

BMBF FÖRDERRICHTLINIE
Ressourceneffiziente Stadtquartiere für die Zukunft



ABSCHLUSSBERICHT

TEIL A

„STRATEGIEKOMPONENTEN“



**RESSOURCENOPTIMIERTE TRANSFORMATION VON
MISCH- UND TRENNENTWÄSSERUNGEN
IN BESTANDSQUARTIEREN MIT HOHEM SIEDLUNGSDRUCK**

FKZ 033W105 A-M

Verbundkoordinatorin:
Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der
Leibniz Universität Hannover (ISAH)
Dr.-Ing. Maike Beier
Welfengarten 1, 30167 Hannover

Wiss. Projektleitung und -koordination:

Dr.-Ing. M. Beier, Prof. Dr.-Ing. S. Köster

Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der
Leibniz Universität Hannover (ISAH)
Welfengarten 1
30167 Hannover

Internet: www.isah.uni-hannover.de

Redaktion:

Dr.-Ing. Maike Beier, Dr.-Ing. Nina Gerlach

Zu zitieren als Gesamtdokument:

Beier, M. et al. (2023): Gesamt-BMBF-Abschlussbericht FKZ 033W105 A-M des Forschungsprojekts TransMiT - Ressourcenoptimierte Transformation von Misch- und Trennwässerungen in Bestandsquartieren mit hohem Siedlungsdruck der BMBF Fördermaßnahme RES:Z, Laufzeit 4'19 – 8'22

Unterkapitel:

Autoren in der Reihenfolge der Nennung (2023): Strategiekomponente, Kapitelüberschrift, in Gesamt-BMBF-Abschlussbericht FKZ 033W105 A-M des Forschungsprojekts TransMiT - Ressourcenoptimierte Transformation von Misch- und Trennwässerungen in Bestandsquartieren mit hohem Siedlungsdruck, BMBF Fördermaßnahme RES:Z, Laufzeit 4'19 – 8'22

Hannover, 2023

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht	
3. Titel	<p>Abschlussbericht des Verbundprojekts TransMiT „Ressourcenoptimierte Transformation von Misch- und Trennentwässerungen in Bestandsquartieren mit hohem Siedlungsdruck“</p> <p>Teil A – Strategiekomponenten</p>	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Dr.-Ing. Maike Beier und alle Mitarbeiter*innen im Verbundprojekt vollständige Liste siehe Bericht	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.08.2022 6. Veröffentlichungsdatum 5.4.2023 7. Form der Publikation Gedruckt und elektronisch (pdf)	
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Leibniz Universität Hannover, ISAH, Welfengarten 1, 30163 Hannover TU Braunschweig, ISWW, Pockelsstr. 2a, 38106 Braunschweig TU Dortmund, Institut für Raumplanung (IRPUD), August-Schmidt-Str. 10, 44227 Dortmund Universität Leipzig, IIRM, Grimmaische Str. 12, 04109 Leipzig BPI Hannover Verworn Beratende Ingenieure, Mengendamm 16D, 30177 Hannover Spar- und Bauverein eG, Arndtstraße 5, 30167 Hannover Wohnungsgenossenschaft Gartenheim eG; Hildesheimer Str. 142, 30173 Hannover Landeshauptstadt Hannover, FB 67 & 68, Arndtstraße 1, 30167 Hannover Stadtentwässerung Braunschweig GmbH, Taubenstraße 7, 38106 Braunschweig Stadtentwässerung Hildesheim Kommunale AöR, Kanalstraße 50, 31137 Hildesheim	9. Ber. Nr. Durchführende Institution	10. Förderkennzeichen FKZ 033W105 A-M
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben 166	11. Seitenzahl 212
	14. Tabellen 20	15. Abbildungen 55
16. Zusätzliche Angaben Ergänzend zu dem vorliegenden Abschlussbericht werden zwei weitere Berichtsteile veröffentlicht Teil B Detaillierte Einzelberichte zu verschiedenen APs der Forschungsphase TransMiT (veröffentlicht 4'23) Teil C Abschlussbericht der Verstetigungsphase TransKOM (voraussichtl. In 2026)		
18. Kurzfassung Die in den letzten Jahren mit Engagement vorangetriebene Transformation der Siedlungsentwässerung zeigt deutliche Grenzen der allein durch die Stadtentwässerungen erreichbaren Umsetzung im Bestand . Ziel des Vorhabens TransMiT war es daher aufzuzeigen und zu bewerten, wie städtebauliche mit wasserwirtschaftlichen Aspekten bei einer Quartiers- und Infrastrukturplanung unter Berücksichtigung einer Gesamtbetrachtung der Ressourcen langfristig synergetisch verknüpft werden können zur Weiterentwicklung von Bestandsquartieren. Als Basis der strategischen Quartiersentwicklung wurden in systemcharakteristischen Bestandsquartieren der Städte Braunschweig, Hannover und Hildesheim technische und institutionelle Forschungsansätze in der Praxis untersucht und weiterentwickelt. Die in TransMiT in den Mittelpunkt gestellte zentrale siedlungswasserwirtschaftliche Frage „Wohin sollen sich die urbanen Entwässerungssysteme im Kontext der gesamtstädtischen Herausforderungen entwickeln?“ wird konkret mit der Ausformulierung des Konzepts der qualitätsbasierten Trennentwässerung (qbTE) beantwortet. Die qbTE stellt dabei die (Niederschlags-)Wasserqualität in den Mittelpunkt und eröffnet damit konkrete und niedrigschwellige Regenwassernutzungsoptionen auf Quartierebene. Daneben gibt die qbTE weitergehende Orientierung an der Schnittstelle von städtischem Wassermanagement und Stadtentwicklung, indem die oberirdische Quartiersgestaltung und damit die Stadtplanung sektorübergreifend mit einbezogen wird, durch gemeinsame Beplanung von urbanen Bereichen zur Identifikation und Umsetzung multifunktionaler Infrastrukturelemente oder durch Abstimmung von Flächennutzungen/Baumaterialien mit dem Ziel eine gute Niederschlagsqualität zu gewährleisten. In dem vorliegenden Abschlussbericht zur Forschungsphase TransMiT werden zur Unterstützung der Anwendung und Übertragung für andere Kommunen im Teil A „Strategiekomponenten“ die Forschungsergebnisse aller Teilprojekte und Umsetzungspiloten in den methodischen Kontext der übergeordneten Umsetzungsansätze gestellt.		
19. Schlagwörter Qualitätsbasierte Trennentwässerung, Schwammstadt, integrale Stadtplanung, städtisches Wassermanagement, Klimaanpassung, Hitzereduzierung, Multifunktionale Nutzung, Anreizsysteme, Niederschlagswasserqualität, Bestandquartiere, Regenwassernutzung, blau-grüne Infrastruktur		
20. Verlag	21. Preis	

