäß § 82 WHG zu

berücksichtigen. Nicht selten wird darin auch eine kosteneffizientere Alternative zur Erweiterung zentraler Speicher- und Behandlungsanlagen liegen.

6.3.9 Das Arbeitsblatt DWA-A 102 bzw. BWK-A/M3 (Entwurf, Stand Juni 2019)

Im Oktober 2016 haben die DWA und der BWK den gemeinsamen Gelbdruck-Entwurf eines DWA-Arbeitsblattes (DWA-A 102 bzw. BWK-A/M3 – im Folgenden der Einfachheit halber nur DWA A-102) über „Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer“ vorgelegt. Die finale Verabschiedung dieses Regelwerks lässt weiter auf sich warten. Den Verfassern liegt ein überarbeiteter Entwurfsstand vom Juni 2019 vor, der im Folgenden kurz vorgestellt und in den rechtlichen Rahmen eingeordnet wird.

Im Grundlagenabschnitt (Teil 1) des DWA-102 wird erläutert, dass sich das Arbeitsblatt dem „wasserwirtschaftlichen Anliegen des Gewässerschutzes mit besonderer Fokussierung auf niederschlagsbedingte Siedlungsabflüsse“ widme (DWA-A 102-1, S. 7 2019). Das *Arbeitsblatt*⁷⁶ zielt dabei erklärtermaßen auf die **Umsetzung der „wasserrechtlichen Vorgaben** auf europäischer und bundesdeutscher Ebene“ und nennt als solche die emissionsbezogenen Anforderungen gemäß § 57 Abs. 1 Nr. 1 WHG, die qualitätsbezogenen Bewirtschaftungsziele gemäß WRRL und § 27 WHG einschließlich des „Verschlechterungsverbots“, sowie die mengenbezogenen allgemeinen „Sorgfaltspflichten“ zum Erhalt der Leistungsfähigkeit des Wasserhaushalts und des Abflusses gemäß § 5 Abs. 1 Nr. 3 und 4 WHG. Diesem mehrseitigen gesetzlichen Anforderungsprofil entsprechend normiert das DWA-A 102 einerseits **emissionsbezogene** (Teil 2) und andererseits **immissionsbezogene** (Teil 3) Anforderungen in Bezug auf Trenn- und Mischverfahren zur Niederschlagsentwässerung. Außerdem werden **quantitative Maßstäbe** und Bilanzierungsmethoden zum „Erhalt des lokalen Wasserhaushalts,“ entwickelt (Teil 4).

Der **Erhalt des lokalen Wasserhaushalts** wurde bereits mit dem DWA-A 100 aus 2006 als Zielstellung einer integralen Siedlungsentwässerung proklamiert. Diese wird dahingehend konkretisiert, dass durch „möglichst weitgehenden Erhalt von Vegetation (Verdunstung) und Flächendurchlässigkeit (Verdunstung, Versickerung, Grundwasserneubildung) der oberflächige Abfluss gegenüber ableitungsbetonten Entwässerungskonzepten (deutlich) reduziert und an den unbebauten Zustand angenähert werden“ soll. Dies stehe auch „im Einklang mit den immissionsbezogenen Anliegen, die hydraulische Gewässerbelastung zu reduzieren und mit der Referenzgröße >potenziell naturnaher Hochwasserabfluss<“ (DWA-A 102-1, S. 17).

Hervorgehoben wird die **zunehmende Bedeutung dezentraler Maßnahmen** für diese Zielstellungen, und es wird ausgeführt, dass konventionelle Entwässerungsverfahren „als Misch- oder Trennkanalisation in ihrer ‚Reinform‘ mit vollständiger Ableitung von Regenwasser der Zielvorgabe zum lokalen Wasserhaushalt eindeutig nicht gerecht“ werden (DWA-A 102-1, S. 17).

Grundlegend wird außerdem die **Erforderlichkeit einer integrativen Planung** der Abwasserinfrastrukturen hervorgehoben und betont, dass diese mit der Bauleitplanung angemessen zu vernetzen ist, um insbesondere die Entwicklung der oberflächlichen grün-blauen Infrastrukturen angemessen konzipieren und wirksam voranzutreiben zu können (DWA-A 102-1, S. 18).

Diese allgemeinen Maßgaben zur nachhaltigen Niederschlagswasserbewirtschaftung liegen grundsätzlich auf der Linie der gesetzlichen Anforderungen und verdeutlichen treffend die

⁷⁶ Die als „Arbeitsblätter“ verfassten Normen der DWA und DVGW sind darauf gerichtet den Stand der Technik bzw. allgemein anerkannte Regeln der Technik zu normieren.

große Bedeutung eines naturnahen lokalen Wasserhaushalts und der dezentralen Bewirtschaftung. Im Grunde kommt darin auch zum Ausdruck, dass eine möglichst weitgehende **dezentrale Bewirtschaftung als „Stand der Technik“ der Niederschlagsbeseitigung** zu betrachten ist, und dass mit Blick auf Niederschlagswassereinleitungen der „Stand der Technik“ nicht aus einer Anlagen- und End-of-Pipe-Sicht, sondern **aus Einzugsgebietsperspektive und eine entsprechende Systemplanung zu bestimmen** ist und die Möglichkeiten der „Abkoppelung“ a priori mit zu berücksichtigen hat. Diese Botschaft könnte allerdings noch deutlicher zum Ausdruck gebracht werden.

Die spezifischen Konkretisierungen der Teile 2-4 bemühen sich mit großer Fachkompetenz und Umsicht um gleichermaßen fortschrittliche, wie auch leistbare und praxistaugliche Anforderungen zur Niederschlagswasserbewirtschaftung. Diese sind zweifellos hoch verdienstvoll und dazu geeignet, die Siedlungsentwässerung in die Richtung eines integrierten, nachhaltigen Niederschlagsbewirtschaftung voranzutreiben. Aus juristischer Perspektive ist gleichwohl zu bemerken, dass dabei mitunter die **gesetzlichen Maßstäbe aus dem Blick geraten** sind und insoweit – partielle – Zweifel an der rechtlichen Autorität dieses Regelwerks angemeldet werden müssen. Dazu das Folgende:

6.3.9.1 Die emissionsbezogenen Anforderungen

Hinsichtlich der Emissionen verlangt das Gesetz, wie oben dargelegt, dass Menge und Schädlichkeit von Niederschlagseinleitungen so weit verringert werden, wie dies nach dem Stand der Technik möglich ist. Zur Bestimmung des Standes der Technik gibt das Gesetz in § 3 Nr. 11 und Anhang 1 WHG Kriterien vor, die bei der technischen Normung entsprechend zu beachten sind. Daran fehlt es allerdings mitunter in dem Entwurf zum DWA-A 102 und in dem einschlägigen zweiten Teil zur emissionsbezogenen Bewertung von Regenwetterabflüssen (DWA-A 102-2, S. 24). Die gesetzlichen Kriterien werden in der Norm nicht einmal erwähnt, geschweige denn nachvollziehbar angewendet. Dies gilt insbesondere für den entscheidenden Emissionsgrenzwert, den die Norm in Bezug auf Einleitungen von Niederschlagswasser in Oberflächengewässer etablieren will, nämlich eines „flächenspezifischen Stoffabtrags“ von 280 kg AFS63 pro Hektar und Jahr.

Dieser Wert wird im maßgeblichen Teil 2 zur A-102 damit begründet, dass er die Grenze zur „Behandlungsdürftigkeit“ des Niederschlagswassers markiere. Der zentrale Begründungssatz (unter 5.2.1) lautet wie folgt:

„Die Zuordnung basiert auf der allgemeinen Einschätzung, wonach aus Emissionssicht Regenwasserabflüsse aus reinen und allgemeinen Wohngebieten (WR und WA nach Baunutzungsverordnung (BauNVO 2013)) mit inneren Erschließungsflächen sowie nah- und kleinräumigen Erschließungsstraßen (Wohnweg, Wohnstraße, Sammelstraße) bei Einleitung in Fließgewässer als nicht behandlungsbedürftig gelten“ (DWA-A 102-2, S. 24).

Der Emissionsgrenzwert orientiert sich infolgedessen an den durchschnittlich zu erwartenden Mengen abflutierbarer Stoffe aus den o.g. Gebietskategorien. Woher allerdings diese allgemeine Einschätzung zur „Behandlungsbedürftigkeit“ bezogen wird, bleibt im Dunkeln. Anscheinend wird hier noch darauf abgestellt, ob das Abwasser eine besondere Schädlichkeit aufweist, was bis zum Jahr 2002 nach dem seinerzeitigen § 7a WHG noch eine Rolle spielte, aber seither keine Bedingung mehr für die Anwendung des Standes der Technik darstellt, und zwar auch für Einleitungen aus Niederschlagswasserabläufen nicht.

Eine rechtliche Grundlage dafür, auf eine Behandlungsbedürftigkeit des Niederschlagswassers abzustellen, lässt sich **auch nicht auf die Bestimmung des § 27 WHG stützen**, ungeachtet dessen, dass das A-102 auf diese Vorschrift gar nicht Bezug nimmt. Danach können die Länder

den erlaubnisfreien Gemeingebrauch von Oberflächengewässern auf das „schadlose Einleiten von Niederschlagswasser“ erstrecken und dieses somit von den Erlaubnisbedingungen des § 57 freistellen. Zwar liegt das Freistellungskriterium der auch „Schadlosigkeit“ näher an dem der „Behandlungsbedürftigkeit.“ Es könnte jedoch nur dann i.S. des A-102 durch einen AFS-Wert umgesetzt werden, wenn die Landesgesetzgeber dafür durchgehend eine dahingehende Erweiterung des Gemeingebrauchs verfügt hätten, etwa dergestalt, dass sich der Gemeingebrauch auf die Abflüsse aus reinen Wohngebieten erstrecken soll. Das ist jedoch nicht der Fall (s.o. 1.3.8) und eine solch weitreichende Freistellung wäre mit Blick auf die Heterogenität der Gebiete, die mögliche Schädlichkeit von Dachabläufen und die kumulativen Effekte, die von gesammelten Abläufen eines Gebietes ausgehen können, auch kaum begründbar.

So darf auch bezweifelt werden, ob die Einschätzung der *Behandlungsbedürftigkeit* unter den Vorzeichen der heutigen Gewässerqualitätsziele (UQN) und den neueren Erkenntnissen über Mikroverunreinigungen, die auch aus Wohngebieten abfließen können, weiterhin gerechtfertigt ist. Indes ist dies eine Frage der qualitätsbezogenen Beurteilung und für die Bestimmung des Standes der Technik irrelevant.

Soweit man in diesem Zusammenhang von „Behandlungsbedürftigkeit“ sprechen möchte, ist diese nach den gesetzlichen Vorgaben zur Bestimmung des Standes der Technik (§ 3 Nr. 11 WHG) in Bezug auf jedes einzuleitende Abwasser gegeben, dessen Menge oder Schädlichkeit mit praktisch geeigneten „fortschrittlichen Verfahren“ noch weiter vermindert werden kann. Daher ist auch in Bezug auf die Niederschlagswasserabflüsse aus Wohngebieten zunächst darzulegen, welche fortschrittlichen, praktisch geeigneten Behandlungsverfahren verfügbar sind, um die Konzentration der abfiltrierbaren Stoffe (wenn man darauf abstellen will) weiter zu verringern. Dass solche Behandlungsmöglichkeiten technisch gegeben sind, ist unbestreitbar.

In Bezug auf diese Möglichkeiten wären alsdann die Kriterien der Anlage 1 anzuwenden. D.h., es ist zu untersuchen, ob (1) die betreffenden Verfahren zur weiteren Minimierung der Schadstofffrachten nicht zu Nachteilen für andere Umweltmedien oder sonstigen Risiken nach Maßgabe der Nrn. 1-13 des Anhangs führen, die sie in der Bilanz (aus der Perspektive des integrierten Umweltschutzes) als insgesamt nachteilig erscheinen lassen und ob (2) der zu betreibende Aufwand in angemessenem Verhältnis zum Nutzen steht. Zu alledem enthält die A-102 jedoch keine Aussagen.

Der in der A-102 proklamierte Emissionsgrenzwert ist daher für sich genommen nicht geeignet, die gesetzlichen Anforderungen an Einleitungserlaubnisse für Niederschlagswasserabläufe umzusetzen. Eine behördliche Einleitungserlaubnis, die sich ohne weiteres auf den AFS-Grenzwert der A-102 stützt, wäre – nach hiesiger Auffassung – rechtswidrig.

6.3.9.2 Die immissionsbezogenen Anforderungen

Die immissionsbezogenen Anforderungen der A -102 dienen erklärtermaßen der Umsetzung der qualitätsbezogenen gesetzlichen Anforderungen an die Niederschlagsbewirtschaftung:

„Bei Anwendung des vorliegenden Arbeitsblattes werden die Emissionen aus niederschlagsbedingten urbanen Einleitungen so begrenzt, dass ein nachhaltiger Bestand der gewässertypischen Lebensgemeinschaften und damit ein „guter ökologischer Zustand“ bzw. ein „gutes ökologisches Potenzial“ wie auch ein „guter chemischer Zustand“ im Sinne der EG-WRRl durch Einleitungen der Siedlungsentwässerung nach derzeitigem Kenntnisstand nicht beeinträchtigt werden.“

Hierzu grenzt das A-102 zunächst diejenigen hydraulischen und stofflichen Belastungen ein, zu denen die Niederschlagswassereinleitung signifikant beitragen kann, und die für die o.g.

Qualitätsziele eine maßgebliche Bedeutung haben können. Hinsichtlich des „guten chemischen“ Zustands geht die A-102 indes davon aus, dass „prioritäre und ‚prioritäre gefährliche‘ Schadstoffe in niederschlagsbedingten Siedlungsabflüssen i. A. nicht nachweisbar, quantifizierbar, beschreibbar und modellierbar sind“ und dass sich daher „derzeit hierfür keine begründeten Zielgrößen für die Regenwasserbehandlung definieren“ lassen. Entscheidend wird deshalb auf Ziele des „guten ökologischen Zustands“ und das Verbot der Verschlechterung des ökologischen Zustands abgestellt. Insoweit betrachtet die A-102/3 die stofflichen und hydraulischen Auswirkungen der Niederschlagswassereinleitungen, identifiziert die maßgeblichen Parameter und bestimmt dazu Methoden zur Nachweisführung (Nachweis, dass die Einleitung keine relevanten Auswirkungen auf den ökologischen Zustand haben wird) bzw. Auswirkungsprognose. Zu den relevanten stofflichen Einflüssen zählt die Norm: Sauerstoffdefizit, NH₃-Toxizität, Nährstoffkonzentrationen sowie eine Akkumulation von Verschlammung, Schwermetallen und Xenobiotika. Ferner wird bestimmt, welche Gewässer/abschnitte wegen ihrer i.d.R. hohen Bedeutung für den ökologischen Zustand grundsätzlich von Niederschlagswassereinleitungen freigehalten werden müssen.

Die Methoden der Relevanz- und Nachweisführung sind ersichtlich darum bemüht, einen Kompromiss aus Gründlichkeit und Praktikabilität zu finden und ihre fachliche Qualität kann und soll hier nicht beurteilt werden. Aus der juristischen Perspektive und mit Blick auf die gesetzlichen Maßstäbe sind indes die folgenden „Fragezeichen“ anzubringen:

- Zu der Eingrenzung der Auswirkungsprüfung auf die o.g. Parameter ist festzustellen, dass sie gar nicht auf die Konzentrationswerte zu den spezifischen Schadstoffen gem. Anlage 6 zur OGeWV-2016 Bezug nimmt, deren Einhaltung nach § 5 Abs. 5 OGeWV eine zwingende Voraussetzung für die Erreichung des guten ökologischen Zustands darstellt. Zu den spezifischen Schadstoffen zählen auch solche (Schwermetalle und organische Verbindungen), die regelmäßig in den Niederschlagsabflüssen von Siedlungsflächen enthalten sind. Insofern wäre zumindest darzulegen, weshalb und inwieweit spezifische Nachweise in Bezug auf diese Stoffe nicht erforderlich sind. Ohne konkreten Bezug auf die spezifischen Stoffe und diesbezüglichen Grenzwerte begründet die A-102 ihre eingeschränkte Stoffbetrachtung damit, dass sonstige Schadstoffe, wie insb. auch Schwermetalle, ausreichend über die abfiltrierbare Fraktion erfasst seien und hinreichend durch das diesbezügliche Emissionskriterium kontrolliert würden. Diese Annahme ist allerdings mit den gesetzlichen Anforderungen grundlegend unvereinbar, weil das Gesetz insoweit ausschließlich eine Qualitäts- bzw. Immissionsbetrachtung gelten lässt, die immer auch die Gesamtbelastung in den Blick nehmen und auch ausschließen muss, dass es ggf. durch mehrere Quellen zu einer kumulativen Überschreitung der Grenzwerte kommt. Das kann durch die Emissionsbetrachtung a priori nicht geleistet werden.
- Die Nachweisführung erfolgt in Bezug auf einen „Nachweisraum“ der zwar sonstige Quellen „im Einflussbereich der Niederschlagswassereinleitungen“ mit einbezieht, jedoch nicht nachvollziehbar auf den maßgeblichen Bezugsraum der gesetzlichen Qualitätsziele, den Wasserkörper, bezogen ist. Das Verhältnis zwischen dem in der A-102 zugrunde gelegten Nachweisraum und der auf den Wasserkörper zu beziehenden Beurteilung gem. § 27 WHG und WRRL bleibt mithin unklar.

6.3.10 Anforderungen des Grundwasserschutzes

Die Einleitung von Niederschlagswasser in das Grundwasser stellt wie die Einleitung in Oberflächengewässer eine Gewässerbenutzung iSv § 9 Abs. 1 Nr. 4 WHG dar. Auch handelt es sich bei der gezielten Einleitung insb. durch Versickerung um eine Abwassereinleitung i.S.v. § 57 WHG. Für die Versickerung gelten daher gleichermaßen die emissions- und qualitätsbezogenen

Anforderungen des § 57 Abs. 1 WHG. Außerdem ist der grundwasserspezifische Besorgnisgrundsatz des § 48 Abs. 1 WHG zu beachten, wonach eine Erlaubnis für das Einleiten von Stoffen in das Grundwasser nur erteilt werden darf, wenn eine nachteilige Veränderung der Wasserbeschaffenheit nicht zu besorgen ist.

Emissionsseitig gilt gem. § 57 Abs. 1 WHG, dass die Menge und Schädlichkeit des zu versickernden Abwassers so geringgehalten werden muss, wie dies bei Einhaltung der jeweils in Betracht kommenden Verfahren nach dem **Stand der Technik** möglich ist. Wie auch sonst im Bereich der Oberflächeneinleitungen muss der Stand der Technik spezifisch in Bezug auf den Verschmutzungsgrad des Abwassers und die örtlichen Gegebenheiten bestimmt werden. Konkrete Anforderungen finden sich z.T. im Landeswasserrecht (dazu sogleich unten) und im Übrigen in den einschlägigen technischen Regelwerken, namentlich v.a. der DWA-A 138 (Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser). Für stärker belastetes Niederschlagswasser wird in erster Linie eine Versickerung durch ausreichend leistungsfähige Sickerräume, insb. eine hinreichend mächtige und leistungsfähige (ungesättigte) Bodenzone, verlangt. Wo die dazu geeigneten Räume und Böden nicht verfügbar sind, kann gering verschmutztes Wasser auch ohne Oberbodenpassage über Rigolen, Schächte und Becken versickert werden (DWA-A 138, S. 12ff). Für stärker belastete Abflüsse kommt dies nur in Verbindung mit einer geeigneten Vorbehandlung und/oder künstlichen Filtration in Betracht.

Immissions- bzw. qualitätsbezogene Anforderungen ergeben sich v.a. aus den Bewirtschaftungszielen für das Grundwasser gem. § 47 Abs. 1 WHG, nämlich dass

- 1) eine Verschlechterung seines mengenmäßigen und seines chemischen Zustands vermieden wird;
- 2) alle signifikanten und anhaltenden Trends ansteigender Schadstoffkonzentrationen auf Grund der Auswirkungen menschlicher Tätigkeiten umgekehrt werden;
- 3) ein guter mengenmäßiger und ein guter chemischer Zustand erhalten oder erreicht werden; zu einem guten mengenmäßigen Zustand gehört insbesondere ein Gleichgewicht zwischen Grundwasserentnahme und Grundwasserneubildung

Zu dem Ziel eines guten mengenmäßigen Zustands ist zunächst festzustellen, dass damit ein ausgeglichener Grundwasserhaushalt gefordert wird. In Agglomerationen und unter zunehmenden Trockenheitsbedingungen kann dies zunehmend auch eine dezentrale Niederschlagsversickerung erforderlich machen.

Das Ziel des **guten chemischen Zustands** wird durch die Schwellenwerte der Anlage II zur Grundwasserverordnung konkretisiert. Ein guter Zustand des Grundwassers liegt vor, wenn keiner der in Anlage II geregelten Schwellenwerte überschritten wird. Bezugspunkt der Beurteilung ist der jeweilige Grundwasserkörper, und dabei gilt gem. § 7 Abs. 3 GrwV, dass der Grundwasserzustand trotz lokaler Schwellenwertüberschreitungen als gut eingestuft werden kann, wenn „die nach § 6 Abs. 2 für jeden relevanten Stoff oder jede relevante Stoffgruppe ermittelte Flächensumme weniger als ein Fünftel der Fläche des Grundwasserkörpers“ beträgt. Angesichts dessen, dass die Grundwasserkörper überwiegend sehr großflächig abgegrenzt worden sind (in Sachsen z.B. mit einer durchschnittlichen Größe von 192 km²), bedeutet dies, dass lokale Mehrbelastungen z.B. durch Versickerungsmaßnahmen für die Qualitätsziele des § 47 Abs. 1 WHG a priori keine Relevanz entfalten können, sofern es nicht zu einer flächenhaften Kumulation von Einträgen kommt. Aus demselben Grund laufen lokale Konzentrationserhöhungen i.d.R. auch „unter dem Radar“ des Verschlechterungsverbot durch. Gleichwohl müssen die zuständigen Behörden mögliche Konzentrationserhöhungen durch

Versickerungsmaßnahmen auch darauf prüfen, ob sie mit den Bewirtschaftungszielen vereinbar sind, und das gilt v.a. dann, wenn im Rahmen neuer urbaner Entwässerungskonzepte großflächig auf Versickerung umgestellt werden soll oder Belastungen aus anderen Quellen zu einer großflächigen Kontamination führen können.

Der **Besorgnisgrundsatz** des § 48 WHG bezieht sich, anders als die Bewirtschaftungsziele des § 47, nicht lediglich auf den Grundwasserkörper insgesamt, sondern setzt für das Einleiten von Stoffen voraus, dass auch kleinräumige „nachteilige Veränderungen der Wasserqualität nicht zu besorgen sind“. Diese Anforderung ist nach der Rechtsprechung des BVerwG streng auszulegen und so zu verstehen, dass nach menschlicher Erfahrung und Fachkunde keine noch so wenig naheliegende Wahrscheinlichkeit einer nachteiligen Veränderung bestehen dürfe.⁷⁷ Zur Umsetzung des Besorgnisgrundsatzes haben die einschlägigen Fachgremien von Bund und Ländern (LAWA, LABO, LAGA, LAI) für die relevantesten Schadstoffe sog. „Geringfügigkeitsschwellenwerte“ (GFS) entwickelt. Die GFS definieren anhand human- und ökotoxikologischer Kriterien Konzentrationsgrenzen, die die Verwendbarkeit als Trinkwasser und die ökosystemaren Funktionen des Grundwassers sicherstellen sollen. Der aktuelle Stand der GFS von 2016 übernimmt hierzu weitgehend die Umweltqualitätsnormen der EU-Grundwasserrichtlinien bzw. GrwV, die auf diesem Wege auch für den Besorgnisgrundsatz bedeutend werden.⁷⁸ Ergänzend werden GFS für weitere Parameter bestimmt. Bisher ist allerdings nicht gelungen, die GFS in verbindliche Gesetzesregelungen zu überführen, weil über eine rechtliche Verbindlichkeit der GFS kein politischer Konsens erzielt werden konnte. Die GFS der LAWA könnten daher lediglich als Auslegungshilfe zur Anwendung des Besorgnisgrundsatzes herangezogen werden, und es verbleiben – auch bei der Anwendung auf die Abwasserversickerung gewisse Unsicherheiten, aber auch Abweichungsspielräume in der örtlichen Umsetzung.

In Bezug auf die Niederschlagsversickerung ergibt sich eine relevante Vereinfachung allerdings dadurch, dass es **§ 46 Abs. 2 und 3 WHG** dem Bund und subsidiär den Ländern erlauben, durch **Rechtsverordnung** zu regeln, dass unter bestimmten Voraussetzungen „das Einleiten von Niederschlagswasser in das Grundwasser durch schadloze Versickerung“ von Abwasser erlaubnisfrei zulässig ist. Auch insoweit ist zwar auf Bundesebene keine rechtliche Regelung gelungen, allerdings haben einige Bundesländer von ihrer subsidiären Regelungsbefugnis Gebrauch gemacht. Entsprechende **Erlaubnisfreistellungsverordnungen** haben erlassen: Bayern⁷⁹, Berlin⁸⁰, Brandenburg⁸¹ und Sachsen⁸². Die Verordnungsregelungen werden in der nachstehenden Tabelle 21 einander gegenübergestellt.

Mit diesen Regelungen bestimmen die o.g. Länder jeweils die Voraussetzungen, unter denen im Landesgebiet grundsätzlich davon ausgegangen werden kann, dass die Versickerung „schadlos“ erfolgt. In den Freistellungsregelungen der Länder werden zu diesem Zweck einerseits die **„erlaubten“ Flächen** bestimmt, von denen gesammeltes Niederschlagswasser erlaubnisfrei

⁷⁷ BVerwG, Urt. v. 16.7.1965 ZfW

⁷⁸ S. ausdrücklich LAWA, Ableitung von Geringfügigkeitsschwellen für das Grundwasser, Aktualisierte und überarbeitete Fassung, 2016, https://www.lawa.de/documents/geringfuegigkeits_bericht_seite_001-028_1552302313.pdf, 2017.

⁷⁹ Verordnung über die erlaubnisfreie Versickerung von gesammeltem Niederschlagswasser vom 1.1.2000, GVBl., S. 30.

⁸⁰ Verordnung über die Erlaubnisfreiheit für das schadloze Versickern von Niederschlagswasser (Niederschlagswasserfreistellungsverordnung - NWFreiV) vom 24. August 2001, GVBl., s. 248.

⁸¹ Verordnung über die erlaubnisfreie Einleitung von Niederschlagswasser in das Grundwasser durch schadloze Versickerung (Versickerungsfreistellungsverordnung - BbgVersFreiV) vom 25. April 2019, GVBl.II/19, 32.

⁸² Erlaubnisfreiheits-Verordnung vom 12. September 2001 (SächsGVBl. S. 675)

versickert werden darf, und es werden andererseits Anforderungen an die **Art und Weise der Versickerung** und die Beschaffenheit der Versickerungsflächen/-anlagen geregelt. Dass diese Anforderungen erfüllt werden, ist im Baugenehmigungs- oder Bauanzeigeverfahren mit den Entwurfsunterlagen darzulegen. In den anderen Ländern bleibt es dabei, dass für die Niederschlagsversickerung umfänglich eine wasserrechtliche Erlaubnis zu beantragen ist. Vollzugserleichternde generelle Anforderungen zur Erlaubnisfähigkeit, die denen der Freistellungsverordnungen gleichen, werden hier z.T. aber **verwaltungsintern durch Erlasse** geregelt.⁸³

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass die **Bedingung der Schadlosigkeit** aus § 46 WHG im Einklang mit dem gem. § 48 geforderten Ausschluss „nachteiliger Veränderungen der Wasserqualität“ zu verstehen ist, und dass die zur Sicherung der Schadlosigkeit bestimmten Anforderungen daher so geartet sein sollten, dass sie auch die Besorgnis nachteiliger Veränderungen ausschließen. Gewisse Zweifel daran, dass die landesrechtlichen Anforderungen an die schadloze Niederschlagsversickerung diesem Anforderungsmaßstab des Besorgnisgrundsatzes – weiterhin – gerecht werden, speisen sich indes aus dem Umstand dass die Verordnungen bzw. Erlasse der Länder sämtlich aus der Zeit um die Jahrtausendwende stammen und dass weder mit Blick auf die GFS noch die GrwV eine Novellierung stattgefunden hat.

Ungeachtet dessen dürfte eine Besorgnis iSv § 48 WHG indiziert sein, wenn die generellen Vorgaben zur Schadlosigkeit der Freistellungsverordnungen nicht erfüllt werden. In diesen Fällen kann im Erlaubnisverfahren nur durch Umstände des Einzelfalls begründet werden, dass gleichwohl keine Besorgnis i.S.d. § 48 WHG besteht.

Die nachstehende Gegenüberstellung der Freistellungsregelungen der Länder zeigt naheliegende Ähnlichkeiten, aber durchaus auch **relevante Anforderungsunterschiede im Detail**, sodass von einer bundeseinheitlichen Rechtslage keinesfalls gesprochen werden kann und auch **keine einheitliche Anwendung des Besorgnisgrundsatzes auf die Niederschlagsversickerung** gesichert ist.

Im Übrigen verlangen alle Landesregelungen zusätzlich zu den verordnungs- oder erlassrechtlich geregelten Anforderungen, dass die einschlägigen **Regeln der Technik** einzuhalten sind. Nur teilweise wird auch eindeutig bestimmt, auf welche Regelwerke damit Bezug genommen wird. Beispielsweise hat Bayern durch Bekanntmachung des Staatsministeriums für Umwelt und Gesundheit bestimmt, dass als Technische Regeln die DWA-A 138, DWA-M 153 und RASEw heranzuziehen sind und auch einige eigene Regeln ergänzt.⁸⁴

Tabelle 21: Landesrechtliche Anforderungen an die erlaubnisfreie Versickerung von Niederschlagswasser

Sachsen	Bayern
<p>§ 4 Anforderungen an die zu entwässernden Flächen</p>	<p>§ 2 Ausgeschlossene Flächen</p> <p>Gesammeltes Niederschlagswasser darf nicht erlaubnisfrei versickert werden, wenn es von folgenden Flächen stammt:</p>

⁸³ NRW, RdErl. d. Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft, IV B 5 – 673/2-29010 / IV B 6 – 031 002 0901 v. 18.5.1998 „Niederschlagswasserbeseitigung gemäß § 51 a des Landeswassergesetzes“.

⁸⁴ Technische Regeln zum schadlosen Einleiten von gesammeltem Niederschlagswasser in das Grundwasser (TRENGW), Bekanntmachung des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Gesundheit vom 17. Dezember 2008 (AllMBl. 2009 S. 4).

Sachsen	Bayern
<p>(1) Das Niederschlagswasser darf erlaubnisfrei versickert werden, wenn es von den folgenden zu entwässernden Flächen stammt:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. außerhalb von Gewerbe- und Industriegebieten sowie Sondergebieten mit vergleichbaren Nutzungen gelegene <ol style="list-style-type: none"> a) Dächer und Terrassen, b) befestigte oder unbefestigte, nicht gewerblich, handwerklich oder industriell genutzte Grundstücksflächen oder 2. Wohnstraßen, Rad- und Gehwege. <p>(2) Das Niederschlagswasser von kupfer-, zink- und bleigedeckten Dächern ist von der erlaubnisfreien Versickerung ausgenommen.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Flächen, auf denen regelmäßig mit wassergefährdenden Stoffen umgegangen wird; ausgenommen sind Flächen, für den ausschließlichen Umgang mit Kleingebinden bis 20 Liter Rauminhalt, 2. Kreis- und Gemeindestraßen mit mehr als zwei Fahrstreifen oder 3. Straßen, die Gegenstand einer straßenrechtlichen Planfeststellung sind
<p>§ 5 Anforderungen an die örtlichen Gegebenheiten</p> <p>(1) Das Niederschlagswasser darf erlaubnisfrei auf folgenden Flächen versickert werden:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. auf dem Grundstück des Anfalls, 2. auf in gemeindlichen Satzungen besonders dafür ausgewiesenen Flächen, sofern insoweit das Einvernehmen mit der zuständigen Wasserbehörde hergestellt worden ist. <p>(2) Absatz 1 gilt nicht für Versickerungen in</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Heilquellenschutzgebieten gemäß § 53 Abs. 4 Satz 1 WHG, Trinkwasserschutzgebieten gemäß § 51 Abs. 1 Satz 1 Nr. 1 WHG ... 2. Gebieten mit schädlichen Bodenveränderungen oder Verdachtsflächen im Sinne des Gesetzes zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (...), 3. Gebieten mit Altlasten oder altlastverdächtigen Flächen im Sinne des BBodSchG. 	
<p>§ 6 Anforderungen an das schadloze Versickern</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) Bei der Bemessung, der Ausgestaltung und dem Betrieb von Versickerungsanlagen sind die allgemein anerkannten Regeln der Technik zu beachten. (2) Sofern im Einzelfall mehrere Möglichkeiten zur Versickerung gegeben sind, ist die Lösung zu wählen, die im höheren Maße das Schutzpotenzial des Bodens einbezieht. (3) Ein ausreichender Abstand zwischen der Sohle der Versickerungsanlagen und dem höchsten zu erwartenden Grundwasserstand ist einzuhalten. (4) Die Versickerungsfähigkeit des Untergrundes muss gewährleistet sein. 	<p>§ 3 Anforderungen an das schadloze Versickern</p> <p>(1) Erlaubnisfrei zu versickerndes, gesammeltes Niederschlagswasser ist in Versickerungsanlagen flächenhaft über eine geeignete Oberbodenschicht in das Grundwasser einzuleiten. An eine Versickerungsanlage dürfen höchstens 1000 m² befestigte Fläche angeschlossen werden.</p> <p>(2) Eine Versickerung von Niederschlagswasser über andere Versickerungsanlagen, insbesondere über Rigolen, Sickerrohre oder -schächte ist nur zulässig, wenn eine flächenhafte Versickerung nach Abs. 1 nicht möglich ist und das zu versickernde Niederschlagswasser vorgereinigt wurde. Zur Vorreinigung von Niederschlagswasser von unbeschichteten Flächen mit einer Kupfer-, Zink- oder Bleiblechfläche über 50 m² dürfen nur Anlagen verwendet werden, die nach Art. 41f BayWG der Bauart nach zugelassen sind.</p> <p>(3) Bei der Bemessung, Ausgestaltung und dem Betrieb von Versickerungsanlagen und zugehöriger Vorreinigungsanlagen sind die Regeln der Technik,</p>

Sachsen	Bayern
	<p>insbesondere die vom Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz nach Art. 41e BayWG bekannt gemachten, zu beachten.</p> <p>Nr. 6 TRENGW</p> <p>Durch den Bau von Versickerungsanlagen dürfen keine stauenden, das Grundwasser schützenden Deckschichten (z.B. ausgeprägte Lehmschichten) durchstoßen werden.</p> <p>Die Sohle einer Versickerungsanlage darf im Rahmen der erlaubnisfreien Versickerung gemäß NWFreiV nicht tiefer als 5 m unter Geländeoberkante liegen und muss einen Mindestabstand von 1 m zum Mittelwert der jahreshöchsten Grundwasserstände aufweisen</p>

Berlin	Brandenburg
<p>§ 1 Erlaubnisfreie Versickerung von Niederschlagswasser</p> <p>(1) Für das schadloße Versickern von gesammeltem Niederschlagswasser innerhalb der weiteren Schutzzonen III B von Wasserschutzgebieten sowie außerhalb von Wasserschutzgebieten ist eine Erlaubnis nicht erforderlich, wenn das Niederschlagswasser nicht durch häuslichen, landwirtschaftlichen, gewerblichen oder sonstigen Gebrauch in seinen Eigenschaften nachteilig verändert und nicht mit anderem Abwasser oder wassergefährdenden Stoffen vermischt ist und die Anforderungen der §§ 2 , 3 und 4 erfüllt sind. Dies gilt nur, sofern die Versickerung nicht auf Altlasten- oder Altlastenverdachtsflächen erfolgt.</p>	
<p>§ 2 Anforderungen an die zu entwässernde Fläche</p> <p>(1) In der weiteren Schutzzone III B eines Wasserschutzgebietes besteht die Erlaubnisfreiheit nach § 1 Absatz 1 nur, sofern das Niederschlagswasser von</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. nichtmetallischen Dachflächen ohne technische Aufbauten, die wassergefährdende Stoffe enthalten (zum Beispiel Klimageräte oder Solaranlagen), 2. nicht mit biozidhaltigen Dacheindeckungen versehenen Dachflächen, 3. Wegeflächen, Radwegen, Hofflächen und Verkehrsflächen auf Wohngrundstücken einschließlich Personenkraftfahrzeug-Stellflächen in Wohngebieten <p>oder</p> <ol style="list-style-type: none"> 4. Straßenflächen in reinen Wohngebieten mit einer durchschnittlichen täglichen Verkehrsdichte (DTV) von maximal 50 Kraftfahrzeugen 	<p>§ 3 Ausschluss bestimmter Herkunftsflächen</p> <p>Von der Erlaubnisfreistellung bleibt das Versickern von gesammelt abfließendem Niederschlagswasser folgender Herkunftsflächen ausgenommen:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Gewerbe- und Industriegebiete nach den §§ 8 und 9 der Baunutzungsverordnung, Sondergebiete mit vergleichbarer Nutzung, sowie gewerblich oder industriell genutzte Flächen in Misch- und Kerngebieten im Sinne der §§ 6 und 7 der Baunutzungsverordnung, soweit von ihnen eine maßgebliche Staubbelastung ausgeht, 2. Flächen, auf denen mit wassergefährdenden Stoffen nach § 62 Absatz 3 des Wasserhaushaltsgesetzes einschließlich Jauche, Gülle und Silagesickersäften umgegangen wird, 3. Dachflächen mit Anteilen unbeschichteter metallischer Flächen aus Blei, Kupfer oder Zink von mehr als 50 Quadratmeter, 4. Parkplätze mit mehr als 100 Stellplätzen, soweit das Niederschlagswasser nicht über wasserdurchlässige

Berlin	Brandenburg
<p>stammt.</p> <p>(2) Außerhalb von Wasserschutzgebieten besteht die Erlaubnisfreiheit nach § 1 Absatz 1 nur, sofern das Niederschlagswasser von</p> <ol style="list-style-type: none">1. nichtmetallischen Dachflächen sowie unbeschichteten metallischen Dachflächen von maximal 50 Quadratmetern ohne technische Aufbauten, die wassergefährdende Stoffe enthalten (zum Beispiel Klimageräte oder Solaranlagen),2. nicht mit biozidhaltigen Dacheindeckungen versehenen Dachflächen,3. Wegeflächen, Radwegen, Hofflächen und Verkehrsflächen auf Wohn- und Gewerbegrundstücken einschließlich Personenkraftfahrzeug-Stellflächen in Wohngebieten,4. Flächen, auf denen nicht regelmäßig mit wassergefährdenden Stoffen umgegangen wird, wobei die Menge von 20 Litern nicht überschritten werden darf, oder5. Straßenflächen in reinen Wohngebieten mit einer durchschnittlichen täglichen Verkehrsdichte (DTV) von maximal 500 Kraftfahrzeugen stammt.	<p>Flächenbeläge mit bauaufsichtlicher Zulassung des Deutschen Institutes für Bautechnik versickert wird,</p> <ol style="list-style-type: none">5. abflusswirksam versiegelte Flächen größer als 800 Quadratmeter sowie Gebäude mit einer Grundfläche größer als 400 Quadratmeter.
<p>§ 3 Anforderungen an das schadloze Versickern</p> <p>Erlaubnisfrei ist das Versickern von Niederschlagswasser aus den in § 2 genannten Flächen nur, wenn</p> <ol style="list-style-type: none">1. außerhalb von Wasserschutzgebieten der Abstand zwischen der Sohle der Versickerungsanlage und dem zu erwartenden mittleren höchsten Grundwasserstand (zeMHGW) als Bemessungsgrundwasserstand mindestens einen Meter beträgt oder innerhalb der weiteren Schutzzone III B eines Wasserschutzgebietes der Abstand zwischen der Sohle der Versickerungsanlage und dem zu erwartenden höchsten Grundwasserstand (zeHGW) als Bemessungsgrundwasserstand mindestens einen Meter beträgt,2. bei der Mulden- sowie der Mulden-Rigolen-Versickerung die belebte Bodenzone über die gesamte Versickerungsfläche (Böschung und Sohle) aus einer mindestens 30 Zentimeter mächtigen bewachsenen Oberbodenschicht besteht,3. die Vernässung angrenzender Gebäude ausgeschlossen wird,4. die Versickerung keine Vegetationsschäden und unzulässigen Bodenbelastungen verursacht sowie5. der Versickerungsraum unter der Versickerungsanlage nicht aus Trümmer- oder Bauschutt, Recyclingmaterial oder Schuttbeimengungen besteht. <p>§ 4 Anforderungen an die Versickerungsart</p>	<p>§ 4 Anforderungen an das erlaubnisfreie Versickern</p> <ol style="list-style-type: none">(1) Bei der Bemessung und Herstellung sowie dem Betrieb und der Wartung von Versickerungsanlagen zur erlaubnisfreien Einleitung sind die allgemein anerkannten Regeln der Technik zu beachten.(2) Bei der Bemessung der Anlagen sind insbesondere die Anforderungen zum Überflutungsschutz zu beachten. Hiervon ausgenommen sind Flächen, die gezielt als temporäre Überflutungsfläche für Starkregenereignisse bestimmt sind.(3) Erlaubnisfrei zu versickerndes Niederschlagswasser ist vorrangig flächenhaft oder in Mulden über eine geeignete Oberbodenschicht zu versickern. Die Bodenschicht ist geeignet, wenn der Ober- und Unterboden eine ausreichende Durchlässigkeit aufweisen und die belebte Bodenzone aus einer mindestens 20 Zentimeter mächtigen bewachsenen Oberschicht besteht. Der Abstand zwischen Geländeoberkante und mittlerem höchsten Grundwasserstand (mHGW) muss mindestens 1 Meter betragen.(4) Die Versickerung über andere Versickerungsanlagen (zum Beispiel Rigolen, Mulden-Rigolen-Systeme, Sickerrohre) ist erlaubnisfrei, wenn eine flächenhafte Versickerung nach Absatz 3 nicht möglich ist und das zu versickernde Niederschlagswasser von geringbelasteten Herkunftsflächen stammt. Als gering belastete Herkunftsflächen gelten unter anderem Gründächer, Dachflächen ohne oder mit nur geringfügiger Metalleindeckung, Terrassen, Fuß-, Rad- und Gehwege sowie wenig befahrene Verkehrsflächen in Wohngebieten (bis zu 300 Kraftfahrzeuge in 24 Stunden beziehungsweise bis zu 50 Wohneinheiten). Der Abstand

Berlin	Brandenburg
<p>(1) Voraussetzung für die Erlaubnisfreiheit nach § 1 Absatz 1 ist ferner, dass das Versickern von Niederschlagswasser</p> <p>1. von Flächen nach § 2 Absatz 1 Nummer 1 und 2 oder § 2 Absatz 2 Nummer 1 und 2 über die belebte Bodenzone mittels Flächenversickerung, Muldenversickerung oder Mulden-Rigolen-Versickerung erfolgt; sofern eine derartige Versickerung nicht möglich ist, kann das Versickern auch über Rigolen, Sickerrohre oder Schächte erfolgen,</p> <p>2. von Flächen nach § 2 Absatz 1 Nummer 3 und 4 oder § 2 Absatz 2 Nummer 3 bis 5 ausschließlich über die belebte Bodenzone mittels Flächenversickerung, Muldenversickerung, Mulden-Rigolen-Versickerung oder über vom Deutschen Institut für Bautechnik zugelassene Flächenbeläge zur Behandlung und Versickerung von Niederschlagsabflüssen von Verkehrsflächen erfolgt und dabei keine Überläufe aus der Mulde in die Rigole errichtet oder betrieben werden.</p> <p>(2) Bei Planung, Ausführung, Betrieb und Unterhaltung der Versickerungsanlagen sind die allgemein anerkannten Regeln der Technik zu beachten. Insbesondere sind die Funktionstüchtigkeit und der einwandfreie Betrieb der Versickerungsanlagen entsprechend den allgemein anerkannten Regeln der Technik sicherzustellen und laufend zu überwachen.</p>	<p>zwischen der Sohle der Versickerungsanlage und dem mittleren höchsten Grundwasserstand (mHGW) muss mindestens 1 Meter betragen. Grundwasserschützende Schichten dürfen nicht durchstoßen werden.</p> <p>(5) In der Schutzzone III von Wasserschutzgebieten ist nur das breitflächige Versickern von gering belasteten Niederschlagswasserabflüssen im Sinne der Begriffsbestimmung der jeweiligen Verordnung zur Festsetzung des Wasserschutzgebietes über die belebte Bodenzone (Flächen- oder Muldenversickerung) erlaubnisfrei.</p>

Führende technische Normen zur Niederschlagsversickerung sind mit Blick u.a. auf den Schutz von Grundwasser und Böden das DWA-Arbeitsblatt A 138 zu „Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser“ und das Merkblatt M 153 mit „Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser“. Das Arbeitsblatt A-138 liegt in einer Fassung von 2005 vor, es wird gegenwärtig überarbeitet, und ein Entwurf mit Gelegenheit zur Stellungnahme ist im November 2020 veröffentlicht worden.⁸⁵

Im Neufassungsentwurf wird ausgeführt, dass das novellierte Arbeitsblatt den Stand der Technik widerspiegeln, und dass bei Einhaltung seiner qualitativen Vorgaben die Anforderungen des § 57 Abs. 1 WHG an die Einleitung von Abwasser (hier Niederschlagswasser in das Grundwasser) „im Regelfall als erfüllt gelten“ könnten (DWA-A 138, S. 79). Die Neufassung zielt erklärtermaßen auch darauf ab, die oben dargelegten Neuerungen umzusetzen, die sich gegenüber der Fassung 2005 durch die GrwV und insb. die LAWA-GFS (Stand 2017) ergeben haben. Es wird aber auch darauf hingewiesen, dass für bestimmte Stoffe wie Biozide und Herbizide aktuell noch spezifische Behandlungsmaßnahmen entwickelt werden, und dass u.U. im Einzelfall zusätzliche behördlich Anforderungen festgelegt werden müssen, um den gesetzlich geforderten Grundwasser- und Bodenschutz zu gewährleisten (DWA-A 138, S. 79).

Zutreffend wird außerdem klargestellt, dass im Einzelfall auch eine besondere Schutzbedürftigkeit der betroffenen Flächen bzw. Gewässer z.B. als Trinkwasserschutzgebiet und dass auch quantitative Bewirtschaftungsvorgaben bzgl. des Grundwasserhaushaltes weitergehende Prüfungen und Anforderungen begründen können. Auch vorhandene Bodenbelastungen können der Einleitung von Niederschlagswasser entgegenstehen, wenn

⁸⁵ Obwohl es sich um einen Entwurf handelt, der insb. die Gelegenheit zur breiten Beteiligung geben soll, kann dieser nur entgeltlich bezogen werden.

namentlich damit gerechnet werden muss, dass dadurch Schadstoffe mobilisiert und in das Grundwasser oder andere Boden und Grundwasserregionen ausgetragen werden (DWA-A 138, S. 34).

6.3.11 Anforderungen des Bodenschutzes

Wenn Böden zur Abwasserbehandlung benutzt werden, liegen Fragen des Bodenschutzes auf der Hand. Das Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchG) verpflichtet gem. § 7 die Grundstückseigentümer und Inhaber der tatsächlichen Gewalt über ein Grundstück dazu, „Vorsorge gegen das Entstehen schädlicher Bodenveränderungen zu treffen, die durch ihre Nutzung auf dem Grundstück oder in dessen Einwirkungsbereich hervorgerufen werden können.“ Und ferner: „Vorsorgemaßnahmen sind geboten, wenn wegen der räumlichen, langfristigen oder komplexen Auswirkungen einer Nutzung auf die Bodenfunktionen die Besorgnis einer schädlichen Bodenveränderung besteht. Zur Erfüllung der Vorsorgepflicht sind Bodeneinwirkungen zu vermeiden oder zu vermindern, soweit dies auch im Hinblick auf den Zweck der Nutzung des Grundstücks verhältnismäßig ist. Anordnungen zur Vorsorge gegen schädliche Bodenveränderungen dürfen nur getroffen werden, soweit Anforderungen in einer Rechtsverordnung nach § 8 Abs. 2 festgelegt sind.

Die Bundes-Bodenschutzverordnung (BBodSchV) legt hierzu in ihrem Anhang 2 Nr. 4 Vorsorgewerte fest, bei deren Überschreiten eine Besorgnis schädlicher Bodenveränderungen besteht. Bei naturbedingten oder großflächigen, siedlungsbedingten Erhöhungen der Schadstoffgehalte im Boden besteht eine solche Besorgnis allerdings nur, wenn aufgrund der fraglichen zusätzlichen Einträge weitergehende nachteilige Auswirkungen auf die Bodenfunktionen zu erwarten sind. Ferner erlauben § 11 Abs. 1 i.V.m. Anhang 2 Nr. 5 gewisse – geringfügige – Zusatzbelastungen.

Tabelle 22: Vorsorgewerte gemäß Anhang 2 Nr. 4 BBodSchV

Böden	Cadmium	Blei	Chrom	Kupfer	Quecksilber	Nickel	Zink
Bodenart Ton	1,5	100	100	60	1	70	200
Bodenart Lehm/ Schluff	1	70	60	40	0,5	50	150
Bodenart Sand	0,4	40	30	20	0,1	15	60
Böden mit naturbedingt und großflächig siedlungsbedingt erhöhten Hintergrundgehalten	unbedenklich, soweit eine Freisetzung der Schadstoffe oder zusätzliche Einträge nach § 9 Abs. 2 und 3 dieser Verordnung keine nachteiligen Auswirkungen auf die Bodenfunktionen erwarten lassen						
4.2 Vorsorgewerte für organische Stoffe (in mg/kg Trockenmasse, Feinboden)							
Böden	Polychlorierte Biphenyle (PCB(tief)6)		Benzo (a)pyren		Polycycl. Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK(tief)16)		
Humusgehalt > 8%	0,1		1		10		
Humusgehalt <= 8%	0,05		0,3		3		

Die Besorgnis einer schädlichen Bodenveränderung kann nach § 7 Abs. 1 Nr. 2 BBodSchV auch aufgrund sonstiger Schadstoffe gegeben sein, wenn „eine erhebliche Anreicherung von **anderen Schadstoffen** erfolgt, die auf Grund ihrer krebserzeugenden, erbgutverändernden, fortpflanzungsgefährdenden oder toxischen Eigenschaften in besonderem Maße geeignet sind, schädliche Bodenveränderungen herbeizuführen.“

Das DWA-Arbeitsblatt A-138 berücksichtigt diese Anforderungen bereits in seiner geltenden Fassung. Der Entwurf zur Neufassung betont, dass bei Beachtung seiner qualitativen Vorgaben im Allgemeinen davon ausgegangen werden kann, dass „im Ablauf der Versickerungsanlage die o.g. Prüfwerte der BBodSchV eingehalten werden. Unklar bleibt allerdings, ob und inwieweit **weitere relevante Schadstoffe** einschließlich z.B. derer aus Fassadenabläufen berücksichtigt werden (müssten). Insoweit erscheint eine genauere Begründung und transparente Auseinandersetzung mit dem Stand der Bodenforschung wünschenswert.

6.3.12 Verpflichtungen und Anordnungsmöglichkeiten zur Niederschlagseigenbewirtschaftung

Fortschrittlichen Gemeinden, die auf eine dezentrale Niederschlagsbewirtschaftung hinwirken möchten, stellt sich nicht zuletzt die Frage, inwieweit sie ihre Grundeigentümer zur Eigenbeseitigung verpflichten können und ob sie bestimmte Maßnahmen der Speicherung, Versickerung, Verwertung und Vermeidung auch anordnen dürfen. Einschlägige Rechtsgrundlagen finden sich im Wasserrecht (1.) und im Baurecht (2.).

6.3.12.1 Wasserrechtliche Möglichkeiten zur Anordnung und Durchsetzung einer dezentralen Eigenentsorgung

Das WHG normiert weder Verpflichtungen noch Anordnungsermächtigungen zur Niederschlags-Eigenbewirtschaftung, aber es sieht in § 56 Satz 2 WHG vor, dass die Länder dazu Regelungen treffen können. Ein Überblick über die diesbezüglichen Bestimmungen der Landeswassergesetze wurde bereits oben in Abschnitt 6.3.3 (Tabelle 19) gegeben, und es wurde in diesem Zusammenhang auch darauf hingewiesen, dass zu unterscheiden ist zwischen **bloßen Befreiungsmöglichkeiten**, die eine freiwillige Eigenbeseitigung durch den Grundstückseigentümer ermöglichen, und **Übertragungsregelungen**, die die Grundstückseigentümer unmittelbar zur Eigenbeseitigung verpflichten oder zu einer Übertragung der Beseitigungspflicht ermächtigen.

Die Landeswassergesetze enthalten i.d.R. allerdings auch Bestimmungen zur verpflichtenden Eigenbeseitigung. Teilweise werden die Gemeinden ermächtigt, in ihren

Entwässerungssatzungen genauer zu bestimmen, wo und in welcher Weise Niederschlagswasser auf den Grundstücken, auf denen es anfällt, zu versickern oder sonst zu beseitigen ist.⁸⁶ In Hessen werden die Gemeinden auch dazu ermächtigt, eine **Verwendung** des Niederschlagswassers individuell anzuordnen,⁸⁷ und ferner wird – im Rückgriff auf § 9 Abs. 4 BauGB – vorgesehen, dass die grundstückbezogenen Anordnungen als Festsetzungen **in den Bebauungsplan aufgenommen** werden (dazu noch unten 1.3.12.2).⁸⁸ Die Festlegungen der Entwässerungssatzungen müssen sich indes gegenüber den Grundeigentümern nach Maßgabe des Verhältnismäßigkeitsgrundsatzes und im auch Verhältnis zum Bauplanungsrecht auf möglichst „**umsetzungsoffene**“ **Vorgaben** dazu beschränken, welche Rückhalte- und Versickerungskapazitäten auf dem Grundstück bereitzustellen sind (s. noch unten 1.3.12.2).

Einige Länder ermächtigen außerdem die zuständigen **Wasserbehörden** dazu, eine dezentrale **Niederschlags-Eigenbeseitigung anzuordnen**.⁸⁹ Teils wird auch eine unmittelbare gesetzliche **Verantwortung des Grundeigentümers** zur Eigenbeseitigung des Niederschlagswassers begründet. So ist gem. § 79b (1) des Wassergesetzes für Sachsen-Anhalt (WG LSA) zur „Beseitigung des Niederschlagswassers anstelle der Gemeinde der Grundstückseigentümer verpflichtet, soweit nicht die Gemeinde den Anschluss an eine öffentliche Abwasseranlage und deren Benutzung vorschreibt“.⁹⁰

Soweit die Landeswassergesetze Verpflichtungen oder Anordnungsmöglichkeiten zur Eigenbeseitigung vorsehen, kann auf dieser Grundlage problemlos auch eine **partielle Eigenbeseitigung** verfügt werden, wenn eine vollständige Speicherung und Versickerung auf dem Grundstück nicht möglich ist.⁹¹ Niederschlagswasser, das nicht auf dem Grundstück versickert werden kann, unterliegt dann einer „Restüberlassungspflicht“.

Sofern die Landeswassergesetze Pflichten oder Anordnungsermächtigungen zur Niederschlags-Eigenbewirtschaftung vorsehen, erstrecken sich diese regelmäßig auf die Versickerung und teils auch auf die Verwendung, **nirgends jedoch auf die „Vermeidung“** von Niederschlagswasser. Im Zusammenhang mit der o.g. Definition des Niederschlagswassers bedeutet dies dem Wortlaut nach, dass Entsiegelungsmaßnahmen, Bepflanzungen und Gründächer, die dazu dienen einen gesammelten Abfluss des Regenwassers zu vermeiden, nicht Gegenstand einer Entwässerungssatzung sein können. Gleiches gilt für die sogleich noch zu erörternden bauplanungsrechtlichen Festsetzungsmöglichkeiten zur Versickerung von Niederschlagswasser. Im Lichte des Regelungszwecks dürfte sich zwar eine weitere Auslegung vertreten lassen, die die Anordnungsmöglichkeiten zur Versickerung, Verwendung und Beseitigung des Niederschlagswassers auf die genannten „Vermeidungs“-maßnahmen erstreckt. Eine **gesetzliche Klarstellung**, dass die Gemeinden auch insoweit ermächtigt werden sollen, erscheint jedoch angebracht.

Zu den o.g. landesrechtlichen Verpflichtungen und Ermächtigungen ist schließlich anzumerken, dass sie **nicht auf den Neubau beschränkt** sind. Vielmehr ermöglichen es diese Vorschriften auch, eine Eigenbewirtschaftung im Bestand einzuführen. Freilich sind die insoweit engeren Schranken der Verhältnismäßigkeit zu beachten und ggf. ist auch zu klären, wie mit bereits geleisteten Erschließungsbeiträgen auf eine überkommene Kanalinfrastruktur umzugehen ist.

⁸⁶ §§ 44 Abs. 3 und 4 LWG NW, 37 Abs. 4 HWG, 66 Abs. 2 BbgWG; 58 Abs. 2 LWG RP, 31 Abs. 5 WasG SH.

⁸⁷ § 37 Abs. 4 HWG.

⁸⁸ Vgl. §§ 37 Abs. 4 HWG, 74 Abs. 3 Nr. 2 LBauO BW, 44 Abs. 2 S. 2 2. HS LWG NW.

⁸⁹ §§ 44 Abs. 4, 45 Abs. 4 Nr. 4 BremWG, 44 Abs. 4 LWG NW.

⁹⁰ Ähnlich §§ 96 NWG und 29e Abs. 3 Nr. 2. BWG.

⁹¹ So auch zutreffend der Entwurf zum DWA-A 138, November 2020, B.4., S. 80.

In Bezug auf Quartiere und insb. **Blockbebauungen mit heterogener Eigentümerstruktur** wird sich mitunter die Frage stellen, ob und auf welchem Wege es rechtlich möglich ist, benachbarte Grundstückseigentümer zu Errichtung und Betrieb gemeinsamer Versickerungs- und Speicheranlagen – z.B. im Hofgartengelände – zu verpflichten. In solchen Fällen ist zunächst daran zu denken, die betreffenden Eigentümer auf Grundlage der o.g. Anordnungsermächtigungen zur Eigenbeseitigung zu verpflichten und es ihrer privaten Abstimmung zu überlassen, wie sie dieser Verpflichtung – je für sich oder gemeinschaftlich – nachkommen. Wenn eine solche Wahllösung nach Lage der Dinge keinen Erfolg verspricht, ist wasserrechtlich noch an eine Anordnung gem. § 94 Abs. 1 WHG zur **Mitbenutzung** von Anlagen zur Grundstücksentwässerung zu denken. Diese setzt voraus, dass die mitzubeneutzende Entwässerungsanlage (Kanalanschluss, Speicherbecken) bereits bei einem Nachbarn vorhanden ist. Zwar kann nach § 94 Abs. 1 auch die Änderung einer vorhandenen Anlage verlangt werden, um die Mitbenutzung zu ermöglichen. Wenn eine Neuerrichtung angeordnet werden soll, muss ergänzend auf die o.g. wasserrechtlichen Ermächtigungen oder auf Instrumente des Baurechts zurückgegriffen werden.

6.3.12.2 Bauplanungsrechtliche Möglichkeiten zur Festsetzung/Anordnung und Durchsetzung einer dezentralen Eigenentsorgung

Auch das Baurecht gibt den Gemeinden Mittel an die Hand, um Grundeigentümer und Bauherren auf eine wassersensible Grundstücksgestaltung und dezentrale Niederschlagswasserbeseitigung zu verpflichten. Im Vordergrund steht zunächst das Bauplanungsrecht mit den **Festsetzungsmöglichkeiten des B-Plans** gemäß § 9 Abs. 1 BauGB. Den Interessen der geordneten Siedlungsentwässerung können insbesondere die folgenden Festsetzungen dienen:

10. die Flächen, die von der Bebauung freizuhalten sind, und ihre Nutzung;
14. die Flächen für die ... Abwasserbeseitigung, einschließlich der Rückhaltung und Versickerung von Niederschlagswasser ...
16. a) die Wasserflächen und die Flächen für die Wasserwirtschaft, b) die Flächen ... für die Regelung des Wasserabflusses, (c) Gebiete, in denen bei der Errichtung baulicher Anlagen bestimmte bauliche oder technische Maßnahmen getroffen werden müssen, die der Vermeidung oder Verringerung von Hochwasserschäden einschließlich Schäden durch Starkregen dienen, sowie die Art dieser Maßnahmen d) die Flächen, die auf einem Baugrundstück für die natürliche Versickerung von Wasser aus Niederschlägen freigehalten werden müssen, um Hochwasserschäden, einschließlich Schäden durch Starkregen, vorzubeugen.

Dem Rückhalt von Regenwasser und der Vermeidung von Niederschlagsabflüssen können außerdem dienen:

20. Flächen oder Maßnahmen zur Pflege und zur Entwicklung von ... Natur und Landschaft
25. Für einzelne Flächen oder für ein Bebauungsplangebiet oder Teile davon sowie für Teile baulicher Anlagen
 - a) das Anpflanzen von Bäumen, Sträuchern und sonstigen Bepflanzungen,
 - b) Bindungen für Bepflanzungen und für die Erhaltung von Bäumen, Sträuchern und sonstigen Bepflanzungen sowie von Gewässern;

Aufgrund dieser Bestimmungen kann durch einen B-Plan jedenfalls dafür gesorgt werden, dass hinreichend Flächen zur Versickerung von Niederschlagswasser **von Bebauung freigehalten** werden. Welche technischen Maßnahmen auf dem Grundstück zum Zwecke der Versickerung, Speicherung und Verwendung von Niederschlagswasser zu treffen sind, kann nur begrenzt im B-

Plan festgesetzt werden. Nur die Bestimmung der Nr. 16c) erlaubt **Festsetzungen zu bestimmten technischen Maßnahmen**, beschränkt diese aber explizit auf **zu errichtende** bauliche Anlagen und greift daher nicht gegenüber Bestandsanlagen ein. Dass diese Bestimmung wörtlich auf den Schutz und die **Vorbeugung vor Hochwasserschäden** bezogen ist, kann kaum sinnvoll dahin verstanden werden, dass sie lediglich Vorkehrungen abdeckt, die i.e.S. nur dem Schutz der zu errichtenden Anlagen dienen (wie Höhenvorgaben, Fluttore o.Ä.), und nicht auch Maßnahmen zur Vermeidung schädlicher Überflutungen und von Hochwasserschäden im Anlagenumfeld wie die Festsetzung von Abflusswegen, Zisternen, Retentionsbecken oder Versickerungsmulden. Eine Klarstellung dazu wäre gleichwohl wünschenswert.

Im Geltungsbereich eines Bebauungsplans sind konkrete bauliche Vorgaben zur Niederschlagsbewirtschaftung im Zusammenhang mit den sonstigen Planungsbelangen zu entwickeln und im B-Plan festzusetzen. **Vorfestlegungen in Entwässerungssatzungen** können ggf. nachrichtlich in den B-Plan übernommen werden. Eine entscheidende Vorfestlegung muss auf Basis der kommunalen Entwässerungsplanung jedenfalls darüber erfolgen, welche Ableitungs- und ggf. dezentrale Entwässerungskapazitäten durch das öffentliche Entwässerungssystem bereitgestellt werden, und welche Bewirtschaftungs- bzw. Abkoppelungsbeiträge infolgedessen auf den privaten Grundstücken zu leisten sind. Die Vorgaben der Entwässerungssatzungen müssen allerdings mit Blick auf die Eigentümerrechte und auch die Zwecke der Bebauungsplanung so offen wie möglich formuliert werden und auf dasjenige beschränkt bleiben, was erforderlich ist, um die Grundstücksbeiträge zur Niederschlagsbewirtschaftung sicherzustellen. (s. noch unten 1.3.12.4).

Auf § 9 Abs. 1 Nr. 25 BauGB können indes Vorgaben zur **Bepflanzung** von Grundstücken und Gebäuden gestützt werden. Nach wohl h.A. können auf dieser Grundlage auch die Errichtung und der Betrieb von Gründächern vorgeschrieben werden, die im Einflussbereich des Gebäudes den Niederschlagsrückhalt stärken.⁹² Dass eine solche Ausstattungsfestsetzung aus Gründen der Stadtentwässerung geboten ist, wird i.d.R. durch ein fundiertes Entwässerungskonzept nachzuweisen sein. Für Festsetzungen zur Gebäudebegründung werden oftmals zugleich Gründe des Stadtklimas und Naturschutzes ins Gewicht fallen. Die Festsetzung einer Dachbegründung wird oftmals auch als Maßnahme des naturschutzrechtlichen **Eingriffsausgleichs** gemäß § 1a Abs. 3 BauGB ein- und angeordnet werden können; Voraussetzung ist, dass ein Bebauungsplan aufgestellt wird.⁹³ Wenngleich die Festsetzung von Gründächern multiple städtebauliche Vorteile erbringen kann, bleibt festzustellen, dass das BauGB dazu bisher keine explizite Festsetzungsermächtigung beinhaltet. Die Festsetzung zur Bepflanzung gem. § 9 Nr. 25 ist auf Gründächer ursprünglich nicht gemünzt – wie auch die hierfür unpassende Planschadensregelung des § 41 Abs. 2 BauGB erkennen lässt – und kann daher nur als Behelf und mit verbleibenden Rechtsunsicherheiten herangezogen werden. Eine „pro-aktive“ Regelung fehlt folglich auch in dieser Hinsicht.

Die **praktische Wirksamkeit Bauplanungsrechts** als Instrument der wassersensiblen Stadtentwicklung ist wesentlich dadurch gemindert, dass **keine Pflicht zur B-Planung** besteht und dass die Gemeinden aufgrund des hohen administrativen und „politischen“ Aufwands der Planung nur in seltenen Fällen vorhabenunabhängige Bebauungspläne erstellen. Viele kleinere Bauvorhaben insb. zur Füllung städtischer Baulücken werden daher ohne B-Plan auf der Grundlage von § 34 BauGB genehmigt. Vorgaben zur Niederschlagsbewirtschaftung müssen in

⁹² Schmauck, Dach- und Fassadenbegründung im Siedlungsbereich, BfB-Skripten 538, 2019, S. 36; Mitschang/Reidt, in: Battis/Krautzberger/Löhr, Baugesetzbuch, 14. Aufl., 2019, § 9 Rn. 150.- Söfker, in: Ernst/Zinkhahn/Bielenberg, 134. EL, § 9 Rn. 219.

⁹³ Schmauck (Fn. 92), S. 39.

diesen Fällen auf den wasserrechtlichen und/oder bauordnungsrechtlichen Grundlagen getroffen werden.

Der praktische Einsatzbereich der B-Planung beschränkt sich daher weitgehend auf die Entwicklung größerer Neubauvorhaben und Areale, für die i.d.R. **vorhabenbezogene B-Pläne** gemäß § 12 BauGB erstellt werden, meist auf der Basis **städtebaulicher Verträge**. Die städtebaulichen Verträge bieten der Gemeinde allerdings weitreichende Möglichkeiten, um Investoren auf Maßnahmen zur Niederschlagsbewirtschaftung zu verpflichten. Fachlich und „politisch“ setzt dies jedoch voraus, dass die Gemeinde bereits über ein hinreichend entwickeltes und wirkungsmächtiges Entwässerungskonzept verfügt, das den Maßnahmenaufwand beim Vorhabenträger rechtfertigt und einen klaren Verhandlungsrahmen vorgibt (dazu noch unten 1.3.13.).

Festzuhalten ist, dass die Bebauungsplanung in weitem Umfang dazu genutzt werden können, die benötigten Frei- und Grünflächen für eine dezentrale Niederschlagsbewirtschaftung zu sichern. Auch Festsetzungen zur Art und Weise der dezentralen Niederschlagsbewirtschaftung sind möglich, soweit sie der Vermeidung von Überschwemmungsschäden dienen oder die Bepflanzung von Gebäuden und Grundstücken betreffen. Eine Möglichkeit, Anlagen zur Niederschlagsbewirtschaftung auch unabhängig von Überschwemmungsrisiken mit dem Ziel festzusetzen, den lokalen Wasserhaushalt zu verbessern und die öffentlichen Entwässerungsstrukturen zu entlasten, ist dem BauGB bisher nicht unmittelbar zu entnehmen. Insofern erscheint eine gesetzgeberische Ergänzung wünschenswert. Die praktische Bedeutung der Bebauungsplanung beschränkt sich weitgehend auf die vorhabenbezogene Planung für größere Städtebauprojekte.

6.3.12.3 Bauplanungsrechtliche Festsetzungen in Bestandslagen

Das Bauplanungsrecht richtet sich in erster Linie auf die Regulierung neuer baulicher Bodennutzungen; das BauGB ermöglicht es allerdings auch, unter bestimmten Kautelen des Vertrauens- und Eigentumsschutzes eine (Um-) Gestaltung bzw. Sanierung oder Entwicklung von Bestandsnutzungen anzuordnen. So können die Festsetzungen zur Flächenfreihaltung und Bepflanzung auch in bestehende B-Pläne aufgenommen und gleichsam in den Baubestand „hineingeplant“ werden. Eine Umsetzung kann insb. durch Bau-, Rückbau und Pflanzgebote (§§ 176, 179, 178 BauGB) erfolgen. Derlei Eingriffe in den Plan- und Nutzungsbestand sind nur im Rahmen der Abwägungsverhältnismäßigkeit und ggf. gegen **Entschädigung** (§ 42 BauGB) oder auf dem Enteignungswege (§ 85 BauGB) zulässig.

Wenn es darum geht, Bestandsquartiere auf ein dezentrale Niederschlagsbewirtschaftung „umzurüsten“, ist vor allem an die Durchführung einer **Sanierungsmaßnahme nach §§ 136 ff. BauGB oder Stadtumbaumaßnahme nach § 171a ff.** zu denken. Im Rahmen einer Sanierungsmaßnahme kann die Gemeinde Ordnungsmaßnahmen gem. § 147 BauGB ergreifen und Baumaßnahmen gem. § 148 BauGB anordnen, um hinreichende Flächen- und Anlagenkapazitäten für die dezentrale Niederschlagsbewirtschaftung zu schaffen. Beim Blick auf das geltende Stadtsanierungsrecht ist jedoch zu konstatieren, dass die städtebaulichen Erfordernisse der Stadtentwässerung bei den „städtebaulichen Missständen“, die eine Sanierungsmaßnahme i.S. dieser Vorschriften rechtfertigen, gar nicht ausdrücklich genannt sind. Zwar kann mit guten Gründen argumentiert werden, dass ein Siedlungsgebiet, dessen Entwässerungsstruktur keinen hinreichenden Überflutungsschutz gewährleistet und/oder den Geboten einer resilienten Siedlungswasser(kreislauf)wirtschaft nicht genügt, i.S.d. § 136 Abs. 2 Nr. 1 BauGB „den Anforderungen an die Sicherheit der in ihm wohnenden oder arbeitenden Menschen auch unter Berücksichtigung der Klimaanpassung nicht entspricht“.

Wiederum fehlt jedoch eine explizite Regelung, die das Sanierungsinstrumentarium – mit gleichsam auffordernder Wirkung – eindeutig auch in den Dienst einer wassersensiblen Stadtentwicklung stellt. Gleiches gilt für die Regelungen zum Stadtumbau gem. §§ 171a ff. BauGB. Eine siedlungswasserwirtschaftliche Ergänzung des bauplanungsrechtlichen Sanierungsrechts könnte hinsichtlich des gebotenen Überschwemmungsschutzes auch durch die oben dargestellten technischen Maßstäbe der DWA und DIN substantiiert werden.

6.3.12.4 Bauordnungsrecht – örtliche Bauvorschriften

Ein anderes Instrument des Baurechts, das ggf. auch Anordnungen zur dezentralen Niederschlags-Eigenbewirtschaftung ermöglichen kann, sind die „örtlichen Bauvorschriften“, zu deren Erlass die **Bauordnungen der Länder** – allerdings in unterschiedlichem Umfang – ermächtigen.⁹⁴ In der Regel umfassen diese Ermächtigungen gebietsbezogene Anforderungen an die äußere Gestaltung baulicher Anlagen einschließlich der Begrünung und kommen insofern als Grundlage für stadtweite oder gebietsbezogene Begrünungsregelungen in Betracht, die auch der Vermeidung von Überschwemmungen dienen können (z.B. Grün- bzw. Gründach-Satzungen).⁹⁵ Deutlich darüber hinaus geht § 74 Abs. 3 Nr. 2 LBauO BW, der den o.g. landeswasserrechtlichen Satzungsermächtigungen zur Niederschlagsentwässerung entspricht und namentlich die Gemeinden dazu ermächtigt, durch Satzung zu bestimmen, dass Anlagen zum Sammeln, Verwenden oder Versickern von Niederschlagswasser oder zum Verwenden von Brauchwasser herzustellen sind, um die Abwasseranlagen zu entlasten, Überschwemmungsgefahren zu vermeiden und den Wasserhaushalt zu schonen. Dass Baden-Württemberg diese Ermächtigung dem Baurecht zuschlägt, mag fragwürdig erscheinen, zeugt aber zumindest von den starken Zusammenhängen der dezentralen Niederschlagsbewirtschaftung mit der Grundstücks- und Gebäudegestaltung und den städtebaulichen Sicherheitsbelangen des Bauordnungsrechts.

Wegen dieser Zusammenhänge fällt freilich nicht nur die Abgrenzung von (Landes-) Wasserrecht und Bauordnungsrecht schwer, sondern auch die **Abgrenzung zum Bauplanungsrecht**, zu dem das Landesrecht jedoch nicht in Konkurrenz treten darf.⁹⁶ In der – hier nicht weiter zu vertiefenden – Frage, welche Aspekte der Grund- und Gebäudegestaltung einer landesrechtlichen Steuerung zugänglich bleiben, hat die Rechtsprechung bisher eine eher restriktive Haltung eingenommen und auch nur begrenzt Klarheit geschaffen.⁹⁷ Es besteht weiterhin ein **Unsicherheitsbereich**, der sich in relevantem Umfang auch auf die flächenbezogenen Regelungen zur Niederschlagsbewirtschaftung erstrecken dürfte und deren Effektivität mindern kann. Zu empfehlen ist daher eine bundesrechtliche Absicherung der landesrechtlichen Regelungsspielräume. In Betracht kommt eine materielle Präzisierung der **Öffnungsklausel in § 9 Abs. 4 BauGB** oder die Ergänzung einer bundeseinheitlichen Ermächtigung zur Festsetzung von Maßnahmen zur Niederschlagsbewirtschaftung im WHG. So oder so sollten die Festsetzungen zur Niederschlagsbewirtschaftung durch eine formale Stadtentwässerungsplanung umgesetzt werden, die in enger Abstimmung mit den Stadtplanungssämtern ein kohärentes Niederschlagsbewirtschaftungskonzept entwickelt und damit eine solide Grundlage für außenverbindliche Festsetzungen zur Niederschlagsbewirtschaftung schafft.

⁹⁴ Eine Ausnahme bildet insoweit der o.g. § 74 Abs. 2 LBauO BW, der den wasserrechtlichen Satzungsermächtigungen zu kommunalen Entwässerungssatzungen anderer Bundesländer entspricht.

⁹⁵ S. z.B. § 4 der Freiflächengestaltungssatzung der Stadt München, MüABl. 1996, 371, unter: <https://www.muenchen.de/rathaus/Stadtrecht/vorschrift/924.html>, (11/2019) oder die Grün- und Gestaltungssatzung der Stadt Aachen vom 12.7.2017.

⁹⁶ S. Haafß, NVwZ 2008, 252.

⁹⁷ Insb. BVerwG, NVwZ 2008, 311, 312.

6.3.13 Pflichten und Vorgaben zur integrierten Planung auch dezentraler Abwasserinfrastrukturen

Da die dezentrale Niederschlagsbewirtschaftung vorwiegend durch multifunktionale Gestaltung und (Mit-) Nutzung urbaner Flächen zu realisieren ist, kommt der Integration in das städtebauliche Nutzungsgefüge eine entscheidende Bedeutung zu.⁹⁸ Voraussetzung dafür ist in erster Linie eine auf die dezentrale Niederschlagsbewirtschaftung und wassersensible Flächennutzung ausgerichtete **Entwässerungsplanung**, mit der für das jeweilige **Einzugsgebiet** unter Berücksichtigung des Planungs- und Nutzungsbestands und unter **Beteiligung** der relevanten Stellen sowie der Öffentlichkeit ein kohärentes Entwässerungssystem entwickelt und formal beschlossen wird. Ohne eine solche qualifizierte, formale Fachplanung kann es kaum gelingen, ein kohärentes und in den Nutzungskontext integriertes Entwässerungssystem zu entwickeln und eine hinreichende Beachtung durch die Bauämter und Grundstücksnutzer zu sichern.⁹⁹

Zwar bemühen sich fortschrittliche Städte und Verbände bereits im Rahmen ihrer informalen **Generalentwässerungsplanung** darum, die Optionen der flächenhaften und dezentralen Niederschlagsbewirtschaftung einzubeziehen und dies auch mit den relevanten Ressorts der Stadtentwicklung abzustimmen. Oft gelingt dies jedoch nur sehr **unzureichend** und es bleibt wesentlich bei einer technischen Entwässerungsplanung i.S.d. „**build-and-supply**“, die die Stadtentwicklung „bedient“, aber nicht mitgestaltet. Auch sind die GEP oft veraltet und werden nicht den neuen Entwicklungen und Möglichkeiten der integrierten Niederschlagsbewirtschaftung angepasst.

Eine informale, technische Infrastrukturplanung kann für eine unterirdische Infrastruktur genügen, die zur Oberflächennutzung grundsätzlich geringe Konfliktfläche aufweist, nicht aber für eine Entwässerungsinfrastruktur, die sich wesentlich in die Oberflächengestaltung einzumischen hat. Dafür bedarf es einer – auch politisch gestaltenden Planung –, die die **Flächenkonflikte** durch Beteiligungsverfahren bewältigt und effektiv in das Planungsgefüge der Stadtentwicklung integriert ist. Erforderlich sind

- **eine Pflicht zur Planung**, die sicherstellt, dass alle größeren Gemeinden eine Entwässerungsplanung auflegen und regelmäßig **fortschreiben**, und
- **Anforderungen an Inhalt und Verfahren**, die gewährleisten, dass die Planungen den Mindestanforderungen einer integrierten Entwässerungsplanung und wassersensiblen Stadtplanung genügen.

Es gibt durchaus fortschrittliche Städte, die den Anforderungen einer integrierten Entwässerungsplanung auch ohne formale Vorgaben bereits in beachtlichem Maße Rechnung tragen. Damit erübrigt sich jedoch keinesfalls die Notwendigkeit, dies auch flächendeckend für alle anderen Städte bzw. Verbände sicherzustellen.¹⁰⁰

Soweit die Landeswassergesetze zur Erstellung von **Abwasserbeseitigungskonzepten** verpflichten,¹⁰¹ gehen diese bereits – teils mehr, teils weniger – in Richtung einer solchen

⁹⁸ Z.B. *Bannert et al.*, Korrespondenz Abwasser Abfall 2019, 894, *F. Sieker* (Fn. **Fehler! Textmarke nicht definiert.**), S. 25.; *Reese/Gawel/Geyler*, Die Nachhaltigkeitsgebote der Siedlungswasserwirtschaft, in: *Gawel* (Hrsg.), Die Governance der Wasserinfrastruktur, Band I, 2015, S. 197 ff.

⁹⁹ Näher *Wickel*, Planung als Instrument der besseren Vernetzung von Siedlungswasserwirtschaft und Stadtentwicklung, in: *Gawel* (Hrsg.), Die Governance der Wasserinfrastruktur, Band II, 2015, S. 399 ff.

¹⁰⁰ Siehe umfassend dazu *Wickel*, a.a.O.

¹⁰¹ § 67 BbgWG, § 47 Abs. 3 WG NW; § 51 SWG; § 48 ThürWG; nur fakultativ oder nur bei Übertragung der Beseitigungspflicht zwingend in BW, RP, SH, BY; keine Regelung in BE, BR, HH, HE, MP, Nds, SL.

Fachplanung. Hinsichtlich der inhaltlichen Anforderungen darf man die Regelung in § 79 Abs. 4 das WG LSA hervorheben, mit der explizit auch ein Konzept zur Niederschlagswasserbeseitigung verlangt und u.a. vorgeschrieben wird, dass darin in Bezug auf neu anzuschließende Gemeindegebiete die Möglichkeiten der ortsnahen Beseitigung von Niederschlagswasser vorrangig zu prüfen sind.¹⁰² Nur wenige Länder regeln auch, dass die Konzepte mit betroffenen Behörden und Beteiligten abzustimmen sind,¹⁰³ und wie die Konzepte durch die Gemeinden (insb. in den Entwässerungssatzungen) umgesetzt und von den Wasserbehörden durchgesetzt werden sollen.¹⁰⁴ Kein Landesgesetz regelt das Verhältnis zu Bebauungs- und Verkehrswegeplanung.

Die Schwächen der bisher im Landesrecht vorgesehenen Abwasserbeseitigungskonzepte sind an anderer Stelle bereits ausführlicher analysiert worden.¹⁰⁵ Dabei ist auch dargelegt worden, dass die zentrale Funktion, die eine solche Planung bei der Entwicklung einer dezentralen Niederschlagsbewirtschaftung zu erfüllen hat, in **keinem Falle durch die Bebauungsplanung zu erfüllen** ist. Hauptgründe dafür sind, dass die Bebauungsplanung eine Angebotsplanung und nicht auf Umsetzung gerichtet ist, dass die Bebauungsplanung ihre Plangebiete und Planerfordernisse nach anderen Kriterien abgrenzen muss als die Entwässerungsplanung und dass die Bebauungsplanung einen hohen gesamtplanerischen Aufwand mit sich bringt, den die Gemeinden kaum mehr auf sich nehmen (s.o.). Sachlich angemessen erscheint daher der o.g. Weg über eine eigenständige Fachplanung, die ggf. im Bebauungsplan zu berücksichtigen und durch Festsetzungen nach § 9 Abs. 1 oder planergänzende Festsetzungen gemäß § 9 Abs. 4 BauGB umzusetzen ist.

Zu empfehlen ist mithin eine **Ertüchtigung der Abwasserbeseitigungskonzepte** und deren Fortentwicklung zu integrierten Stadtentwässerungsplänen im o.g. Sinne. Dies kann weiterhin auf Länderebene erfolgen, oder durch den Bundesgesetzgeber, der bundesweit für eine siedlungswasserwirtschaftliche Fachplanung sorgen könnte, die den Nachhaltigkeitserfordernissen der Stadtentwässerung wirksam Rechnung trägt.¹⁰⁶ Zu den gesetzlichen Anforderungen an die Stadtentwässerungsplanung sollten auch Elemente des Hochwasserrisikomanagements gehören, die bisher auf das Flusshochwassermanagement gemäß §§ 72 ff WHG begrenzt worden sind. Dazu gehört v.a. die wiederkehrende **Ermittlung und Kartierung der Überschwemmungsrisiken**, die eine wichtige Grundlage sowohl für öffentliche als auch private Bewirtschaftungs-, Schutz- und Anpassungsmaßnahmen darstellt.¹⁰⁷

6.3.14 Grundlagen und Kernfragen der Finanzierung dezentraler Strukturen zur Niederschlagsbeseitigung

6.3.14.1 Grundlagen

Wer die Kosten zu tragen hat, ist für die Umsetzung dezentraler Niederschlags- und Abwasserbewirtschaftungskonzepte eine zentrale Frage. Dabei geht es zum einen um die Kosten für Planung, Errichtung und Betrieb der dezentralen Anlagen, und zum anderen um die Kosten einer ggf. verbleibenden zentralen Infrastruktur, die aufgrund der dezentralen Maßnahmen in entsprechend geringerem Maße bzw. lediglich noch für "Überläufe" in Überlastungsfällen genutzt wird.

¹⁰² Ähnlich § 47 Abs. 3 WG NW.

¹⁰³ Führend insoweit § 48 ThürWG; auch § 47 Abs. 1 WG NW.

¹⁰⁴ Vgl. die Ansätze in § 67 BbgWG, § 47 Abs. 3 WG NW; § 51 Abs. 3 SWG; § 31 WasG SH.

¹⁰⁵ Umfassend *Wickel*, a.a.O.

¹⁰⁶ Die interne Zuweisung dieser Aufgabe wäre wegen Art. 84 Abs. 1 Satz 7 GG den Ländern zu überlassen.

¹⁰⁷ Dazu nunmehr DWA 119, S. 20 ff., vgl. auch *Sieker*, 2019.

Zentrales Kriterium der Kostenzuweisung ist allgemein das **Verursacher- bzw. das Vorteils- und Beanspruchungsprinzip**. Das bedeutet namentlich, dass derjenige die Kosten tragen soll, der die Maßnahmen entweder durch sein Handeln zurechenbar veranlasst, oder aus der Beanspruchung einer öffentlichen Leistung einen spezifischen, zurechenbaren Vorteil zieht. An diesen Prinzipien soll die Kostenallokation für „Wasserdienstleistungen“ (einschl. der Niederschlags- und Abwasserbeseitigung) gemäß Art. 9 WRRL und § 6 WHG ausgerichtet werden, und diese Zurechnungskriterien liegen auch dem oben dargestellten Pflichtenprogramm und den tradierten Refinanzierungsinstrumenten der Abwassergebühr, Abwasserabgabe und Anschlussbeiträge zugrunde.

Die Kosten der zentralen Abwasserinfrastruktur werden dem Verursacher- und Vorteilsprinzip entsprechend so zugeordnet, dass die **Grundstückseigentümer** die Kosten der Entwässerungsinfrastruktur proportional zur Inanspruchnahme tragen müssen. In Bezug auf öffentliche Straßen und Plätze sind i.d.R. die **Straßenbaulastträger** verantwortlich. Die Kostenanlastung gemäß Inanspruchnahme erfolgt in Bezug auf die Niederschlagsentwässerung mittels der sog. gesplitteten Abwassergebühr und am Maßstab der zu entwässernden versiegelten Flächen.¹⁰⁸ Die **gesplittete Abwassergebühr** schafft Anreize zur Entsiegelung von Flächen und dezentralen Bewirtschaftung des Niederschlagswassers – abhängig von der Höhe der Niederschlagswassergebühr. Weitere Kostenanreize entstehen dann, wenn das Niederschlagswasser für Beregnungszwecke verwendet und entsprechende Frischwasserkosten eingespart werden können.

6.3.14.2 Gebührenmaßstab: von der versiegelten Fläche zum Eigenbeseitigungsnachweis

Der Versiegelungsmaßstab spiegelt allerdings nicht die tatsächliche Beseitigungskapazität des Grundstücks, die erheblich auch durch die Gestaltung von Versickerungs- und Retentionsflächen sowie unterirdische **Anlagen zur Speicherung und Versickerung** bestimmt wird. Vorzugswürdig ist deshalb eine Gebührengestaltung, bei der auf Nachweis weiterer Eigenbeseitigungskapazitäten die Niederschlagsgebühr über den Flächenmaßstab hinaus reduziert wird.

Einige Bundesländer erlauben es durch ihr Kommunalabgabengesetz den Gemeinden ausdrücklich, die Gebühren so zu bemessen, dass sie einen **Anreiz zu umweltschonendem Verhalten** bieten, wenn die refinanzierten Einrichtungen auch dem Schutz der natürlichen Lebensgrundlagen dienen (§ 7 Abs. 1 S. 4 KAG RP; § 6 Abs. 3 S. 3 KAG SL; § 5 Abs. 3a S. 1 KAG LSA). Auch das sächsische Kommunalabgabengesetz (KAG) ermöglicht es, umwelt- und rohstoffschonende Lenkungsziele bei der Gebührenbemessung erhöhend oder ermäßigend zu berücksichtigen (§ 14 Abs. 2 S. 1 Hs. 1 KAG SN). Eine Gebührenbemessung, die die nachgewiesene Eigenbeseitigungskapazität in Abzug bringt, ist daher jedenfalls zulässig. Eine explizite gesetzliche Verpflichtung dazu besteht jedoch nirgends.

Eine **verfassungsrechtliche Pflicht** zur Berücksichtigung solcher Nachweise könnte unter Umständen aber aus den allgemeinen Bemessungsgrundsätzen folgen, die die Rechtsprechung aus dem Verhältnismäßigkeitsprinzip abgeleitet hat. Die Rechtsprechung verlangt nämlich, dass der Gebührenmaßstab so weit an die tatsächliche Beanspruchung „herangeführt“ werden muss, wie dies mit verhältnismäßigem Mehraufwand (Messung, Verwaltung, Abrechnung etc.) umgesetzt werden kann. In dieser Frage hat zwar die Rechtsprechung stets großzügige **Typisierungsspielräume** eingeräumt. Mit Blick auf die zunehmende Bedeutung der Nachhaltigkeitsziele und die gesetzlichen Prioritäten zur dezentralen

¹⁰⁸ Die früher oft praktizierte Einheitsgebühr nach Frischwassermaßstab ist von der Rechtsprechung für den Regelfall als rechtswidrig verworfen worden, und zwar gerade aus dem Grund, dass darin kein zur Beanspruchung proportionaler Gebührenmaßstab liege. Vgl. VGH BW, Urt. v. 11.3.2010,...

Niederschlagsbewirtschaftung spricht indes Einiges dafür, den Mehraufwand eines Eigenbewirtschaftungsnachweises als i.S. der Gebührengerechtigkeit verhältnismäßig und erforderlich einzustufen. Freilich bleibt die Frage, in welchem Umfang eine verbleibende Residualinfrastruktur angerechnet werden kann.

6.3.14.3 Berücksichtigung Anlastung residualer Kanalinfrastrukturen

Wenn Grundstücke zu „Schwamm Liegenschaften“ umgerüstet werden, von denen im Regelfall kein Niederschlagswasser mehr abfließt, wird oftmals gleichwohl eine residuale öffentliche Kanalentwässerung verbleiben müssen, um auch bei extremen Niederschlagsereignissen eine geordnete Ableitung zu gewährleisten. Dies führt zu der Frage, ob und inwieweit die betreffenden Grundstücke zu Niederschlagsgebühren herangezogen werden können, um zumindest die Vorhaltekosten der öffentlichen Residualinfrastruktur zu decken – die wegen des hohen Fixkostenanteils allerdings bei 90% der Vollkosten liegen. Diese Frage des „Ob“ ist nach Maßgabe der o.g. Gebührenmaßstäbe grundsätzlich zu bejahen. Hinsichtlich des „Inwieweit“ ist i.S.d. vorstehend erörterten Maßstäben zunächst daran zu denken, auf die spezifischen Rückhaltekapazitäten des jeweiligen Grundstücks (auf der Grundlage eines Eigenbewirtschaftungsnachweises) abzustellen. Im Falle der **Neuerschließung** von Baugebieten dürfte einer solchen spezifischen Anlastung nichts im Wege stehen, weil die neu zu errichtende öffentliche Kanalinfrastruktur auch spezifisch für die Auffangzwecke ausgelegt werden kann.

In **Bestandslagen** kann eine spezifische Anlastung allerdings dazu führen, dass die Kosten der verbleibenden Altinfrastruktur zunehmend bei denjenigen Grundstückseigentümern anzulasten sind, die keine Abkoppelungsmaßnahmen treffen bzw. treffen können. Wegen des hohen Fixkostenanteils der Entwässerungsleistung dürfte dieser – wesentlich auf die Betriebskosten begrenzte Effekt – allerdings eher gering ausfallen. Im Übrigen ist zu berücksichtigen, dass ein Zweck der öffentlichen Aufgabenverantwortung gerade auch darin liegen kann, elementare Ver- und Entsorgungsleistungen flächendeckend zu gleichmäßig erschwinglichen Kosten bereitzustellen und dass dieser Zweck in gewissem Grade auch eine solidarische Kosten(um)verteilung zwischen den Anschlussnehmern rechtfertigen kann.

6.3.14.4 Kosten privater Anlagen zur Niederschlagseigenbewirtschaftung

Die Gebührenersparnisse reichen insgesamt i.d.R. nicht aus- um auch **aufwändigere Baumaßnahmen** z.B. für die Errichtung von Gründächern oder Mulden-Rigolen-Systemen zeitnah zu amortisieren. Insofern bleiben Kostenlasten beim Grundstückseigentümer, die jedoch grundsätzlich aus dem **Verursacherprinzip** gerechtfertigt werden können, weil der Eigentümer durch seine Grundstücknutzung die Bewirtschaftung des auf dem Grundstück anfallenden Niederschlagswassers notwendig macht.

In Bezug auf **Neubauprojekte** kann insbes. über die **naturschutzrechtliche Eingriffsregelung** abgesichert werden, dass die durch Bebauung erfolgenden Eingriffe in den örtlichen Naturhaushalt auch hinsichtlich der Entwässerungsfunktion auszugleichen sind und dass die Kosten dafür durch den Eigentümer zu tragen sind. Namentlich kommt in Betracht, die Errichtung eines Gründaches als Ausgleich für die Versiegelungseffekte einer Grundstücksbebauung anzuordnen bzw. im Bebauungsplan festzusetzen.

In Bezug auf **bestehende Gebäude** findet die Eingriffsregelung keine Anwendung. Wie oben dargelegt, kommt gleichwohl eine entschädigungsfreie Verpflichtung der Grundstückseigentümer zur Niederschlagseigenbeseitigung in Betracht, wenn die Gemeinde das Grundstück auf der Grundlage der oben dargestellten rechtlichen Möglichkeiten zulässigerweise von der öffentlichen Niederschlagsbeseitigung ausschließt. Soweit dem Grundstückseigentümer dadurch die Eigenbewirtschaftung des Niederschlagswassers aufgegeben ist, hat er grundsätzlich auch

die Kosten der dafür erforderlichen Maßnahmen (Retention, Speicherung, Versickerung und ggf. Verwertung) zu tragen. Ein entsprechender Rückzug der Gemeinde aus ihrer Abwasserbeseitigungspflicht muss jedoch den Rahmen der **Verhältnismäßigkeit** wahren, gerade auch mit Blick auf den Aufwand, der den Grundstückseigentümern für die entwässerungstechnische Ertüchtigung ihrer Grundstücke zugemutet wird. Für die Verhältnismäßigkeit dieses Aufwands kommt es nicht nur darauf an, welche Kosten auf Seiten der zentralen Strukturen eingespart werden, sondern v.a. auch darauf, welche positiven (externen) Effekte durch die Eigenbeseitigung für Überflutungsschutz, Gewässerschutz, Wasserhaushalt, Stadtklima etc. erreicht werden. Ob und inwieweit diese Effekte die Kosten privater Abkopplungsmaßnahmen rechtfertigen können, ist zweifellos in erheblichem Maße eine Gewichtungsfrage. Jedenfalls setzt diese aber voraus, dass die Kosten und voraussichtlichen positiven Effekte hinreichend ermittelt werden, und dies wird in aller Regel **nicht ohne eine qualifizierte Infrastrukturplanung** gelingen können.

Sofern die Ertüchtigung der privaten Grundstücke über den Weg einer **städtebaulichen Sanierungs- bzw. Stadtumbaumaßnahme** erfolgen soll, kommen die oben (6.3.12.3) dargelegten bauplanungsrechtliche Festsetzungen iVm Bau- und Pflanzgeboten in Betracht, die indessen entschädigungspflichtig sein können.

6.3.14.5 Förderung der dezentralen Niederschlagsbewirtschaftung aus dem Gebührenhaushalt

Eine Förderung der privaten Niederschlagseigenbewirtschaftung kann in vielen Fällen technisch und ökonomisch sinnvoll sein, um die dezentrale Niederschlagsbewirtschaftung voranzutreiben, Akzeptanz zu gewinnen und u.U. höhere Ausgaben für die Kanalinfrasturktur zu vermeiden. Daher stellt sich die Frage, ob entsprechende Subventionen auch aus dem Aufkommen der Abwassergebühr bereitgestellt werden und auch in den Gebührenhaushalt bemessungsrelevant eingestellt werden dürfen. Dies ist wohl zu verneinen, weil es sich bei den Zuschüssen zu privaten Maßnahmen nicht um ansatzfähige Kosten der kommunalen Entwässerungsleistung handelt.

Auf dieses „Subventionshemmnis“ hat bisher nur der Landesgesetzgeber in Baden-Württemberg reagiert und mit § 17 Abs. 2 KAG BW eine Regelung geschaffen, die es ermöglicht, Investitionszuschüsse an Dritte für Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung als ansatzfähige Kosten auf die Niederschlagsgebühren umzulegen. Voraussetzung dafür ist, dass dadurch Investitionskosten für die öffentliche Abwasserbeseitigung gemindert werden, was die Gemeinde nachweisen muss.¹⁰⁹

6.3.14.6 Kostenrechnung bei multifunktionalen „blau-grünen“ Anlagen im öffentlichen Raum

Öffentliche Verkehrsflächen: können z.T. mit geringem Aufwand so umgestaltet werden, dass auf ihnen in erhöhtem Maße Niederschlagswasser aufgenommen, zurückgehalten oder abgeleitet werden kann. Die Zuordnung der Kosten kann sich allerdings schwierig gestalten, wenn – wie oft der Fall - die Maßnahmen und Kosten sowohl der Wegefunktion als auch der Entwässerungsfunktion als auch der städtischen Grüninfrastruktur zugerechnet werden können. Die rechtlichen Anforderungen beschränken sich hier darauf, dass überhaupt Kosten der

¹⁰⁹ Gössl, 2016, in: Gössl/Reif, PdK KAG BW, § 17 Nr. 1.3.3

multifunktionalen Anlage bei der Niederschlagsgebühr angesetzt werden. Im Übrigen soll den Gemeinden ein weites Ermessen darüber zustehen, wie sie ansatzfähigen Kosten aufteilen.¹¹⁰

Auch bei der Nutzung bzw. Ertüchtigung von **öffentlichen Grünflächen** für Zwecke der Niederschlagsretention und Versickerung entstehen erhebliche Überschneidungsbereiche zwischen den „blauen“ und den „grünen“ Funktionen der Flächen, die es haushalts- und gebührenrechtlich abzugrenzen gilt. Bauliche Eingriffe, die der Ertüchtigung für „blaue“ Zwecke dienen, sind dabei prinzipiell dem Abwassergebührenhaushalt zuzuschlagen. Sofern dadurch allerdings auch „grüne“ Funktionen verstärkt werden, kommt eine Kostenteilung in Betracht und wiederum müssen insoweit Ermessensspielräume anerkannt werden. Die Praxis zeigt indes, dass die mit den Überschneidungsbereichen verbundenen Unsicherheiten über die Gebührenfähigkeit der Maßnahmen oftmals zu einem bedeutenden Realisierungshindernis werden. Insofern wären einheitliche, z.B. in einem Leitfaden zu entwickelnde Maßstäbe sicherlich hilfreich, und diese gilt in besonderem Maße auch für den Betrieb und die Unterhaltung der blau-grünen Anlagen.

6.4 Schmutzwasser

Wie in Kapitel 4 dargelegt, stehen heute verschiedene Technologien zur Verfügung, um auch das Schmutzwasser, bzw. Teilströme des Schmutzwassers semizentral oder dezentral zu behandeln und einer Wiederverwendung im lokalen Wasserhaushalt zuzuführen. In Kapitel 4 sind folgende Szenarien näher untersucht worden:

Szenario 1: Semizentrale „Stadtteil-Kläranlage“

a) Die Behandlung von Schmutz- und Straßenabwasser erfolgt in einer semizentralen Kläranlage in einer Weise, die den Anforderungen der AbwV entspricht und es ermöglicht, das gereinigte Abwasser für Gebrauchszwecke mit geringen Anforderungen an die Wasserqualität zu nutzen, v.a. zu Zwecken der Kanalspülung und Straßenreinigung.

b) Die Behandlung erfolgt wie unter 1, jedoch mit einer Membranfiltration anstelle der Nachklärung. Dies führt zu einer höheren Reinigungsqualität und u.U. der Möglichkeit, das gereinigte Abwasser auch zu Bewässerungszwecken einzusetzen.

Szenario 2: Grau- und Schwarzwasserrecycling in semizentraler Kläranlage

a) Das Grauwasser wird vom Schwarzwasser getrennt gesammelt und zusammen mit Straßenabwasser in einer semizentralen Kläranlage so behandelt, dass es lokal versickert und zu Bewässerungszwecken verwendet werden kann. Das Schwarzwasser wird zur Rückgewinnung von Energie und Nährstoffen genutzt.

b) Die Variante 2a wird dahin erweitert, dass Bioabfälle mit dem Schwarzwasser gesammelt und einer Verwertung zugeführt werden. Das setzt voraus, dass die Abfälle in den Haushalten entsprechend zerkleinert und dem Abwasser zugegeben werden.

Szenario 3: Grauwasserrecycling auf Haus- oder Blockebene

Das Grauwasser wird vom Schwarzwasser getrennt gesammelt und in kleinen Anlagen auf Haus- oder Blockebene so gereinigt, dass es für Zwecke der Bewässerung eingesetzt werden kann.

Im Folgenden werden die rechtlichen Realisierungsbedingungen für diese Szenarien betrachtet, und zwar wiederum aus dem Blickwinkel fortschrittlicher Gemeinden, die solche innovativen

¹¹⁰ So für die Aufteilung der Kosten einer Mischkanalisation auf die Schmutz- und Niederschlagswassergebühr: OVG Münster, Beschl. v. 24.8.2016 - 9 A 777/15, (Rn. 10)

Lösungen in ihrem Gemeindegebiet vorantreiben wollen. Die Betrachtung fokussiert außerdem – der Perspektive dieser Studie entsprechend – auf die Umsetzung im **Gebäudebestand**. Insoweit stellen sich in erster Linie die folgenden **rechtlichen Umsetzungsfragen**:

- (1) Ist die dezentrale Beseitigung von Schmutzwasser mit den gesetzlichen Vorgaben zur Struktur der Abwasserentsorgung vereinbar?
- (2) Inwieweit kann die öffentliche Zuständigkeit für die Schmutzwasserbeseitigung auf private Grundeigentümer übertragen und können diese von der Abwasserüberlassungspflicht freigestellt werden, um auf ihrem Grundstück anfallendes Grauwasser selbst zu behandeln und zu verwerten?
- (3) Wie können die Gemeinden die in den Szenarien dargestellten Entwicklungsoptionen planen und durchsetzen?
- (4) Welche Anforderungen sind rechtlich an die Reinigung des Schmutzwassers bzw. Qualität des Anlagenablaufes zu stellen, wenn es für die o.g. Zwecke „verwertet“ werden soll?
- (5) Können Grundeigentümer in Bezug auf Neubauten/Gebäudebestand dazu verpflichtet werden, Maßnahmen zur getrennten Grauwassererfassung, -ableitung und ggf. -behandlung zu treffen?
- (6) Können Grundeigentümer dazu verpflichtet werden, die erforderlichen technischen Maßnahmen zur Entsorgung der Bioabfälle über das Schwarzwasser zu treffen?
- (7) Ist diese Art der Bioabfallentsorgung mit dem geltenden Abfallrecht vereinbar?
- (8) Können die erheblichen zusätzlichen Kosten, die die semizentralen Abwasserverwertungsoptionen mit sich bringen würden, durch Abwassergebühr nur auf die betreffenden Anschlussnehmer oder auch auf alle Anschlussnehmer der Gemeinde umgelegt werden?

6.4.1 Generelle Zulässigkeit einer dezentralen Schmutzwasserbeseitigung

Die Frage, ob eine dezentrale Beseitigung des Schmutzwassers – durch die Gemeinde oder die Grundeigentümer selbst – innerhalb des Quartiers rechtlich überhaupt in Betracht kommt, wird in **§ 55 Abs. 1 WHG** grundlegend wie folgt beantwortet:

„Abwasser ist so zu beseitigen, dass das Wohl der Allgemeinheit nicht beeinträchtigt wird. Dem Wohl der Allgemeinheit kann auch die Beseitigung von häuslichem Abwasser durch dezentrale Anlagen entsprechen.“

Entscheidend ist insoweit der Nachweis, dass die dezentrale Lösung dem „**Wohl der Allgemeinheit**“ entspricht. Aus dieser Bedingung ergibt sich zunächst ein besonderes Prüfungs- bzw. Darlegungserfordernis: Nach Auffassung des BVerwG ist die o.g. Bestimmung so zu verstehen, dass die Vereinbarkeit der dezentralen Abwasserbeseitigung mit dem „Wohl der Allgemeinheit“ nicht allgemein vorausgesetzt werden darf, sondern durch eine Einzelfallprüfung konkret nachgewiesen werden muss.¹¹¹ Eine Entwässerungssatzung, die für ein größeres Gemeindegebiet ohne nähere Prüfung eine Abwasserbeseitigung durch Kleinkläranlagen anordnet, sei deshalb mit § 55 WHG nicht vereinbar. Gemeinden, die z.B. ein Quartier auf dezentrale Verfahren umstellen wollen, müssen daher – durch eine hinreichend detaillierte

¹¹¹ BVerwG, Beschluss v. 12.02.2019 – 7 BN 2.18, Vorinstanz: OVG Magdeburg, Urteil v. 20.12.2017 – 2 K 105/15.

Abwasserbeseitigungsplanung – konkret darlegen, wie und weshalb dadurch dem Wohl der Allgemeinheit entsprochen wird.¹¹²

Inhaltlich umfasst das „Wohl der Allgemeinheit“ alle relevanten Belange der Wasserwirtschaft einschließlich insb. der Siedlungshygiene und des ökologischen Gewässerschutzes. In Bezug auf den Gewässerschutz wird das „Wohl der Allgemeinheit“ jedenfalls dann gewahrt, wenn die vorgesehenen dezentralen Verfahren nach dem jeweils einzuhaltenden Stand der Technik eine vergleichbare oder sogar stärkere Minimierung der Schadstoffeinträge gewährleisten als die alternativen zentralen Systemlösungen. Zwar fordert § 55 Abs. 1 Satz 2 WHG nicht ausdrücklich, dass die dezentralen Anlagen eine mindestens gleiche Minimierung der Schadstoffeinträge erreichen müssen, wie alternative zentrale Lösungen. Diese Bedingung folgt jedoch für Gemeinden mit mehr als 2000 EW aus Art. 3 der Kommunalabwasserrichtlinie. Danach gilt:

„Ist die Einrichtung einer Kanalisation nicht gerechtfertigt, weil sie entweder keinen Nutzen für die Umwelt mit sich bringen würde oder mit übermäßigen Kosten verbunden wäre, so sind individuelle Systeme oder andere geeignete Maßnahmen erforderlich, die das gleiche Umweltschutzniveau gewährleisten.“

Mit dieser Ausnahme zur Kanalanbindungspflicht ist – wie auch bei § 55 Abs. 1 Satz 2 WHG – in erster Linie an dezentrale Lagen gedacht worden, deren Anschluss an die zentrale Kanalisation unverhältnismäßig aufwändig erscheint. Die hier in Rede stehenden fortschrittlichen Methoden einer (partiellen) Schmutzwasseraufbereitung hatten diese bereits Jahrzehnte alten Regelungen noch nicht vor Augen.

Das schießt jedoch nicht aus, sie auch auf diese neuen Ansätze und insoweit auch innerhalb geschlossener Siedlungszusammenhänge anzuwenden. Bedingung ist allerdings in jedem Fall der konkrete Nachweis, dass die dezentralen Lösungen im Vergleich zur zentralen Entsorgung ein **gleichwertiges Umweltschutzniveau** erreichen. Dies erscheint mit Blick auf die verfügbaren Technologien durchaus möglich, zumal mit dem gleichwertigen „Umweltschutzniveau“ nicht allein auf die Beiträge zum Gewässerschutz und zur Siedlungshygiene abgestellt wird, sondern umfassender und i.S. eines integrierten Umweltschutzes auch auf Entlastungseffekte für den örtlichen Wasserhaushalt und die Wasserversorgung sowie ggf. Beiträge zu Ressourcenschutz und Energieeffizienz.¹¹³

Freilich hängt die Frage der **ökologischen Gleichwertigkeit** auch davon ab, welcher Schutz- bzw. Emissionsstandard seitens der zentralen Systeme zugrunde zu legen ist. Durch die KomAbwRL dürften keine strengeren Maßstäbe gefordert sein als die in der Richtlinie selbst bestimmten eher niedrigen Emissionsstandards. Wünschenswert wäre demgegenüber, dass die Gemeinden ihre Infrastrukturentscheidung unter beiderseitiger Berücksichtigung der jeweils neusten verfügbaren Technikstands entwickeln und im Vergleich zentraler und dezentraler Optionen auch die fortschrittlichen Möglichkeiten einer 4. Reinigungsstufe einbeziehen. Eine

¹¹² So dürfte auch das Urteil des OVG Münster vom 12.03.2013 – 20 A 1564/10, ZUR 2013, 548, 550 zu verstehen sein, mit dem das OVG letztlich entschied, dass es grundsätzlich nicht dem Wohl der Allgemeinheit entsprechen soll, wenn Gemeinden geschlossene Ortsteile mit dezentralen Anlagen entwässern. Diese Entscheidung bezieht sich nämlich auf einen Fall, in dem anstelle eines zentralen Systems schlechterdings auf herkömmliche Klein- und Grundstückskläranlagen gesetzt werden sollte. Dazu hat das OVG überzeugend argumentiert, dass mit einer dem Stand der Technik entsprechenden zentralen Abwasserbehandlung für das betreffende Einzugsgebiet eine wesentlich höhere Reinigungsleistung zu erreichen sei. Genau besehen war für das Gericht daher gar nicht entscheidend, dass „ein ganzer Ortsteil“ auf dezentrale Abwasserbeseitigung umgestellt werden sollte. Vielmehr kam es ihm darauf an, dass die Art der vorgesehenen dezentralen Beseitigung der zentralen Beseitigung kein gleichwertiges Umweltschutzniveau gewährleisten konnte.

¹¹³ Zum Umfang des „Wohls der Allgemeinheit“ und zur Einbeziehung anderer als wasserwirtschaftlicher Belange i.e.S. vgl. *Czychowski/Reinhardt*, WHG- Kommentar, 12. Aufl., 2019, § 6 Rn. 30 ff.

konstruktive gesetzliche Rahmung der Infrastrukturentwicklung sollte künftig gewährleisten, dass entsprechende (Vergleichs-)Prüfungen im Rahmen kommunaler Entwässerungsplanung erfolgen (s.o. 1.3.13), und dass auf diese Weise ggf. auch in Bezug auf die städtische Schmutzwasserbeseitigung eine tragfähige Begründungsgrundlage für dezentrale Bewirtschaftungsmaßnahmen im städtischen Bereich geschaffen werden kann.

Für das geltende Recht ist indes festzuhalten: Wenn eine Gemeinde konkret aufzeigt, dass sich bestimmte dezentrale Lösungen mit Blick auf Stadthygiene, Umweltschutz und Wirtschaftlichkeit als vorteilhaft erweisen, ist sie durch § 55 Abs. 1 WHG und die KomAbwRL nicht daran gehindert, diese Lösungen auch innerhalb von Ortschaften und Quartieren zu realisieren (s. aber die Probleme des Bestandsschutzes, u. 1.4.5).

Weitergehende Einschränkungen ergeben sich mitunter aus landesrechtlichen Bestimmungen zur Umsetzung der KomAbwRL. So hat das Land NRW in § 4 Abs. 2 und 2a seiner KomAbwV¹¹⁴ die o.g. Ausnahme zur Kanalanbindungspflicht gem. Art 3 KomAbwRL dahin beschränkt, dass sie sich **nur auf Grundstücke bezieht, die „außerhalb im Zusammenhang bebauter Ortsteile“** liegen. Innerhalb solcher Ortsteile kommt in NRW schon deshalb keine dezentrale Schmutzwasserbeseitigung in Betracht.¹¹⁵ Andere Länder haben sich an die offenere Bestimmung der KomAbwRL gehalten. Die KomAbwVen Niedersachsens, Sachsens und Mecklenburg-Vorpommerns, sehen dahingehend die folgende Regelung vor (jeweils § 3 Abs. 2):¹¹⁶

„Ist die Einrichtung einer Kanalisation nicht gerechtfertigt, weil sie entweder keinen Nutzen für die Umwelt mit sich bringen würde oder mit übermäßigen Kosten verbunden wäre, so sind individuelle Systeme oder andere geeignete Maßnahmen erforderlich, die das gleiche Umweltschutzniveau gewährleisten.“

Mit „individuellen Systemen“ sind nicht notwendigerweise solche der Eigenbewirtschaftung durch den Grundeigentümer gemeint. Die Zulässigkeit einer Eigenbeseitigung hängt rechtlich auch davon ab, ob die Bestimmungen über die Abwasserentsorgungszuständigkeit eine entsprechende – Übertragung der – Zuständigkeit vorsehen bzw. zulassen.

6.4.2 Zulässigkeit der Schmutzwasser-Eigenbewirtschaftung durch private Grundeigentümer

Alle Bundesländer sehen die Möglichkeit einer dezentralen Abwasser-Eigenbewirtschaftung durch die Grundeigentümer bzw. Nutzungsberechtigte von Grundstücken vor,¹¹⁷ beschränken diese aber überwiegend auf dezentrale Lagen außerhalb zusammenhängend bebauter Ortsteile¹¹⁸ oder – diese im Auge habend – auf Situationen, in denen ein Kanalanschluss – ggf. auch an den sog. „rollenden Kanal“ – mit unverhältnismäßigen Kosten verbunden wäre.¹¹⁹

Der **Ausnamegrund der „unverhältnismäßig hohe Kosten“** kommt zur Rechtfertigung einer Eigenbeseitigung innerhalb zusammenhängender Ortsteile kaum in Betracht, weil die

¹¹⁴ Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 91/271/EWG des Rates vom 21. Mai 1991 über die Behandlung von kommunalem Abwasser - Nordrhein-Westfalen - vom 30. September 1997, GV.NRW. 1997 S. 372; 20.06.2001 S. 454.

¹¹⁵ S. aber zur Vereinbarkeit dieser Verordnung mit der gesetzlichen Ermächtigungsgrundlage das Urteil des OVG Münster v. 12.03.2013, a.a.O.

¹¹⁶ Gleichbedeutend § 4 Abs. 2 KomAbwV Bbg,

¹¹⁷ § 96 Abs. 4 NWG,

¹¹⁸ § 49 Abs. 5 LWG NRW; Art. 34 Abs. 2 Nr. 2 BayWG

¹¹⁹ § 46 Abs. 4 Satz 2 LWG BW; § 47 Abs. 11 Thrg. WG; Art. 34 Abs. 2 Nr. 3 BayWG; § 50 Abs. 5 Sächs.LWG; § 103 Abs. 1 Satz 3 WG SH

entsprechenden Optionen einer getrennten Erfassung, Behandlung und Verwertung – wie in Kapitel 5 dargelegt wird – i.d.R. einen höheren Kostenaufwand mit sich bringen als die zentrale Beseitigung (Szenario 0).

Weiterreichende Ausnahme- bzw. Übertragungsmöglichkeiten, die u.U. auch eine Grundstücks-Eigenbeseitigung innerhalb zusammenhängender Ortslagen ermöglichen, sehen die Wassergesetze der Länder **Bayern, Baden-Württemberg und Mecklenburg-Vorpommern** vor:

- Nach Art. 34 BayWG können „Gemeinden oder Zweckverbände bestimmen, dass die Übernahme des Abwassers abgelehnt werden darf, (1.) wenn das Abwasser wegen seiner Art oder Menge besser von demjenigen behandelt wird, bei dem es anfällt.“
- § 46 Abs. 5 WG BW erlaubt es den Gemeinden über die Fälle des Abs. 4 hinaus, „in Einzelfällen Ausnahmen von der Überlassungspflicht (auch in Bezug auf Schmutzwasser) zuzulassen, wenn dies wasserwirtschaftlich unbedenklich ist“.
- Gem. § 40 Abs. 3 Nr. 4 WG MP entfällt die kommunale Abwasserbeseitigung und Überlassung allgemein auch für „Abwasser, das noch weiter verwendet werden soll“.

Nur die Bayerische Regelung ermächtigt die zuständigen Gemeinden und Verbänden dazu, Schmutzwasser ggf. auch gegen den Willen des Grundstückseigentümers aus der öffentlichen Entsorgung auszuschließen mit der Folge, dass er es selbst zu beseitigen hat. Die baden-württembergische Regelung setzt voraus, dass die betreffenden Grundstücksnutzer eine Eigenbeseitigung vornehmen wollen, und die Regelung Mecklenburg-Vorpommerns hebt auf eine Verwendungsabsicht oder -pflicht ab, wobei eine gesetzliche Verwendungspflicht nicht bestimmt wird.

Festzuhalten ist, dass das geltende Recht die zuständigen Gemeinden und/oder Wasserbehörden nur sehr vereinzelt und begrenzt dazu ermächtigt, auch innerorts auf eine dezentrale Schmutzwasserbeseitigung bzw. -verwertung umzustellen. Wünschenswert wäre deshalb eine, „proaktive“ Regelung, die eine (partielle) Eigenbeseitigung insb. des Schmutzwassers explizit zulässt, wenn

- jedenfalls der Schutz der Gewässer sowie sonstigen Umwelt und Gesundheit gleichwertig gewährleistet wird
- gewichtige Vorteile für den örtlichen Wasserhaushalt zu erwarten sind und
- daraus keine unzumutbaren Belastungen für die betroffenen Grundstücksnutzer/-eigentümer resultieren (dazu noch unten 1.4.6).

6.4.3 Abwasserrechtliche Anforderungen an die Reinigungsleistung einer „Quartiers-Kläranlage“ im Falle der Einleitung in einen Vorfluter

Die abwasserrechtlichen Anforderungen an die Reinigungsleistung von Quartierskläranlagen i.S.d. Szenarios 1 ergeben sich **emissionsseitig** aus den einschlägigen Bestimmungen und Grenzwerten der **Abwasserverordnung** und namentlich deren Anhang I. Der Anhang unterscheidet bekanntlich 5 Anlagegrößenklassen und differenziert die Anforderungen dahingehend, dass die Frachtbegrenzungen mit der Größenklasse zunehmen. Dies gilt ab Klasse 1 für CSB und BSB. Für Ammoniumstickstoff werden Grenzwerte erst ab Größenklasse 3 und für Gesamt-Stickstoff und Phosphor ab Größenklasse 4 bestimmt.

Diese Differenzierung und „Privilegierung“ kleinerer Anlagen kann bei einer Umstellung auf Quartiers-Kläranlagen dazu führen, dass in der **Summe** eine höhere Schadstofffracht in die Gewässer emittiert wird. Eine emissionsseitige Pflicht, die Gesamtbelastung aus mehreren Kläranlagen zu minimieren, bestimmt das Abwasserrecht jedoch nicht. Insoweit haben die Aufgabenträger einen **Gestaltungsspielraum**, den sie i.S. eines integrierten Umweltschutzes auch dazu nutzen können, „auf Kosten“ einer erhöhten Gesamtemission andere Ziele der Siedlungswasserwirtschaft und des Umwelt- und Ressourcenschutzes zu fördern. Dieser Gestaltungsspielraum endet jedoch **immissionsseitig** an den oben dargelegten Anforderungsgrenzen der Gewässerqualitätsziele gem. § 27 WHG bzw. Art. 4 WRRL. Bei einer Umstrukturierung der Abwasserbeseitigung auf kleinere Quartiersanlagen ist mithin auszuschließen, dass es infolge geringerer Reinigungsleistung insgesamt zu einer Verschlechterung des chemischen oder ökologischen Gewässerzustands kommt oder die geforderte Verbesserung zum guten chemischen Zustand und guten ökologischen Zustand bzw. guten ökologischen Potenzial gefährdet wird.

6.4.4 Anforderungen an die Verwendung behandelten Abwassers zu Bewässerungszwecken

Den Verfassern ist aus Deutschland bisher kein Fall bekannt, dass behandeltes Schmutzwasser zur Bewässerung städtischer Grünflächen verwendet wird. Sehr vereinzelt und wird bereits eine Verwendung gereinigten Abwassers zu Zwecken der landwirtschaftlichen Bewässerung erprobt, so z.B. in Wolfsburg.¹²⁰ In vielen südlicheren Ländern ist demgegenüber die Verwendung von gereinigtem Abwasser zu Bewässerungszwecken insb. in der Landwirtschaft eine lange geübte Praxis. Einige Länder haben dazu auch spezifische rechtliche Anforderungen erlassen. Eine Auswertung dieser ausländischen Regelungen findet allerdings in der vorliegenden Studie keinen Platz und muss weiterführenden Untersuchungen vorbehalten bleiben.

Tabelle 23: Most representative standards on water reuse from EU Member States (IMPEL, 2018)

<i>Land</i>	<i>Norm</i>
Zypern	Law 106(I) 2020 KDP 772/2003, KDP 269/2005: Water and Soil pollution control and associated regulation
Frankreich	JORF No. 0153, 4 July 2014: Order related to the use of water from treated urban wastewater for irrigation of crops and green areas
Griechenland	CMD No. 145116, Measures, limits and procedures for reuse of treated wastewater
Italien	DM 185/2003: Technical measures for reuse of reclaimed water for irrigation
Portugal	NP 4434 2005: Reuse of reclaimed urban water for irrigation
Spanien	RD 1620/2007: Legal Framework for the reuse of treated wastewater

Auch auf international sind von verschiedenen einschlägigen Organisationen Leitlinien zur Verwendung von Abwasser zu Bewässerungszwecken entwickelt worden (unten Tabelle 24) Auch diese internationalen Standards können hier nicht ausgewertet werden. Es handelt sich ausschließlich um empfehlende und keine (völker-)rechtsverbindlichen Normen.

Tabelle 24: Internationale Empfehlungen zur Verwendung von Abwasser zu Bewässerungszwecken (nach IMPEL, 2018)

WHO	Guidelines for the safe use of wastewater excreta and greywater, 2006
-----	---

¹²⁰ Siehe das sog. „Wolfsburger Modell“ der Stadt Wolfsburg und Wolfsburger Entwässerungsbetriebe: <https://www.wolfsburg.de/newsroom/2015/02/11/17/44/web-wolfsburger-modell>.

UNEP	Guidelines for municipal wastewater reuse in the Mediterranean region, 2005 Development of performance indicators for the operation and maintenance of wastewater treatment plants and wastewater reuse, 2011
ISO	ISO/TC282 Water reuse
FAO	Water quality for agriculture, 1994

In Deutschland existieren bisher keine spezifischen Regelungen zur Verwendung von Abwasser für *urbane* Bewässerungszwecke. Die Zulässigkeit einer solchen Verwendung ist daher nach den oben dargelegten allgemeinen Anforderungen des Abwasserrechts sowie Grundwasser- und Bodenschutzes zu beurteilen, die in der folgenden Tabelle (Tabelle 25) nochmals überblicksweise dargestellt sind.

Tabelle 25: Gesetzliche Anforderungen an die Umweltverträglichkeit einer Abwasserwiederverwendung zum Zweck der urbanen Bewässerung

Abwasserrecht	<p>§ 55 WHG: Wohl der Allgemeinheit darf durch die Abwasserbeseitigung nicht beeinträchtigt werden. Das umfasst im Falle der Verwendung zu Bewässerungszwecken auch den Bewässerungsvorgang und Verbleib des Bewässerungswassers in Luft, Boden und Grundwasser. Das Wohl der Allgemeinheit ist auch beeinträchtigt, wenn durch die Bewässerung Keime oder Schadstoffe in einer Weise in die Luft geraten, die ein Gesundheitsrisiko für die Bevölkerung darstellt.</p> <p>§ 57 WHG: Soweit es zu einer Versickerung des Beregnungswassers in das Grundwasser kommen kann, liegt darin eine Abwassereinleitung, die zum einen einer Erlaubnis bedarf und zum anderen die Voraussetzungen nach § 57 Abs. 1 erfüllen muss.</p>
GrundwasserR	<p>Es darf zu keiner Überschreitung der Konzentrationswerte der GrwV kommen.</p> <p>Der Besorgnisgrundsatz des § 48 WHG ist einzuhalten insb. dadurch, dass es zu keiner Überschreitung der Geringfügigkeitsschwellen kommt.</p> <p>Weitergehende Mindestanforderungen an die zur Grauwasserverwendung geeigneten Flächen können u.U. analog zu den in Abschnitt 1.1.10 dargestellten landesrechtlichen Anforderungen zur erlaubnisfreien Niederschlagsverwendung formuliert werden. Ob in Bezug auf eine Bewässerung mit Grauwasser die gleichen Vorbehalte zu machen sind wie ggü. der Versickerung von Niederschlagswasser bedarf indes weiterer Prüfung.</p>
BodenschutzR	Keine Überschreitung der Vorsorgewerte aus Anhang 2 Nr. 4 BBodSchV
Sonstige	Ggf. besondere Anforderungen in Trinkwasserschutzgebieten, ...

Mit der neuen, am 25.5.2020 verabschiedeten **EU-Verordnung EU/2020/741**¹²¹ (Water-Reuse-VO) sind erstmals umfassende Anforderungen an die Verwendung von Abwasser zur *landwirtschaftlichen* Bewässerung geregelt worden, die in allen Mitgliedstaaten unmittelbar verbindlich sind. Die verbindliche Geltung der Verordnung ist explizit **auf die landwirtschaftliche Bewässerung beschränkt**, den Mitgliedstaaten wird es aber freigestellt, **entsprechende Anforderungen auf die Grünflächenbewässerung** anzuwenden. Dies liegt in Bezug auf diejenigen Anforderungen der Verordnung nahe, die nicht spezifisch dazu dienen, einer schädlichen Kontamination von Agrarfrüchten vorzubeugen. Neben der Lebensmittelsicherheit hat die Verordnung nämlich auch zum Zweck, die betroffene Umwelt einschließlich der Böden und des Grundwassers vor nachteiligen Verschmutzungen durch Beregnungs(ab)wasser zu schützen. Daher normiert sie Anforderungen auch zu solchen Agrarflächen, die nicht zum Zweck der Lebensmittelproduktion, sondern z.B. für Energiepflanzen genutzt werden. Solche Anforderungen der Water-Reuse-VO, die wesentlich dem Schutz der Umwelt gelten, sind der Sache nach auch für urbane Grünflächen zu reklamieren. Namentlich geht es um folgende **Regelungselemente**:

- **Anforderungen an die Qualität/Behandlung des Bewässerungs(ab)wassers:** Die Verordnung normiert gestufte Mindestanforderungen an die Qualität des Abwassers abhängig davon, für welche Pflanzen die bewässerten Flächen genutzt werden. Für Flächen, die nicht der Produktion von Lebensmitteln dienen (Kategorie D), gelten die in der Tabelle 26 genannten Grenzwerte. Bei diesen Vorgaben handelt es sich erklärtermaßen um „Mindestvorgaben“ und die Verordnung macht deutlich, dass die Mitgliedstaaten ggf. weitere Qualitätsanforderungen etwa in Bezug auf wichtige Schadstoffe festlegen sollten, soweit sie dies als erforderlich erachten, um die betroffene Umwelt wirksam vor schädlichen Kontaminationen und Schadstoffanreicherung zu schützen. Außerdem verlangt die Verordnung, dass gewährleistet ist, dass die Verwendung des behandelten Abwassers nicht zu einer Überschreitung der o.g. Grenzwerte des Boden- und Grundwasserschutzes führt. Um u.a. dies sicherzustellen, ist eine Risikobewertung durchzuführen.

Tabelle 26: Qualitätsanforderungen an Abwasser zur Verwendung als Bewässerungswasser

Zielvorgabe Technik	Qualitätsanforderungen			
	E. coli (Anzahl/100ml)	BSB (mg/l)	TS (mg/l)	Sonstige
Zweitbehandlung und Desinfektion	< 10.000	Gemäß KomAbwRL	Gemäß KomAbwRL	Legionelle spp.: <1.000 KBW/l wenn ein Risiko der Aerosolbildung besteht.

- **Risikomanagement/Risikomanagementplan:** Die Verordnung verlangt, dass zur Verwendung von behandeltem Abwasser zu Bewässerungszwecken ein „Risikomanagement“ durchgeführt wird. Zum Risikomanagement gehört die „proaktive Risikoermittlung und -bewältigung, damit gewährleistet ist, dass das aufbereitete Wasser sicher genutzt und bewirtschaftet wird und keine Gefahr für die Umwelt oder die Gesundheit von Mensch oder Tier besteht. Zu diesem Zweck ist für die betreffenden Anwendungsgebiete ein Risikomanagementplan zu erstellen, der folgende Elemente beinhalten muss:
 - Beschreibung des Wasserwiederverwendungssystems,

¹²¹ Verordnung (EU) 2020/741 des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 25. Mai 2020 über Mindestanforderungen an die Wasserwiederverwendung, ABl. EG 177/32

- Ermittlung aller beteiligten Parteien und ihrer Aufgaben und Zuständigkeiten,
 - Identifizierung und Bewertung der gefährdeten Umweltgegebenheiten und Bevölkerungsgruppen und möglichen Expositionspfade unter Berücksichtigung der örtlichen Hydrologie, Topologie, Bodenart und Bewässerungsmethoden. Die Risikobewertung muss insbesondere prüfen und sicherstellen, dass die o.g. einschlägigen Anforderungen des Grundwasser- und Bodenschutzes sowie eine Reihe weiterer explizit genannter Standards des Gewässerschutzes und der Stadt- und Lebensmittelhygiene eingehalten werden,
 - Vorsorgemaßnahmen, die sicherstellen, dass evtl. Risiken angemessen beherrscht bzw. minimiert werden.
- **Genehmigungspflicht:** Die Verordnung unterstellt die Verwendung von Abwasser zu Bewässerungszwecken einem Genehmigungsvorbehalt. Auf die urbane Bewässerung gewendet bedeutet dies, dass die kommunalen Wasserbetriebe unter Vorlage des Managementplans eine Genehmigung bei der zuständigen Wasserbehörde zu beantragen haben. Die Behörden prüfen mit Blick auf die vorgesehene Behandlung und Verwendung des Abwassers, ob die o.g. Standards eingehalten werden und ob die geplante Verwendung des behandelten Abwassers mit sonstigen Anforderungen vereinbar ist. Sie legen ggf. zusätzliche Bedingungen fest, um die schadlose Abwasserverwertung gemäß dem Risikomanagementplan zu gewährleisten.
- **Überwachung, Kontrollen, Sanktionen** (Art. 7): Die Verordnung regelt Anforderungen zur Überwachung der Behandlung und Qualität des zur Bewässerung eingesetzten Abwassers. Diese umfasst Routinekontrollen durch den Betreiber der Aufbereitungseinrichtungen und Kontrollen durch die zuständigen Behörden. Die Behörden sind verpflichtet, auf die Einhaltung hinzuwirken und Verstöße wirksam zu sanktionieren.
- **Information** (Art. 10): Die Öffentlichkeit ist online über die Ort und Art der Bewässerung und über Menge und Qualität des verwendeten Abwassers zu informieren.

Entsprechend Anforderungen sollen auch für eine zukünftige Verwendung behandelten Abwassers zur Bewässerung urbaner Grünflächen gelten. Auch wenn die VO für die Grünflächen des Siedlungsbereiches rechtlich keine Geltung beansprucht, dürfte es schwerlich zu rechtfertigen sein, hier hinter den genannten Standards zurückzubleiben.

Wenn künftig der Einsatz von Grau- und u.U. auch Schwarzwasser zur Bewässerung städtischer Grünflächen regulär ermöglicht und gefördert werden soll, wird dafür ein **pro-aktiver Rechtsrahmen erforderlich** sein, der – einerseits – eine ausreichende Beherrschung der Umwelt- und Gesundheitsrisiken sicherstellt und den zuständigen Gemeinden hinreichende Rechtssicherheit vermittelt, ohne andererseits einen zu hohen Kosten- und Überwachungsaufwand zu erzeugen. Ob die Regelungen der EU-VO diese Bedingungen erfüllen, ist in der Fachwelt mitunter bezweifelt worden. Insbesondere wird kritisiert, dass die VO zu wenige Qualitätsparameter regelt und in Bezug auf sonstige relevante Schadstoffe lediglich auf das mittelbare, medienbezogene Anforderungsprofil und ein „weiches“ Risikomanagement verweise.¹²²

Für eine künftige effektive Regelung zur städtischen Bewässerung wird in der Tat zu überlegen sein, inwieweit durch weitere Anforderungen zu Herkunft, Behandlung, Qualität, Einsatzflächen, Bewässerungsmethoden und Abständen ein ausreichend hohes Schutzniveau gewährleistet

¹²² Vgl. Helmecke, M./Rechenberg, J., Ringen um eine europäische Regelung für Wasserwiederverwendung, ZUR 2017, 513; Laskowski, S., Unionsrechtliche Mindestanforderungen für die (AB)Wasserwiederverwendung in der Landwirtschaft – ein Beitrag zum Gewässerschutz?, ZUR 2020, .

werden kann, ohne den Aufgabenträgern eine allzu aufwändige Risikomanagementplanung und -verwaltung abzuverlangen. So oder so wird ein besonderes Augenmerk darauf liegen müssen, dass eine mögliche **Verbreitung von Krankheitserregern über Aerosole** durch geeignete Maßnahmen der Behandlung und Bewässerungsmethoden ausgeschlossen wird. In dieser Hinsicht können u.a. französische Studien und Regelungen Anhaltspunkte für geeignete Maßnahmen geben.¹²³

6.4.5 Verpflichtungsmöglichkeiten zur getrennten Grauwassererfassung und -behandlung

Können Grundstückeigentümer auf der Grundlage des geltenden Rechts dazu verpflichtet werden, das Grauwasser getrennt zu erfassen und zu überlassen? Das WHG normiert dazu keine unmittelbare, spezifische Anordnungsgrundlage. Die Landeswassergesetze ermächtigen in der Mehrzahl die abwasserbeseitigungspflichtigen Gemeinden allgemein dazu, zu bestimmen, wie ihnen das Abwasser zu überlassen ist – wie z.B. § 50 Abs. 2 Satz 2 und 3 SächsWG:

„Die Abwasserbeseitigungspflichtigen können bestimmen, wie ihnen das angefallene Abwasser zu überlassen ist. Sie können insbesondere vorschreiben, dass das Abwasser vor der Überlassung behandelt werden muss.“

Unstreitig ist, dass auf dieser Grundlage eine getrennte Erfassung und Überlassung des Niederschlagswassers verlangt werden kann. Dass das Niederschlagswasser getrennt erfasst, werden soll, ergibt sich auch schon aus § 55 Abs. 2 WHG und die getrennte Erfassung ist aus der Sachnatur heraus bereits technisch angelegt oder jedenfalls leicht zu realisieren. Demgegenüber erfordert eine getrennte Erfassung des Grau- und oder Schwarzwassers, wie sie in den Szenarien des Kapitel 5 beschrieben wird, **beträchtliche Aufwendungen** sowohl auf Seiten der öffentlichen Aufgabenträger (Gemeinden) als auch bei den privaten Nutzern erfordert. Erhebliche Belastungen für die Grundeigentümer sind vor allem mit den Szenarien 2 und 3 verbunden, die auf eine getrennte Erfassung und Überlassung von Teilströmen des Schmutzwassers (Grau- und Schwarzwasser) abzielen. Das gilt erst recht, wenn solche Trennsysteme im Gebäudebestand implementiert werden sollen. Ein aufwändiger, ggf. quartiersweiter Umbau der Gebäudetechnik ist politisch und rechtlich nur dann realistisch, wenn dazu **klare gesetzliche Aufträge**, Zuständigkeiten, Ermächtigungen und Finanzierungsregelungen normiert werden.

Eine spezifische Ermächtigung sieht inzwischen das Hessische Wassergesetz in seinem § 37 Abs. 4 vor (Hervorhebung der Verfasser):

„Die Gemeinden können durch Satzung regeln, dass im Gemeindegebiet oder in Teilen davon Anlagen zum Sammeln oder Verwenden von Niederschlagswasser **oder zum Verwenden von Grauwasser** vorgeschrieben werden, um die Abwasseranlagen zu entlasten, Überschwemmungsgefahren zu vermeiden oder den Wasserhaushalt zu schonen, soweit wasserwirtschaftliche oder gesundheitliche Belange nicht entgegenstehen. Die Satzungsregelung kann als Festsetzung in den Bebauungsplan aufgenommen werden. § 10 Abs. 3 des Baugesetzbuchs findet unter Ausschluss der übrigen Vorschriften des Baugesetzbuchs auf diese Festsetzungen Anwendung.“

Im Übrigen **fehlen aber spezifische Regelungen**, die explizit zu einer getrennten Erfassung und Überlassung der Abwasserströme – etwa nach dem Vorbild der §§ 9, 14 KrWG – verpflichten oder entsprechende Anordnungsermächtigungen ausgeben.

¹²³ Mollé, B., Séverine, Th., Experimental Approach to Assessing Aerosol Dispersion of Treated Wastewater Distributed via Sprinkler Irrigation, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 142(9), 2016, open access.

Ungeachtet dessen wird bereits auf der Grundlage des geltenden Rechts die Möglichkeit gesehen, eine getrennte Überlassung z.B. von Grau- oder Schwarzwasser durch kommunale Entwässerungssatzung anzuordnen. Zu diesem Ergebnis gelangt namentlich *Stefanie Hanke*, die im Rahmen des Projektes NetWorks umfangreich die rechtlichen Bedingungen einer getrennten Schwarz- und Grauwasserbeseitigung untersucht hat. Zu Begründung wird insb. angeführt, dass das die gesetzliche **Überlassungspflicht bereits unmittelbar bei Anfall des Abwassers** eingreife und dass dies bereits am Ort der – noch getrennten – erstmaligen gesammelten Ableitung des Teilstroms (Grauwasser) z.B. am Waschmaschinenablauf der Fall sei. Mithin könne die zuständige Gemeinde eine Überlassung direkt nach Anfall des Teilstroms, innerhalb des Grundstücks verlangen und dazu auch erforderliche Anordnungen treffen. Dahingehend formuliert namentlich *Hanke* wie folgt:

„Insoweit lässt sich mit dem normativen Begriffsverständnis gut vertreten, bei dem quartiersweiten Grauwasserrecycling davon auszugehen, dass Abwasser bereits dann entsteht, wenn Wasser aus dem Waschbecken – etwa durch „Stöpsel-Ziehen“ – gelassen wird oder wenn das Wasser von der Waschmaschine abgepumpt wird und nicht – wie es herkömmlich verstanden wird – erst später bei Übergang in den öffentlichen Kanal. Als Folge dessen sind die abwasserbeseitigungspflichtigen Körperschaften bereits für den Bereich der für das Grauwasserrecycling benötigten Hausinstallationen wasserrechtlich verantwortlich. Sie können demzufolge schon für diesen Bereich Reglementierungen im Ortsentwässerungsrecht vornehmen. Sie können bestimmte technische Gestaltungen vorschreiben und den jeweiligen Eigentümer zu Erstellung und Betrieb verpflichten.“

Hanke weist allerdings auch darauf hin, dass hinsichtlich der mit solchen Anordnungen verbundenen Eingriffe und Belastungen die aus Art. 14 Abs. 1 GG folgende Bestandsgarantie sowie der Verhältnismäßigkeitsgrundsatz zu bedenken sind. Die Vorgaben, die das Eigentum Privater betreffen, dürften keine unbillige Härte darstellen. Dem könne aber vorgebeugt werden, indem Härtefallklauseln und ausreichend lang bemessene Übergangsfristen vorgesehen werden und zwischen Neubauten und schon bestehenden Bauten unterschieden wird.¹²⁴ Außerdem verbinden sich mit o.g. Rechtskonstruktion schwierige Abgrenzungsfragen in Bezug auf das Eigentum an den gebäudeinternen Installationen, etwa dahingehend, ob und inwieweit diese einer Widmung aus öffentlichen Anlagen zugänglich sind.

Nicht zu vernachlässigen ist außerdem, dass tiefgreifende Eingriffe in das Eigentum und sonstige Grundrechte nur auf der Grundlage eines formalen (Parlamentsgesetzes) zulässig sind, welches die wesentlichen Voraussetzungen des Eingriffs hinreichend präzise regelt. Auch aus dem Gesichtspunkt des **Parlamentsvorbehalts und der sog. Wesentlichkeitstheorie** muss indes bezweifelt werden, dass weitreichende satzungsrechtliche Anordnungen zur Änderung von Gebäudeinstallationen (im Bestand) in den allgemeinen Regelungen zur Überlassungspflicht und zum Anschluss- und Benutzungszwang eine tragfähige Grundlage bieten. Auch *Hanke* kommt bilanzierend zu dem Ergebnis, dass unter den gegenwärtigen Rechtsbedingungen ein Umbau auf neuartige Sanitär- und Teilstromsysteme wohl nur im Einvernehmen mit den Eigentümern bzw. Investoren zu empfehlen sei.¹²⁵

Insgesamt wird deutlich, dass die nach geltendem Recht möglichen Konstruktionen jedenfalls keine geeignete, gleichsam ermunternde Grundlage für einen breiten Aufbruch zu neuen Systemarchitekturen der Siedlungswasserwirtschaft bieten. Dazu bedarf es – wie erwähnt – noch neuer, spezifischer Rechtsgrundlagen, die die siedlungswasserwirtschaftliche Transformation konstruktiv regeln und mit den erforderlichen Planungs-, Übergangs- und

¹²⁴ *Hanke*, S., Rechtliche Rahmenbedingungen neuartiger Wasserinfrastrukturen, netWORKS-Papers, Heft 31, Deutsches Institut für Urbanistik, 2016, S. 54.

¹²⁵ *Hanke*, a.a.O., S. 52, 53.

Kompensationsbestimmungen flankieren. Hier und da finden sich inzwischen erste Fortschritte in diese Richtung in einzelnen Landesgesetzen (z.B. § 37 Abs. 4 Hess LWG). Alles in allem bleibt aber festzuhalten, dass die in den Szenarien 2 und 3 beschriebenen „Trennlösungen“ sich auf der Grundlage des geltenden Bundes- und Landesrechts nicht effektiv zwangsweise implementieren lassen, und dass sich – v.a. im Gebäudebestand – ihr möglicher Einsatzbereich auf freiwillige Weise, ggf. geförderte Sanierungsmaßnahmen beschränkt, sowie auf kommunale Gebäude, die die Gemeinden aus eigener Verfügungsgewalt ertüchtigen können.

Auch in Bezug auf den Neubau ergeben sich in der Regel weitergehende konsensuale Steuerungsmöglichkeiten insbesondere im Rahmen der – für größere Vorhaben üblichen – städtebaulichen Verträge. In Bezug auf große Bauwerke, sog. Sonderbauten, erlauben außerdem die Bauordnungen besondere Anforderungen zur Gebäudetechnik einschließlich solcher zur Abwasserbewirtschaftung.¹²⁶ Auf diese Aspekte wird jedoch im hiesigen Betrachtungszusammenhang, der wesentlich auf den Quartiersbestand begrenzt ist, nicht weiter eingegangen.¹²⁷

Keinen grundlegenden Rechtshindernissen begegnet demgegenüber das Modell der semi-zentralen Behandlung des Abwassers durch eine oder mehrere „Quartiers-Kläranlagen“, die die private Gebäudetechnik nicht berühren.

6.4.6 Zulässigkeit und Verpflichtungsmöglichkeiten zur Mitentsorgung von Bioabfällen

Einer abwasserseitigen „Mitentsorgung“ zerkleinerter Bioabfälle steht das geltende Wasser- und Abfallrecht nicht grundsätzlich entgegen. Gemäß § 2 Nr. 9 KrWG gilt das Abfallrecht nicht für „Stoffe, sobald sie in ein Gewässer oder Abwasseranlagen eingebracht worden sind.“ Diese Regelung wird so verstanden, dass sie dem Besitzer der Stoffe ein **Wahlrecht** vermittelt, ob er die betreffenden Stoffe auf dem Abfall- oder dem Abwasserpfad entsorgt, soweit er dadurch nicht die vorrangige **Pflicht zur Vermeidung und Verwertung von Abfall** unterläuft.¹²⁸ Dies wäre bei einer kombinierten stofflich-energetischen Verwertung auf dem Abwasserpfad jedoch nicht der Fall. Freilich besteht die Wahl, einen Stoff in die öffentlichen Abwasseranlagen einzubringen, nur im Rahmen der Anforderungen, die zur Sicherung einer ordnungsgemäßen und gemeinwohlverträgliche Abwasserbeseitigung zu stellen sind bzw. die von den Trägern der Abwasserbeseitigung im Rahmen ihrer Entwässerungssatzungen und Benutzungsbedingungen gestellt werden. Um eine Mitüberlassung von Bioabfällen über das Abwasser zu ermöglichen, müssen diese Einleitungsbedingungen entsprechend gefasst werden. Auch müsste sichergestellt werden, dass es durch die Mitentsorgung von Bioabfällen nicht zu hygienischen Problemen in der Kanalisation (wie Rattenbefall usw.) kommt.

Eine andere Frage ist, ob die Haushalte auch dazu **verpflichtet** werden können, ihre Bioabfälle zu zerkleinern und mit dem Abwasser zu entsorgen. Das KrWG bestimmt lediglich, dass die Haushaltsabfälle, welche nicht auf dem Grundstück verwertet werden können, an die öffentlich-rechtlichen (Abfall-)Entsorgungsträger (örE) zu überlassen sind (§ 17 Abs. 1 KrwG); die Modalitäten der Überlassung regeln die örE durch ihre Abfallsatzungen. Eine Überlassung an die Träger der Abwasserbeseitigung sieht das Gesetz jedoch nicht vor. Weil der Bioabfall sich mit der Zugabe zum Abwasser rechtlich zu Abwasser wandelt und somit in den Zuständigkeitsbereich der Abwasserbeseitigung wechselt, liegt darin keine Form der

¹²⁶ Vgl. z.B. § 51 SächsBauO.

¹²⁷ Siehe auch dazu die Ausführungen von *Hanke*, a.a.O., S. 77 ff.

¹²⁸ Petersen, in: Jarass/Petersen, KrwG, 2014, § 2 Rn. 107.

Abfallentsorgung, die die Träger der Abwasserbeseitigung gleichsam im Auftrag der Abfallentsorgungsträger erfüllen könnten. Die Zugabe zum Abwasser stellt daher auch keine Modalität der Abfallüberlassung dar, die die öRE den Haushalten durch Abfallsatzung vorschreiben können. Eine dahingehende Rechtsauslegung wäre jedenfalls mit erheblichen Zweifeln belastet, und es kann festgehalten werden, dass für eine verpflichtende Einführung der abwasserbürtigen Bioabfallentsorgung eine hinreichend klare **Rechtsgrundlage fehlt**. Tragfähige Regelungen müssten zunächst durch den Bund in das KrWG und das WHG eingeführt werden.

6.4.7 Planung dezentraler Schmutzwasserbeseitigungslösungen

Die in den Szenarien beschriebenen semizentralen und dezentralen Konzepte der Schmutzwasserbeseitigung können in einem Quartier nur dann sinnvoll realisiert werden, wenn sie planerisch und im Zusammenhang mit der Quartiersinfrastruktur entwickelt werden. Dazu bedarf es an erster Stelle eine siedlungswasserwirtschaftliche Fachplanung. Wie für die Niederschlagsbewirtschaftung gilt auch in Bezug auf die Schmutzwasserinfrastruktur, dass notwendige Transformationsplanungen, die in erheblichem Maße Eingriffe und Belastungen privater Grundeigentümer begründen (müssen), nicht im informellen Bereich bleiben dürfen, sondern auf eine formale Grundlage gestellt und durch angemessene Beteiligungs-, Transparenz-, Begründungs- und Verbindlichkeitsgewährleistungen untersetzt werden müssen. Die in Bezug auf die Niederschlagsbewirtschaftung (in Abschnitt 1.1.13) dargelegten Schwächen der informellen kommunalen Entwässerungspläne und der landesrechtlichen Regelungen zu **Abwasserbeseitigungskonzepten** (AWK) erstrecken sich entsprechend auch auf den Bereich der Schmutzwasserbeseitigung und erschweren auch insoweit eine Transformation der Abwasserinfrastrukturen. Auch insoweit erscheint mithin eine Stärkung der siedlungswasserwirtschaftlichen Fachplanung angezeigt.

Die für semi-zentrale Quartiers-Kläranlagen benötigten Flächen und verbindenden Leitungen können auf der Grundlage der wasserwirtschaftlichen Fachplanung bauplanungsrechtlich im **Flächennutzungsplan** nach § 5 Abs. 2 Nr. 4 BauGB ausgewiesen werden. Gem. § 9 Abs. 1 Nr. 16a) BauGB können solche Flächen im Bebauungsplan außenverbindlich als „Flächen für die Wasserwirtschaft“ ausgewiesen werden. Der Bebauungsplan kann ferner gem. § 9 Abs. 1 Nr. 21 BauGB die mit Leitungsrechten zugunsten eines Erschließungsträgers zu belastenden Flächen bestimmen.

Nach § 9 Abs. 1 Nr. 23b BauGB können im **Bebauungsplan** Gebiete festgesetzt werden, in denen bei der Errichtung von Gebäuden oder bestimmten sonstigen baulichen Anlagen bestimmte bauliche und sonstige technische Maßnahmen für die Erzeugung, Nutzung oder Speicherung von Strom, Wärme oder Kälte aus erneuerbaren Energien oder Kraft-Wärme-Kopplung getroffen werden müssen.

7 Handlungsempfehlungen & Forschungsbedarfe

Zur Transformation der urbanen Entwässerungsinfrastruktur im Bestand haben Maßnahmen zur Vermeidung und Verminderung des Niederschlagsabflusses und seiner Schadstoffbelastung eine hohe Priorität. Die Ergebnisse der Forschungsarbeit zeigen, dass durch dezentrale Maßnahmen der urbanen Bewirtschaftung von Niederschlagswasser auf Häuserblockebene eine deutliche hydraulische und auch stoffliche Entlastung des zentralen Entwässerungssystems erreicht werden kann.

Zur Einleitung und mittelfristigen Umsetzung eines solchen Transformationsprozesses auf kommunaler Ebene wurden für die Bereiche Kommunen, Planungspraxis und Forschung folgende Handlungsempfehlungen definiert.

Regenwassermanagement

Zur Spezifizierung der Dringlichkeit einer Transformation der existierenden Abwasserinfrastruktur sollten insbesondere in Gebieten mit einer Entwässerung durch Mischkanalisation vulnerable Zonen im Stadtgebiet identifiziert und charakterisiert werden. Die wesentlichen Kriterien dabei sind der Zustand des Kanalsystems, wie die hydraulische Dimensionierung und der Sanierungstau sowie bestehende Überflutungsrisiken.

Zur Beantwortung der Frage, ob und in welchem Umfang eine Dezentralisierung des Niederschlagsmanagements möglich ist, kann für vulnerable städtische Gebiete oder auch für das gesamte Stadtgebiet der hier dargestellte softwaregebundene Modellansatz MUST-B angewandt werden.

Der Prozess der Dezentralisierung sollte schrittweise eingeleitet werden, da auch eine teilweise Dezentralisierung des Niederschlagsmanagements durch Retention der Spitzenlasten den Gewässerschutz deutlich verbessert.

Die GIS-gekoppelte hydrologische Modellierung des Niederschlagsabflusses auf Häuserblockebene sollte zur Simulation der Schadstofffrachten und Abschläge in Vorfluter oder natürliche Gewässer mit einer vereinfachten hydrodynamischen Modellierung gekoppelt und zur automatisierten Erfassung ganzer Stadtgebiete automatisiert werden.

Schmutzwassermanagement

Insgesamt wäre die Umsetzung der Szenarien 1 und 1A mit den geringsten Eingriffen in den Stadtteil verbunden und damit von den betrachteten Szenarien der Dezentralisierung am einfachsten umsetzbar. Es müsste lediglich eine Fläche zum Bau einer Stadtteilkläranlage zur Verfügung gestellt werden, was in stark verdichteten Innenstadtlagen durchaus eine Herausforderung sein kann.

Die Schmutzwasser-Szenarien 2 und 3 gehen mit deutlich stärkeren Beeinträchtigungen der Anwohner einher, da hier die Grau- und Schwarzwasserströme getrennt werden müssten. Dies ist nur auf Haushaltsebene möglich. Im Bestand ist daher Szenario 3 realistischer: die Trennung könnte beispielsweise durchgeführt werden, wenn ein gesamter Häuserblock renoviert werden muss. Da Szenario 2 ein gesamtes Quartier betrifft, wäre hier ein sehr großer Koordinierungsaufwand notwendig. Dieses Konzept erscheint daher eher bei Neubauvorhaben realisierbar.

Grundsätzlich erscheinen die Szenarien zur Dezentralisierung der Schmutzwasserbewirtschaftung nur im Kontext einer langfristigen, gesamtstädtischen Entwässerungsstrategie (Masterplanung) realisierbar. Diese Strategie sollte auf die langfristige Sicherstellung der Lebensqualität und die Sicherung der Ressourcen für die gesamte Stadt ausgerichtet sein. Kurz- bis mittelfristige Kosten-Nutzen-Rechnungen werden voraussichtlich dazu führen, dass weiter auf zentrale Systeme gesetzt wird.

Es sind mehr beispielhafte Realisierungen des semizentralen Schmutzwassermanagements in deutschen Städten nötig, um eine bessere Datenbasis für Kosten-Nutzen-Betrachtungen sowie Referenzen für weitere Umsetzungen zu schaffen.

Wirkungen und Kosteneffekte

Bei der Erarbeitung von kommunalen Regenwasserstrategien sollen Kommunen die Chancen, die sich durch die ergänzende Nutzung dezentraler Ansätze für die siedlungswasserwirtschaftliche Aufgabenerfüllung zum Entwässerungskomfort/Überflutungsschutz und Gewässerschutz bieten, umfassend beurteilen und langfristig aufgreifen.

Wichtig scheint die strategische Abwägung zwischen einem flächendeckenden und einem räumlich differenzierten Vorgehen zu sein. Die Wirksamkeit der Strategien, die damit verbundenen Kosten und Flächennutzungskonflikte sowie die Umsetzbarkeit dieser Strategien spielen hierbei eine Rolle.

Die Untersuchungen zeigen Argumente auf, die für ein räumlich differenziertes Vorgehen sprechen. Kommunen müssten dann die Voraussetzungen schaffen, um besonders geeignete und ansteuerbare Teilflächen für die grundstücksbezogene Regenwasserbewirtschaftung zu identifizieren. Geeignete Teilflächen zeichnen sich einerseits durch eine hohe Wirksamkeit aus. Hierfür sollen neben dem Entwässerungskomfort/Überflutungsschutz und Gewässerschutz die multifunktionalen Zusatznutzen derartiger Ansätze hinsichtlich Stadtklima, Wasserhaushalt, Biodiversität und Freiraumqualität stärker berücksichtigt werden. Andererseits zeichnen sich geeignete Teilflächen durch vergleichsweise geringe Kosten und Flächennutzungskonflikte aus sowie durch die Umsetzbarkeit grundstücksbezogener Dezentralisierung.

Für die Identifikation von geeigneten Teilflächen sind kommunale Routinen und Baukasten-/Musterlösungen zur Planung und Umsetzung zu schaffen. Screening-Ansätze können möglicherweise helfen, um Quartiere mit niedrigen Dezentralisierungskosten und Flächennutzungskonflikten einzugrenzen. Bebauungsstrukturelle Indikatoren und flurstücksindividuelle Merkmalen (Größe, Versiegelungsgrad sowie Bodenqualität) bieten eine gute Grundlage hierfür. Sie können auch Informationen zur konfliktären Hofnutzung transportieren. Sie müssen um sozioökonomische Perspektiven und Informationen zu externen Zusatznutzen und Informationen bzgl. der Realisierungswahrscheinlichkeit erweitert werden.

Wichtig ist die Sicherstellung der Umsetzbarkeit von dezentralen Lösungen. Die rechtlichen Analysen zeigen hier Ansatzpunkte auf. Sowohl eine zielkonforme generelle Förderung dezentraler Ansätze als auch verbesserte Ansätze zur räumlich differenzierten Dezentralisierung sind wichtig. Hierbei kann eine stärkere Honorierung von externen Zusatznutzen hinsichtlich des Stadtklimas, Wasserhaushalt sowie Biodiversität und Freiraumqualität generell unterstützend wirken.

Rechtlicher Rahmen

Wie die Siedlungsentwässerung auf die Herausforderungen der urbanen Nachhaltigkeit eingestellt wird, wird nicht allein von technischen Entwicklungen bestimmt, sondern wesentlich

auch von rechtlichen Rahmenseetzungen, namentlich zur Umweltverträglichkeit, Sicherheit, Struktur, Planung und Finanzierung der Stadtentwässerung. Die nähere Betrachtung der einschlägigen Regelungen insb. des Wasserrechts, Baurechts und Abgabenrechts zeigt, dass die dezentrale Niederschlagsbewirtschaftung auch rechtlich als eine prioritäre Option der Stadtentwässerung anerkannt ist und dass das geltende Recht bereits weite Spielräume zur Umsetzung dezentraler Lösungen bietet.

Bei näherer Hinsicht ist allerdings auch zu erkennen, dass im Anforderungsprofil und bei den Umsetzungsinstrumenten erhebliche Regelungslücken und Rechtsunsicherheiten bestehen, die die Planung und Durchsetzung dezentraler Maßnahmen mitunter erschweren und als ein rechtliches Wagnis erscheinen lassen. Auch fehlt es an maßgeschneiderten Instrumenten insb. zur Planung der (neuen) Abwasserinfrastrukturen und zum Umbau des Infrastrukturbestands, die den Wandel hin zu einer lokalen Wasserkreislauf konstruktiv fördern und damit auch solche Gemeinden auf den Weg bringen, die nicht von sich aus den Willen und Mut dazu finden. Zur Verbesserung der rechtlichen Rahmenbedingungen wird empfohlen, im WHG einen klaren gesetzlichen Auftrag zum Ausbau des dezentralen Regenwassermanagements zu normieren und diesen durch insb. durch Folgendes zu unterstützen:

- Spezifische gesetzliche Anordnungsgrundlagen sowie Anforderungen zur Umweltverträglichkeit und Sicherheit der dezentralen Niederschlagsbewirtschaftung.
- gesetzliche Anforderungen an die Direkteinleitung von Niederschlagswasser und insb. Mischwasserentlastungen, die eine auf das Einzugsgebiet bezogene Berücksichtigung der Möglichkeiten zur dezentralen Rückhaltung, Speicherung und Versickerung verlangen.
- eine gesetzlich geregelte Fachplanung zur Stadtentwässerung, in deren Rahmen die Potenziale der dezentralen Niederschlagsbewirtschaftung ermittelt und geeignete Lösungen in Abstimmung mit allen relevanten Stellen und Planungen und unter Beteiligung der Öffentlichkeit erarbeitet und festgesetzt werden.
- Eine bundesrechtliche Grundpflicht zur Abwasservermeidung und – verwertung in Bezug auf Niederschlagswasser, die in den landesrechtliche Entwässerungssatzungsermächtigungen zu untersetzen ist.

8 Quellenverzeichnis

Balkema, A.J.; Preisig, H. A.; Otterpohl, R.; Lambert, F. J.D (2002): Indicators for the sustainability assessment of wastewater treatment systems. In: Urban Water 4 (2), S. 153–161. DOI: 10.1016/S1462-0758(02)00014-6, zuletzt geprüft am 12.03.2021.

Baumüller, J.; Ahmadi, Y. (2016): Beitrag von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen und freiraumplanerischen Gestaltungselementen zur Verbesserung des Stadtklimas. im Rahmen des Forschungsprojekts „Stadt als hydrologisches System im Wandel. Schritte zu einem anpassungsfähigen Management des urbanen Wasserhaushalts“ (SAMUWA). Institut für Landschaftsplanung und Ökologie, Fakultät für Architektur und Stadtplanung, Universität Stuttgart (SAMUWA Publikation). Online verfügbar unter http://www.samuwa.de/img/pdfs/baumuell_ahmadi_2016_rwb_massnahmen_und_stadtklima.pdf, zuletzt geprüft am 16.03.2017.

BBSR (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung) [Hrsg.] (2014): Städtebauliche Nachverdichtung im Klimawandel. Ein ExWoSt-Fachgutachten. ExWoSt-Informationen 46/1, online verfügbar unter https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/exwost/46/exwost46_1.pdf;jsessionid=1E569474871CF3EB22D37161E89131C6.live21304?blob=publicationFile&v=3, zuletzt geprüft am 21.08.2020.

BSU (Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt) [Hrsg.] (2013): Regenwassermanagement an Hamburger Schulen. Ganzheitlicher Umgang mit Niederschlag an Hamburger Schulen.

Berardi, U.; GhaffarianHoseini, A.; GhaffarianHoseini, A. (2014): State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. In: Applied Energy 115, S. 411–428. DOI: 10.1016/j.apenergy.2013.10.047.

Beuth, A.; Hamann, A. (2019): Hemmnisse und Potenziale der Abwasserwärmnutzung zur Gebäudeheizung – technische, wirtschaftliche, planerische und rechtliche Aspekte. Forschungsinitiative Zukunft Bau (F 3123), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart.

Blicharska, M.; Smithers, R. J.; Mikusiński, G.; Rönnbäck, P.; Harrison, P. A.; Nilsson, M.; Sutherland, W. J. (2019): Biodiversity’s contributions to sustainable development. In: Nat Sustain 2 (12), S. 1083–1093. DOI: 10.1038/s41893-019-0417-9.

BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) [Hrsg.] (2014): netWORKS 3 – Intelligente wasserwirtschaftliche Systemlösungen in Frankfurt am Main und Hamburg. Berlin, online verfügbar unter https://nawam-inis.de/sites/default/files/dokumente/projektblatt_networks3_2014_barrierefrei.pdf, zuletzt geprüft am 25.03.2021.

BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit) [Hrsg.] (2017): Verordnung zur Neuordnung der Klärschlammverwertung, online verfügbar unter <https://www.bmu.de/gesetz/verordnung-zur-neuordnung-der-klaerschlammverwertung/>, zuletzt geprüft am 10.03.2021.

BMVBW (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung) [Hrsg.] (2005): Richtlinien für die Anlage von Straßen – Teil: Entwässerung RAS-Ew, ARS 21/2005, online verfügbar unter <https://dejure.org/gesetze/StrG/2.html>, zuletzt geprüft am 25.03.2021.

Bowler, D. E.; Buyung-Ali, L.; Knight, T. M.; Pullin, A. S. (2010): Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. In: Landscape and Urban Planning 97 (3), S. 147–155. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2010.05.006.

Breitfuss, G.; Klausberger, W. (1999): Das Wohnumfeld. Qualitätskriterien für Siedlungsfreiräume. Wien: Inst. für Freiraumplanung.

Brune, M.; Bender, S.; Groth, M. (2017): Gebäudebegrünung und Klimawandel - Anpassung an die Folgen des Klimawandels durch klimawandeltaugliche Begrünung. Report 30. Hg. v. Climate Service Center Germany (GERICS). Abteilung Klimafolgen und Ökonomie. Online verfügbar unter <https://www.climate-service-center.de/imperia/md/content/csc/report30.pdf>, zuletzt geprüft am 23.04.2020.

Burri, A. (2004): Hat gemeinschaftlich orientiertes Wohnen Zukunft? In: wohnbundinformationen (4), S. 16–19.

Chapman, C; Horner, R. R. (2010): Performance assessment of a street-drainage bioretention system. In: Water environment research: a research publication of the Water Environment Federation 82 (2), S. 109–119. DOI: 10.2175/106143009X426112.

Curdes, G. (1993): Stadtstruktur und Stadtgestaltung. Stuttgart, Berlin: Kohlhammer.

Deister, L.; Brenne, F.; Stokmann, A.; Henrichs, M.; Jeskulke, M.; Hoppe, H.; Uhl, M. (2016): Wassersensible Stadt- und Freiraumplanung. Handlungsstrategien und Maßnahmenkonzepte zur Anpassung an Klimatrends und Extremwetter. Hg. v. Antje Stokmann. Institut für Landschaftsplanung und Ökologie, Universität Stuttgart (SAMUWA-Publikation), online verfügbar unter http://www.samuwa.de/img/pdfs/leitfaden_wassersensible_stadtentwicklung.pdf, zuletzt geprüft am 10.03.2017.

Dickhaut, W.; Fellmer, M.; Lauer, J.; Winkelmann, A. (2018): Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung an Baumstandorten – Chancen und Risiken. HCU – HafenCity Universität Hamburg, 56 S.

Dickhaut, W.; Gionatan, V.; Harseim, L. (2017): Hamburgs Gründächer – Eine ökonomische Bewertung. Freie und Hansestadt Hamburg [Hrsg.], Behörde für Umwelt und Energie (BUE).

DiFU (Deutsches Institut für Urbanistik) [Hrsg.] (2017): Wasserinfrastrukturen für die zukunftsfähige Stadt. Ergebnisband des BMBF-Forschungsvorhabens INIS, online verfügbar unter <https://nawam-inis.de>, zuletzt geprüft am 12.03.2021.

Drum, M.; Ludwig, K.; Schmidt, R. (1988): Leben im Wohnumfeld. Gestaltung und Nutzung durch Bewohner. In: Urbanes Wohnen e.V. (Hrsg.): Selbsthilfe und Demokratie im Wohnumfeld. Ansätze für besseres Wohnen in der Stadt; 15 Jahre Urbanes Wohnen e.V. München. München, 2.1-2.8.

DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall) [Hrsg.], DWA-Arbeitsgruppe AK 1.3 (2004): Rückbelastung aus der Schlammbehandlung – Verfahren zur Schlammwasserbehandlung, Hennef: DWA.

DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall) [Hrsg.] (2005): Arbeitsblatt DWA-A 138: Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser. Hennef: DWA.

DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall) [Hrsg.] (2006): Hydraulische Dimensionierung und Leistungsnachweis von Abwasserleitungen und -kanälen. Hennef: DWA.

DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall) [Hrsg.] (2007): Merkblatt DWA-M 153: Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser. Hennef: DWA.

DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall) [Hrsg.] (2008): DWA-Themen – Neuartige Sanitärsysteme. Hennef: DWA.

DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall) [Hrsg.] (2008a): DWA-Themen – Wasserwiederverwendung. Hennef: DWA.

DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall) [Hrsg.] (2011): Arbeitsblatt DWA-A 118: Hydraulische Bemessungen und Nachweis von Entwässerungssystemen. Hennef: DWA.

DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall) [Hrsg.] (2012): Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien). Hennef: DWA.

DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall) [Hrsg.] (2013): Merkblatt DWA-M 176 Bauwerke Regenwasserbehandlung. Hennef: DWA.

DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall) [Hrsg.] (2014): Wirtschaftsdaten der Abwasserbeseitigung. Ausgabe 2014. Hennef: DWA. Online verfügbar unter https://de.dwa.de/files/_media/content/03_THEMEN/Wirtschaft/DWA_Wirtschaftsdaten_2013_fin.pdf, zuletzt geprüft am 21.08.2020.

DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall) [Hrsg.] (2016): Arbeitsblatt DWA-A 131: Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen. Hennef: DWA.

DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall) [Hrsg.] (2016): Merkblatt DWA-M 119: Risikomanagement. Hennef: DWA.

DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall) [Hrsg.] (2017): Arbeitsblatt DWA-A 100: Leitlinien der integralen Siedlungsentwässerung. Hennef: DWA.

DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall) [Hrsg.] (2017): Arbeitsblatt DWA-A 143-14: Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 14: Entwicklung einer Sanierungsstrategie. Hennef: DWA.

DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall) [Hrsg.] (2018): Arbeitsblatt DWA-A 400: Grundsätze für die Erarbeitung des DWA Regelwerks. Hennef: DWA.

DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall) [Hrsg.] (2019): Arbeitsblatt DWA-A 102-1: Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer – Teil 1. Hennef: DWA.

DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall) [Hrsg.] (2019): Arbeitsblatt DWA-A 102-2: Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer – Teil 2. Hennef: DWA.

DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall) [Hrsg.] (2020): Arbeitsblatt DWA-A 102: Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer. Hennef: DWA.

DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall) [Hrsg.] (2021), Positionspapier: Wasserbewusste Entwicklung unserer Städte (i.E.).

Ehbrecht, A.; Schönauer, S.; Fuderer, T.; Schuhmann, R.; (2014): P-Rückgewinnung durch Kristallisation an Calcium-Silicat-Hydrat-Phasen. Abwasser- Phosphor-Dünger -Workshop, Berlin, 28.01.2014 – 29.01.2014.

Eppel-Hotz, A. (2019): Pflanzen für Versickerung und Retention. Hrsg. v. Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau Veitshöchheim. Online verfügbar unter https://www.lwg.bayern.de/mam/cms06/landespflge/dateien/pflanzen_versickerung.pdf, zuletzt geprüft am 04.11.2019

Felmeden, J.; Michel, B.; Zimmermann, M. (2016): Integrierte Bewertung neuartiger Wasserinfrastruktursysteme. Vom städtischen Quartier über die Gesamtstadt bis zur regionalen Perspektive. Berlin: Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH (Sozialökologische Forschung, Heft 32).

Frechen, F.B. (2012): Leistung und Kosten des Membran Bioreaktor-Verfahrens (MBR Verfahren). DWA-WasserWirtschafts-Kurs O/2 „Kommunale Abwasserbehandlung“, Kassel, 13.11.2012-15.11.2012.

- Freytag, T.; Bannert, L.; König, F. (2018): Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung im Planungsprozess. Hintergründe, Problemfelder und Erfolgsfaktoren. Freiburg. Online verfügbar unter <https://freidok.uni-freiburg.de/dnb/download/15714>, zuletzt geprüft am 29.11.2019.
- Freytag, T.; Bannert, L.; König, F. (2018): Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung im Planungsprozess. Hintergründe, Problemfelder und Erfolgsfaktoren. Leidfaden. Freiburg. Online verfügbar unter <https://freidok.uni-freiburg.de/fedora/objects/freidok:15714/datastreams/FILE1/content>, zuletzt geprüft am 29.11.2019.
- Fricke, K. (2009): Energieeffizienz kommunaler Kläranlagen. In: Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen, 2008, 11, Umweltbundesamt.
- Gantner, K. (2002): Nachhaltigkeit urbaner Regenwasserbewirtschaftungsmethoden. Zugl.: Berlin, Techn. Univ., Diss., 2002. Berlin: TU FG Siedlungswasserwirtschaft (Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, 20).
- Geiger, W.; Dreiseitl, H.; Stemplewski, J. (2009): Neue Wege für das Regenwasser. 1. Aufl. s.l.: Oldenbourg Industrieverlag GmbH.
- Geyler, S.; Bedtke, N.; Gawel, E. (2019): Sustainable Stormwater Management in Existing Settlements—Municipal Strategies and Current Governance Trends in Germany. In: *Sustainability* (11), S. 1–23. DOI: 10.3390/su11195510.
- Hamburger Stadtentwässerung AöR; Stadt Hamburg, Behörde für Umwelt und Energie (BUE) (Hg.) (2015): RISA Strukturplan Regenwasser 2030. Ergebnisbericht des Projektes RISA - RegenInfraStrukturAnpassung. Hamburg.
- Heber, B. (1998): Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung in Siedlungsgebieten. Dresden: IÖR (IÖR-Schriften, 25)
- Heinemann, A.; Selle, K.; Sutter-Schurr, H. (2008): Anforderungen an Wohnfreiräume. Nachfragepräferenzen und Nutzerinteressen: Was wissen die Fachleute? In: Gisela Schmitt (Hrsg.): Bestand? Perspektiven für das Wohnen in der Stadt. Dortmund: Rohn (Edition Stadt-Entwicklung), S. 202–216.
- Herzer, P. (2004): Einflüsse einer naturnahen Regenwasserbewirtschaftung auf den Städtebau. Räumliche, ökonomische und ökologische Aspekte. Zugl.: Stuttgart, Univ., Diplomarbeit, 2004. Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verl. (Wissenschaft).
- Hetzl, F. (2019): Wasser in der Stadt – Korrespondenz: Wasser, Abfall, Hennef: DWA, S. 863.
- Imhoff, K.; Imhoff, K.R.; Jardin, N. (2018): Taschenbuch der Stadtentwässerung. 32. Auflage, VULKAN-VERLAG GMBH.
- Kaiser, M. (2004): Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung als Baustein einer nachhaltigen Siedlungsentwicklung - demonstriert mithilfe der Entwicklung und Umsetzung von Modellprojekten. Dissertation. Universität Dortmund, Dortmund. Fakultät Raumplanung. Online verfügbar unter <https://eldorado.tu-dortmund.de/bitstream/2003/2849/1/Kaiserunt.pdf>, zuletzt geprüft am 17.03.2020.
- KaiserIngenieure; Ingenieursgesellschaft Prof. Dr. Sieker; Planungsbüro DTP; Universität Stuttgart (2014): Grün durch Blau. Integrale Wasserwirtschaft als Motor der Stadt- und Freiraumentwicklung in Herten. Abschlussbericht. Hg. v. Emschergenossenschaft. Essen.
- Kleerekoper, L.; van Esch, M.; Salcedo, T. B. (2012): How to make a city climate-proof, addressing the urban heat island effect. In: *Resources, Conservation and Recycling* 64, S. 30–38. DOI: 10.1016/j.resconrec.2011.06.004.

Kluge, B.; Sommer, H.; Kaiser, M. (2016): Leistungsfähigkeit und Zustand langjährig betriebener dezentraler Regenwasserversickerungsanlagen (LEIREV). Abschlussbericht. Online verfügbar unter https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/forschung/170815_LEIREV/LEIREV_Abschlussbericht_2016.pdf, zuletzt geprüft am 29.11.2019.

Kluge, Th.; Libbe, J. [Hrsg.] (2010): Transformationsmanagement für eine nachhaltige Wasserwirtschaft – Handreichung zur Realisierung neuartiger Infrastrukturlösungen im Bereich Wasser und Abwasser, 204 S.

Köhler, M. (2006): Long-Term Vegetation Research on Two Extensive Green Roofs in Berlin. In: *Urban Habitats* 4, S. 3–26. Online verfügbar unter http://urbanhabitats.org/v04n01/berlin_pdf.pdf, zuletzt geprüft am 26.08.2020.

KURAS (Konzepte für urbane Regenwasserbewirtschaftung und Abwassersysteme), <http://www.kuras-projekt.de/index.php?id=76>, zuletzt geprüft am 25.03.2021.

Landsbo, A.; Persson, J.; Cedergren, J.; Kasimir, K. (2018): New waste and wastewater management system in Oceanhamnen. <https://hplus.helsingborg.se/new-waste-and-wastewater-management-system-in-oceanhamnen/> (10.03.2021).

Leimbach, S.; Brendt, T.; Ebert, G.; Jackisch, N.; Zieger, F.; Kramer, S. (2018): Regenwasserbewirtschaftungsanlagen in der Praxis: Betriebssicherheit, Kosten und Unterhaltung. Betriebssicherheit, Kosten und Unterhaltung. Freiburg u. a. Online verfügbar unter <https://d-nb.info/1170582435/34>, zuletzt geprüft am 29.08.2020.

Lennartsson, M.; McConville, J.; Kvarnström, E.; Hagman, M.; Kjerstadius, H. (2019): Investments in innovative, urban sanitation – Decision-making processes in Sweden. In: *Water Alternatives*, Jg. 12, 2, S. 588 – 608.

Libbe, J. (2017): Gekoppelte Infrastrukturen sind nicht nur eine technische Herausforderung. In: DiFU-Berichte, 2017, 1, <https://difu.de/sites/default/files/archiv/publikationen/zeitschriften/difu-berichte/berichte-2-17-internet.pdf>, zuletzt geprüft am 12.03.2021.

Matzinger, A.; Riechel, M.; Remy, C.; Schwarzmüller, H.; Rouault, P.; Schmidt, M. et al. (2017): Zielorientierte Planung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung. Ergebnisse des Projektes Kura. Kuras-Leitfaden. Berlin. Online verfügbar unter http://www.kuras-projekt.de/fileadmin/Dokumente/Verwaltung/pdf/20170428_Leitfaden_Regenwasser_full_final_med_res.pdf, zuletzt geprüft am 07.04.2020.

Matzinger, A.; Riechel, M.; Remy, C.; Schwarzmüller, H.; Rouault, P.; Schmidt, M. et al. (2017): Zielorientierte Planung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung. Ergebnisse des Projektes KURAS. Berlin. Online verfügbar unter http://www.kuras-projekt.de/fileadmin/Dokumente/Verwaltung/pdf/20170428_Leitfaden_Regenwasser_full_final_med_res.pdf, zuletzt geprüft am 14.11.2018.

Metzger, S.; Tjoeng, I.O.; Rößler, A.; Schwentner, G.; Rölle, R. (2014): Kosten der Pulveraktivkohleanwendung zur Spurenstoffelimination am Beispiel ausgeführter und in Bau befindlicher Anlagen. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall*, Jg. 61, 11, GFA.

microm Micromarketing-Systeme und Consult GmbH (Hrsg.) (2019): *Das Datenhandbuch 2019*. Neuss, URL zuletzt geprüft am 17.03.2020.

Militzer, K.; Faber, P.; Fritz, A.; Sander, K.; Bröder, F. (2017): *Der Starkregen-Kompass - Gefahrenbasierte Maßnahmenfindung zur Vorbeugung von Schäden durch Starkregen. Maßnahmenkatalog als Anhang zum "Starkregen-Kompass"*. Online verfügbar unter <http://www.ewa.uni->

bonn.de/e.wa/eWaComponents/Literature/3_eWaJournal/pdf/Attachments/Vol2/Anhang%20C%204.1_Ma%C3%9Fnahmenkatalog.pdf, zuletzt geprüft am 29.11.2019.

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg [Hrsg.] (2015): Leitfaden Energieeffizienz auf Kläranlagen.

Mohr, M.; Beckett, M.; Schließmann, U., Erlbeck, R.; Trosse, R. (2018): Vacuum sewerage systems – a solution for fast growing cities in developing countries?. In: *Water Practice & Technology*, Jg. 13, 1, S. 157 – 163.

Mohr, M.; Iden, J.; Beckett, M. (2016): Guideline: Vacuum sewer systems. Fraunhofer IGB.

Mohr, M.; Trösch, W. (2013): Semi-centralised urban water management as prerequisite for water reuse. In: *Milestones in Water Reuse – The Best Success Stories*, 2013, 1, IWA Publishing, London, UK.

Muschalla, D.; Gruber, G.; Scheucher, R. (2014): ECOSTORMA - Ökologische und ökonomische Massnahmen der Niederschlagswasserbewirtschaftung. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien.

Oldenburg, M.; Giese, T.; Londong, J. (2016): Kreis – Ergebnisse für die Übertragbarkeit in die Praxis. In: *KA Korrespondenz Abwasser, Abfall*, Jahrgang 63, 11, S. 968-974.

Reese, M.; Gawel, E.; Geyler, S. (2015): Die Nachhaltigkeitsgebote der Siedlungswasserwirtschaft – Kernziele, Grundvoraussetzungen und institutionelle Ansatzpunkte nachhaltiger Wasserver- und Abwasserentsorgung. In: Erik Gawel (Hg.): *Die Governance der Wasserinfrastruktur. Rahmenbedingungen, Herausforderungen und Optionen*. 1. Aufl. Berlin: Duncker & Humblot (Studien zu Umweltökonomie und Umweltpolitik, Band 1), S. 197–289.

Rösler, C.; Bunzel, A.; Völker, V.; Wittkötter, F.; DiFU (Deutsches Institut für Urbanistik) [Hrsg] (2011): *Klimaschutz in Kommunen – Praxisleitfaden*. DiFU, ifeu (Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH), (Koop.) Klimabündnis – Climate Alliance – Alianza del Clima e.V., Frankfurt am Main, online verfügbar unter <https://difu.de/publikationen/2011/klimaschutz-in-kommunen>, zuletzt geprüft am 25.03.2021.

Ruland, G. (2002): *Freiraumqualität im Geschosswohnungsbau. Diskussion über die Qualität der Freiraumplanung im mehrgeschossigen Wohnbau der 90er Jahre am Beispiel von Wien*. Hannover, Univ., Diss., 2002.

Sartorius, C.; Hillenbrand, T.; Levai, P.; Nyga, I.; Schulwitz, M.; Tettenborn, F. (2016a): Indikatoren zur Bewertung alternativer Wasserinfrastrukturen im Projekt TWIST++. TWIST++ Arbeitspapier – AP 5. Online verfügbar unter http://www.twistplusplus.de/twist-wAssets/docs/Steckbriefe/nichttechnische_Arbeiten/Indikatoren_Bewertung_2016-11.pdf, zuletzt geprüft am 16.03.2016.

Sartorius, C.; Hillenbrand, T.; Niederste-Hollenberg, J. (2019): Multikriterielle Bewertung von Wasserinfrastruktursystemen im Kontext der SDGs. In: Walter Leal Filho (Hg.): *Aktuelle Ansätze zur Umsetzung der UN-Nachhaltigkeitsziele*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 271–289.

Sartorius, C.; Lévai, P.; Nyga, I.; Sorge, C.; Menger-Krug, E.; Niederste-Hollenberg, J.; Hillenbrand, T. (2017): Multikriterielle Bewertung von Wasserinfrastruktursystemen am Beispiel des TWIST-Modellgebietes Lünen. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall - KA 64* (11), S. 999–1007.

Sartorius, C.; Menger-Krug, E.; Niederste-Hollenberg, J.; Sorge, C.; Hillenbrand, T. (2016b): Bewertung der alternativen Wasserinfrastruktur in Lünen (1. Ausbaustufe). TWIST++ Entwurfspapier – AP 5. Online verfügbar unter http://www.twistplusplus.de/twist-wAssets/docs/Steckbriefe/nichttechnische_Arbeiten/Bewertung_Luenen_Stufe1_2016-11.pdf, zuletzt geprüft am 16.03.2017.

- Schätzl, L.; Oertel, H.; Banse, J.; Killische, W.; Jentsch, S.; Glatter, J.; Kaufmann, K. (2007): Investitionsprozesse im Wohnungsbestand - unter besonderer Berücksichtigung privater Vermieter. Berlin, Bonn: BMVBS; BBR (Forschungen / Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, H. 129).
- Scherzer, U. (2004): "Hertha, ich geh' mal eben meine Runde" – Freiräume für ältere Menschen. In: wohnbund-informationen (4), S. 30–32.
- Selle, K. (Hrsg.) (1993): Freiräume für Gemeinschaften in der Stadt. Gemeinschaftlich nutzbare Freiräume in alten und neuen Wohnsiedlungen; Entwicklungen, Beobachtungen und Fragen. Dortmund: Dortmunder Vertrieb für Bau- und Planungsliteratur (Werkbericht der Arbeitsgruppe Bestandsverbesserung, 33).
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung (2010): Konzepte der Regenwasserbewirtschaftung. Gebäudebegrünung, Gebäudekühlung. Leitfaden für Planung, Bau, Betrieb und Wartung. Online verfügbar unter http://www.gebaeudekuehlung.de/SenStadt_Regenwasser_dt_gross.pdf, zuletzt geprüft am 07.05.2020.
- Seyfang, V. (1980): Freiraumnutzung im Geschosswohnungsbau – Theoretische Überlegungen und empirische Grundlagen zu einer nutzerorientierten Planung und Gestaltung der Freiräume im Geschosswohnungsbau. Minerva Publikation München.
- Sieker, F. (2004): Regen(ab)wasserbehandlung und -bewirtschaftung unter Berücksichtigung der Anforderungen nach § 7a WHG und einer möglichst ortsnahen Versickerung. Forschungsbericht 298 26 516. UBA-FB 000607. Unter Mitarbeit von Büro Wassmann, Fachhochschule Lübeck und Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH. Hg. v. Umweltbundesamt. Berlin (Texte, 09/04). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/2923.pdf>, zuletzt geprüft am 18.03.2020.
- Sieker, F.; Sieker, H.; Zweynert, U. (2009): Konzepte für bundeseinheitliche Anforderungen an die Regenwasserbewirtschaftung. In: UBA-Texte, 2009, 19, UBA.
- Sieker, H. (1999): Generelle Planung Regenwasserbewirtschaftung in Siedlungsgebieten. Dissertation. TU Darmstadt, Darmstadt. Bauingenieurwesen.
- Sieker, H.; Steyer, R.; Büter, B.; Leßmann, D.; von Tils, R.; Becker, C.; Hübner, S. (2019): Untersuchung der Potentiale für die Nutzung von Regenwasser zur Verdunstungskühlung in Städten. UBA [Hrsg.], UBA Texte 111/2019.
- Siemonsen, K. (2004): Anforderungen von (Be)Nutzern an den Freiraum. Erfahrungsbericht aus dem Alltag in einem Wohnungsunternehmen. In: wohnbund-informationen (4), S. 10–12.
- Spitthöver, M. (2004): Perspektiven für künftige Wohnfreiräume im Geschosswohnungsbau. In: wohnbund-informationen (4), S. 42–45.
- Stengel, J.; Unholzer, M.; Hiete, M.; Lützkendorf, T. (2012): Wohngebäude. Deutschland. In: Breun, P.; Comes, T.; Doll, C.; Fröhling, M.; Hiete, M. [Hrsg.]: National Integrated Assessment Modelling zur Bewertung umweltpolitischer Instrumente. Entwicklung des otello-Modellsystems und dessen Anwendung auf die Bundesrepublik Deutschland, Bd. 1. Hannover, Karlsruhe: Technische Informationsbibliothek u. Universitätsbibliothek; KIT Scientific Publ (Produktion und Energie / Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Industriebetriebslehre und industrielle Produktion, 1), S. 225–345.
- Strehl, C.; Offermann, M.; Hein, A.; Heinzmann, B. (2017): Ökonomische Effekte der Regenwasserbewirtschaftung am Beispiel Berlins. IWW-Teilbericht: Ökonomische Effekte der Regenwasserbewirtschaftung am Beispiel Berlins. Hg. v. Konzepte für urbane Regenwasserbewirtschaftung und Abwassersysteme (Kuras). Bundesministerium für Bildung und Forschung.

TEEB-DE (Hrsg.) (2016): Ökosystemleistungen in der Stadt. Gesundheit schützen und Lebensqualität erhöhen. Kowarik, Ingo; Bartz, Robert; Brenck, Miriam. Leipzig: Naturkapital Deutschland-TEEB DE. Online verfügbar unter http://www.naturkapital-teeb.de/fileadmin/Downloads/Projekteigene_Publikationen/TEEB_Broschueren/TEEB_DE_Stadtbericht_Langfassung.pdf.

Thiele, M. (2015): Klimaschutzpotenzialanalyse von Dach-, Fassaden- und Straßenbaumbegrünung. Ein Beitrag zum Klimaschutzmanagement Klausenerplatz, Berlin Charlottenburg. Masterarbeit. Hochschule für Nachhaltige Entwicklung Eberswalde, Eberswalde. Fachbereich Wald und Umwelt. online verfügbar unter https://www.berlin.de/ba-charlottenburg-wilmersdorf/assets/umweltamt/klimaschutz/klimaschutzpotenzialanalyse_von_dach-fassaden-und_strassenbaumbegruenung.pdf, zuletzt geprüft am 21.04.2020.

Tolksdorf, J.; Bieker, S.; Cornel, P. (2016a): Implementation of SEMIZENTRAL – An integrated Approach for Fast-Growing Cities. Dresden Nexus Conference Working Paper Series DNC, Dresden, Februar 2015.

Tolksdorf, J.; Lu, D.; Kale, S.; Bieker, S.; Dai, X.; Wagner, M. (2016b): Semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme für schnell wachsende urbane Räume – Konzept und Realisierung. In: Mit Abwasserbehandlung Zukunft gestalten, 2016, 88, S. 63 – 78.

Trapp, J.H.; Winker, M. (2020): Blau-grün-graue Infrastrukturen vernetzt planen und umsetzen – Ein Beitrag zur Klimaanpassung in Kommunen. Forschungsverband netWORKS, 149 S., online verfügbar unter <https://networks-group.de/de/publikationen/monografien.html>, zuletzt geprüft am 12.03.2021.

Trapp, J.H.; Winker, M.; Libbe, J. (2017): Wasserinfrastruktur: Den Wandel gestalten – Technische Varianten, räumliche Potentiale, institutionelle Spielräume. In: Edition DiFU, Bd. 16, Bundesministerium für Bildung und Forschung (Förd.), 272 S.

Tränckner, J.; Franz, T.; Winkler, U.; Obermayer, A.; Frehmann, R.; Jathe, R.; Freymuth, J. (2013): Wirtschaftliche Auswirkungen veränderlicher Rahmenbedingungen auf Abwasserentsorgungsunternehmen. In: Korrespondenz Abwasser und Abfall, Jg. 60, 2, S. 111 – 120.

Umweltbundesamt [Hrsg.] (2010): Aufwand und Nutzen einer optimierten Bioabfallverwertung hinsichtlich Energieeffizienz, Klima- und Ressourcenschutz. 2010, 43, Umweltbundesamt.

Wise, S.; Braden, J.; Ghalayini, D.; Grant, J.; Kloss, C.; MacMullan, E. et al. (2010): Integrating Valuation Methods to Recognize Green Infrastructure's Multiple Benefits. In: Scott Struck und Keith Lichten (Hg.): Low Impact Development 2010. Low Impact Development International Conference (LID) 2010. San Francisco, California, United States, April 11-14, 2010. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, S. 1123–1143.

Woess-Gallasch, S.; Frieden, D.; Aichinger, W.; Rest-Hinterseer, R.; Haslinger, R.; Korpitsch, G. et al. (2017): Innovatives Finanzierungs- und Geschäftsmodell für PV Gemeinschaftsanlagen auf Mehrparteienhäusern zur Vor-Ort Nutzung. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. Wien (Berichte aus Energie- und Umweltforschung, 33/2017). Online verfügbar unter https://www.ichtus.steiermark.at/cms/dokumente/12641122_142617604/eb0ddd5a/schriftenreihe-2017-33-pv4residents.pdf, zuletzt geprüft am 29.08.2020.

Wüstneck, T. (2020): Einflussfaktoren auf die Hofnutzung in Bestandswohngebieten. Masterarbeit. Universität Leipzig, Fakultät für Physik und Geowissenschaften, Institut für Geographie. Stand: 03.08.2020. Unveröffentl.

Wuttke, M.; Meier, M. (2016): Kreislaufwirtschaft in der Abwasserbehandlung – Die großtechnische Umsetzung des HAMBURG WATER Cycle® in der Jenfelder Au in Hamburg. In: Transforming Cities, 2016, S. 36 – 39.

A Anhang zu Kapitel 5

Tabelle 27: Literaturquellen zu Kostendaten

	BSU (2013)	Leimbach et al. (2018)	Muschalla et al. (2014)	Sieker (1999)	Strehl et al. (2017)
Datenerhebung/-quelle	Erfahrungswerte aus Beispielprojekten	Datenerhebung in Zusammenarbeit mit kommunalen Partnern u. a. Stadtentwässerung Hannover, Tiefbauamt Münster, Umweltschutzamt Freiburg	Literaturlauswertung	Literaturlauswertung	Auswertung von Bauakten der BfWB, deutschsprachigen Quellen 2011 bis 2015 und Umfrage an projektinterne und -externe Institutionen
Gebietsbezug	Nicht weiter spezifiziert	Deutschland (Münster, Hannover Freiburg) sowie Emschergebiet und Einzelprojekte in Baden-Württemberg	Deutschsprachige Quellen, Anwendung für Österreich	Deutschland, verschiedene Quellen,	Deutschland (nicht weiter eingegrenzt)
Bezugsjahr	2013	2016	Keine Angaben	1999, hochgerechnet auf 2019	Keine Angaben
Flächenbezug der Kosten	Angeschlossene versiegelte Fläche A_U sowie Versickerungsfläche A_S	V. a. angeschlossene undurchlässige Fläche A_U	Abflusswirksame Fläche A_{red}	Angeschlossene, befestigte Fläche A_{red} und Versickerungsfläche A_S	Angeschlossene, befestigte Fläche $A_{E,b}$ und Maßnahmenoberfläche
Berücksichtigte Kostenpositionen	Gesamtbaukosten einschließlich Erdarbeiten, Bodenabfuhr, Fertigstellungspflege	Baukosten netto (Bauwerk, techn. Ausstattung) ohne Grunderwerb; Planungs- und Baunebenkosten als 15%iger Zuschlag; laufende Kosten z. T. als Anteil der Investitionskosten (1,5-3%)	Nicht angegeben	Nicht angegeben	Einmalige Investitionen für Bau der Maßnahme, jährliche Auszahlungen für Betrieb- und Instandhaltung

Entwurf: S. Geyler, E. Hofmann.

Tabelle 28: Datensammlung zu Investitionskosten bezogen auf versiegelte Fläche

	Strehl et al. (2017, S. 63)			BSU (2013, 21-29)			Muschalla et al. (2014, S. 26–27)			Leimbach et al. (2018, S. vi–viii) ¹			Kostenschätzung/ vereinfachte Vorplanung ³		
	Min	Median	Max	Min	Arith. Mittel ²	Max	Min	Arith. Mittel ²	Max	Min	Median	Max	Min	Mittel ⁴	Max
Einheit ⁵	€/m ² $A_{E,b}$			€/m ² A_U			€/m ² A_{red}			€/m ² A_U			€/m ² A_v		
Extensives Gründach	12	31	124	20	33	45	13	31	50	-	-	-	-	28	-
Flächenversickerung	0	5	10	2	14	25	3	20	37	20	-	129	-	6	-
Mulde	1	4	10	3	5	7	1	4	8	2	20	129	-	5	-
Rigole	4	12	80	5	9	12	1	7	12	9	30	203	-	10	-
Mulden-Rigolen-System	4	7	28	15	20	25	13	20	28	5	30	82	-	16	-
Sickerschacht	6	15	25	15	20	25	10	15	20	-	-	-	-	26	-

¹ eigene Auswertung der im Anhang des Berichts veröffentlichten Rohdaten, auf 2016 bezogen; ² Mittlerer Wert berechnet anhand Min- und Max-Werten; ³ Schätzung im Rahmen dieses Berichtes - vgl. Kap. 3.7; ⁴ Kostengerüst 2 für weitere Berechnungen; ⁵ Flächenbezug lt. Quellen: A_U - angeschlossene undurchlässige Fläche (bei BSU 2013 - angeschlossene versiegelte Fläche); A_{red} - abflusswirksame Fläche bzw. angeschlossene, befestigte Fläche; $A_{E,b}$ - angeschlossene, befestigte Fläche; A_v - versiegelte Fläche (vgl. Kapitel 3.3.2); keine weiteren Preisvereinbarungen; Berechnung und Entwurf: E. Hofmann, S. Geyler.

Tabelle 29: Datensammlung zu Investitionskosten bezogen auf Versickerung-/Maßnahmenfläche¹

	Strehl et al. (2017, S. 63) ⁴			BSU (2013, 21-29)			Muschalla et al. (2014, S. 26–27)			Leimbach et al. (2018, S. vi–viii) ²			Kostenschätzung/ vereinfachte Vorplanung ⁵		
	Min	Median	Max	Min	Arith. Mittel ³	Max	Min	Arith. Mittel ³	Max	Min	Median	Max	Min	Mittel ⁷	Max
Einheit ⁶	€/m ² A _S			€/m ² A _S			€/m ² A _S			€/m ² A _S			€/m ² A _S		
Extensives Gründach	12	31	124	20	33	45	13	31	50	-	-	-	-	28	-
Flächenversickerung	0	8	16	5	15	25	15	20	25	32		206	-	10	-
Mulde	6	25	67	25	28	30	19	32	45	12	132	860	-	30	-
Rigole	54	185	1226	77	131	185	19	102	185	137	457	3124	-	151	-
Mulden-Rigolen-System	35	69	275	150	200	250	125	200	275	48	304	815	-	158	-
Sickerschacht	279	750	1250	750	1000	1250	500	750	1000	-	-	-	-	1302	-

¹ Kursive Werte ursprünglich bezogen auf versiegelte Fläche, Umrechnung entsprechend (BSU 2013, 21-29) siehe Tabelle 32; ² eigene Auswertung der im Anhang des Berichts veröffentlichten Rohdaten mit Preisbezug 2016; ³ Arithmetisches Mittel anhand Min- und Max-Werte; ⁴ Zugleich geben Strehl et al. (2017) auf S. 34 zusätzlich leicht veränderte Werte an; ⁵ Schätzung im Rahmen dieses Berichtes - vgl. Kap. 3.7; ⁶ A_S – Versickerungs- bzw. Maßnahmenfläche; ⁷ Kostengerüst 2 für weitere Berechnungen; Berechnung und Entwurf: E. Hofmann, S. Geyler.

Tabelle 30: Datensammlung zu Betriebskosten bezogen auf versiegelte Fläche¹

	Strehl et al. (2017, S. 34)			Herzer (2004, S. 73) ³			Sieker (1999, S. 208) ³			Muschalla et al. (2014, S. 26–27)			Leimbach et al. (2018, S. 65)			Mittelwerte der Betriebskosten
	Min	Mittel	Max	Min	Mittel	Max	Min	Mittel	Max	Min	Mittel	Max	Min	Mittel	Max	Arith. Mittel ⁴
Einheit ²	€/ (m ² * a) <i>A_{E,b}</i>			€/ (m ² * a) <i>A_{red}</i>			€/ (m ² * a) <i>A_{red}</i>			€/ (m ² * a) <i>A_{red}</i>			€/ (m ² * a) <i>A_U</i>			€/ (m ² * a) <i>A_U</i>
Extensives Gründach	-	1,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,50
Flächenversickerung	-	0,70	-	0,13	0,27	0,45	-	-	-	0,05	0,1	0,15				0,36
Mulde	-	0,16	-	0,07	0,10	0,22	-	0,15	-	0,1	0,15	0,25		0,12		0,14
Rigole	-	0,10	-	0,09	0,09	0,09	-	0,08	-	-	-	-				0,09
Mulden-Rigolen-System	-	0,11	-	0,07	0,07	0,07	-	0,08	-	-	-	-		0,08		0,09
Sickerschacht	-	-	-	0,07	0,07	0,07	-	0,08	-	-	-	-	-	-	-	0,78 ³

¹ Kursive Werte ursprünglich bezogen auf Maßnahmenfläche, Umrechnung entsprechend (BSU 2013, 21-29) siehe Tabelle 32; ² Flächenbezug lt. Quellen: *A_U* - angeschlossene undurchlässige Fläche (bei BSU 2013 - angeschlossene versiegelte Fläche); *A_{red}* - abflusswirksame Fläche bzw. angeschlossene, befestigte Fläche; *A_{E,b}* - angeschlossene, befestigte Fläche; *A_v* - versiegelte Fläche (vgl. Kapitel 3.3.2); ³ auf Preisbasis 2018 hochgerechnet; ⁴ Grundlage für alle Kostengerüste bei weiteren Berechnungen; Berechnung und Entwurf: E. Hofmann, S. Geyler.

Tabelle 31: Datensammlung zu Betriebskosten bezogen auf Maßnahmenfläche¹

	(Strehl et al. 2017, S. 34)			(Herzer 2004, S. 73) ²			(Sieker 1999, S. 208) ²			(Muschalla et al. 2014, S. 26–27)			(Leimbach et al. 2018, S. 65)			Mittelwerte der Betriebskosten
	Min	Mittel	Max	Min	Mittel	Max	Min	Mittel	Max	Min	Mittel	Max	Min	Mittel	Max	Mittel ³

	€/m ² * a) A _s			€/m ² * a) A _s			€/m ² * a) A _s			€/m ² * a) A _s			€/m ² * a) A _s			
Extensives Gründach	-	1,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,50
Flächenversickerung	-	1,12	-	0,22	0,43	0,72	-	-	-	0,25	1,00	1,75				0,85
Mulde	-	1,05	-	0,50	0,70	1,50	-	1,50	-	0,25	1,00	1,75		0,83		1,02
Rigole	-	1,54	-	1,38	1,38	1,38	-	1,16	-	-	-	-				1,36
Mulden-Rigolen-System	-	1,10	-	0,75	0,75	0,75	-	0,75	-	-	-	-		0,83		0,86
Sickerschacht	-	-	-	3,75	3,75	3,75	-	3,76	-	-	-	-	-	-	-	39,06 ³

¹ Kursive Werte ursprünglich bezogen auf versiegelte Fläche, Umrechnung entsprechend (BSU 2013, 21-29) – siehe Tabelle 32; ² auf Preisbasis 2018 hochgerechnet; ³ Grundlage für alle Kostengerüste bei weiteren Berechnungen; Berechnung und Entwurf: E. Hofmann, S. Geyler.

Tabelle 32: Verhältnis der angeschlossenen versiegelten Fläche zur Maßnahmenfläche - Literaturangaben

Maßnahme		Verhältnis	Verwendetes Verhältnis	Quelle
Flächenversickerung	A_S zu A_U	0,25 bis 1	0,625	BSU (2013, S. 21)
Flächenversickerung	A_S zu A_{red}	0,5	0,500	Sieker (1999, S. 206)
Muldenversickerung	A_S zu A_U	0,1 bis 0,2	0,150	BSU (2013, S. 23)
Muldenversickerung	A_S zu $A_{E,b}$	0,19	0,190	Strehl et al. (2017, S. 34, 63)
Muldenversickerung	A_S zu A_{red}	0,2	0,200	Sieker (1999, S. 206)
Rigolen-Versickerung	A_S zu A_U	0,06 bis 0,07	0,065	BSU (2013, S. 25)
Rigolen-Versickerung	A_S zu A_{red}	0,12	0,120	Sieker (1999, S. 206)
Mulden-Rigolen-Syst.	A_S zu A_U	0,08 bis 0,12	0,100	BSU (2013, S. 27)
Mulden-Rigolen-Syst.	A_S zu $A_{E,b}$	0,12	0,120	Strehl et al. (2017, S. 34, 63)
Mulden-Rigolen-Syst.	A_S zu A_{red}	0,1	0,100	Sieker (1999, S. 206)
Schachtversickerung	A_S zu A_U	< 0,02	0,020	BSU (2013, S. 29)
Schachtversickerung	A_S zu A_{red}	0,01	0,010	Sieker (1999, S. 206)

A_U - angeschlossene undurchlässige Fläche (bei BSU 2013 - angeschlossene versiegelte Fläche); A_{red} - abflusswirksame Fläche bzw. angeschlossene, befestigte Fläche; $A_{E,b}$ - angeschlossene, befestigte Fläche; A_S - Versickerungs- bzw. Maßnahmenfläche; Entwurf: E. Hofmann, S. Geyler

Tabelle 33: Szenarienbezogene Maßnahmenflächen für die Ausprägungen des Szenarios 6

Szenario	Mulden- Rigolen- System	Extensives Gründach	Sickerschacht
	m ²	m ²	m ² A_S
6-SZ5-4	78.700	8.300	5
6-SZ30-4	131.500	19.700	93
6-SZ100-4	162.000	29.900	710
6-SZ5-6	219.900	29.900	350
6-SZ30-6	354.400	31.800	1490
6-SZ100-6	443.000	44.800	2960

Eigene Berechnungen anhand der Angaben aus Abschnitt 3. Berechnung und Entwurf: E. Hofmann, S. Geyler.

Tabelle 34: Ausgewertete Bebauungsstrukturen im Untersuchungsgebiet Leipzig-Nord

Bebauungsstruktur	Relativer Anteil an Fläche	Anzahl Flurstücke	Mittlere Flurstücksgröße [m ²]	Mittlerer Anteil versiegelter Fläche	Mittlerer Anteil an Freifläche
Blockbebauung	22,4 %	844	1255	65 %	35 %
freistehendes Gebäude	18,5 %	538	824	40 %	60 %

Bebauungsstruktur	Relativer Anteil an Fläche	Anzahl Flurstücke	Mittlere Flurstücksgröße [m ²]	Mittlerer Anteil versiegelter Fläche	Mittlerer Anteil an Freifläche
Heterogene Bebauung	41,5 %	1135	921	54 %	46 %
Zeilenbebauung	17,6 %	388	1508	43 %	57 %

Eigene Auswertung auf Grundlage von Daten der: Stadt Leipzig, Amt für Geoinformation und Bodenordnung 2019 (Stand 2019); Entwurf. E. Hofmann, S. Geyley.

Tabelle 35: Quellen zu Hofnutzungen

Nutzung bzw. Funktion	Quelle
Erholungs- und Rückzugfunktion	Heinemann et al. 2008, S. 206; Breitfuss & Klausberger 1999, S. 120; Curdes 1993, S. 217; Drum et al. 1988, S. 2.1; Siemonsen 2004, S. 10; Ruland 2002, S. 129, 137, 140; Selle 1993, S. 36; Seyfang 1980, S. 49ff., 186
Gärtnerische Nutzung	Ruland 2002, S. 127
Infrastrukturelle Versorgung	Breitfuss & Klausberger 1999, S. 118
Knüpfen und Pflegen nachbarschaftlicher Kontakte – Begegnungsstätte/Kommunikationsstätte	Burri 2004, S. 18; Curdes 1993, S. 217; Heinemann et al. 2008, S. 207f.; Breitfuss & Klausberger 1999, S. 122f.; Siemonsen 2004, S. 11; Ruland 2002, S. 127, 137,140; Scherzer 2004, S. 31
Ökologische Funktion	Breitfuss & Klausberger 1999, S. 123ff
Repräsentations-/Imagefunktion	Burri 2004, S. 17; Breitfuss & Klausberger 1999, S. 124
Sport und Spiel für Kinder und Erwachsene	Heinemann et al. 2008, S. 206; Breitfuss & Klausberger 1999, S. 121f.; Curdes 1993 S. 217; Drum et al. 1988, S. 2.1; Siemonsen 2004, S. 11f; Selle 1993, S. 36; Ruland 2002, S. 130f., 137
Standort für Gemeinschaftseinrichtungen	Breitfuss & Klausberger 1999, S. 119; Selle 1993, S. 35f.
Stellplatzfunktion	Breitfuss & Klausberger 1999, S. 119; Curdes 1993, S. 218 Ruland 2002, S. 141; Selle 1993, S. 36;
Verkehrsfunktion - Anbindung an das öffentliche Verkehrsnetz	Breitfuss & Klausberger 1999, S. 119; Ruland 2002, S. 137
Wohnfunktion	BBSR 2014, S. 8

Entwurf: T. Wüstneck nach Wüstneck 2020 verändert.