Verbundpartner

Forschungseinrichtungen



ISAH – Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Leibniz Universität Hannover



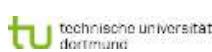
ikg – Institut für Kartographie und Geoinformatik der Leibniz Universität Hannover



ISWW – Institut für Siedlungswasserwirtschaft der TU Braunschweig



IIRM – Institut für Infrastruktur und Ressourcenmanagement der Universität Leipzig



TUD – Technische Universität Dortmund,
Institut für Raumplanung (IRPUD)

Städtische Fachbereiche/Stadtentwässerungen



SEH – **FB 68** Stadtentwässerung Hannover,
Eigenbetrieb der Landeshauptstadt Hannover



LHH – FB 67.10 – Landeshauptstadt Hannover,
Fachbereich Umwelt und Stadtgrün



SEHi – Stadtentwässerung Hildesheim Kommunale
Anstalt des öffentlichen Rechts



SEBS – Stadtentwässerung Braunschweig GmbH

Kommunale Akteure/Genossenschaften



GH – Wohnungsgenossenschaft Gartenheim eG



spar + bau – Spar- und Bauverein eG

Wirtschaftsunternehmen/Planer



bpi – BPI Hannover * Verworn Beratende Ingenieure



aquaplaner – aquaplaner Ingenieurgesellschaft für
Wasserwirtschaft, Umwelt, Abwasser



plan zwei – plan zwei Stadtplanung und Architektur

Autoren

	Maike Beier Stephan Köster Jessica Gerstendorfer Nils Kabisch Greta Hadler Dirk Weichgrebe Sara Zahedi Nezhad Leo Fuhrmann Regina Nogueira Urda Düker Estefania Carpio
	Udo Feuerhake Yu Feng
	Sören Hornig Katrin Bauerfeld
	Stefan Geyler Tobias Wüstneck Annika Diemar Erik Hofmann
	Mathias Kaiser Sina Hilgers Charlotte Löchte
	FB 68 Ylva Lund-Weiss Ina Kaiser
	FB 67 Elizabeth Czorny Vanessa Reder
	Erwin Voß Julius Bockmann
	Aslan Belli Andreas Hartmann
	Alexander Verworn
	Uwe Klaus
	Ulrich Berding

Kurzfassung

Der Weg zur klimaangepassten, ressourceneffizienten und lebenswerten blau-grünen Schwammstadt ist eine weitreichende Transformationsaufgabe, die nicht allein die Siedlungswasserwirtschaft betrifft. Es handelt sich um eine Stadtidee, die durch Stadtplaner und -gestalter sowie Akteure aus den Sektoren der Wasserwirtschaft, Mobilität, Umwelt und Energie nur gemeinsam entwickelt und umgesetzt werden kann. Ausgehend von einem Ensemble von Einzelmaßnahmen bis hin zu einem vernetzten kommunizierenden Gefüge entsteht mit der Schwammstadt - vorrangig an der städtischen Oberfläche - eine neue wasserwirtschaftliche Infrastruktur.

Es ist demnach zu definieren, wie sich das Konzept der blaugrünen, klimaangepassten Schwammstadt in die bestehenden urbanen Entwicklungsziele integrieren lässt, ohne die maßgeblichen Aufgaben der Siedlungswasserwirtschaft genauso wenig zu kompromittieren wie Kernaufgaben anderer Sektoren der Stadtgestaltung z. B. der Verkehrs- oder Wohnungswirtschaft. Nur wenn diese Integrationsaufgabe gelöst wird, ist das Entwicklungsziel eines großen städtischen Wasserwirtschaftsraumes und Wasserspeicher im Einklang und Ergänzung der gesamtstädtischen Transformation zu einer resilienten, ressourceneffizienten, smarten und lebenswerten Stadt erreichbar.

Ziel in **TransMiT** war es daher, in diesem Anforderungskontext aufzuzeigen und zu bewerten, wie städtebauliche mit wasserwirtschaftlichen Aspekten bei einer Quartiers- und Infrastrukturplanung langfristig synergetisch verknüpft, die verschiedenen Alternativen differenziert bewertet und gemeinwohlorientiert gesteuert werden können.

Die in **TransMiT** in den Mittelpunkt gestellte zentrale siedlungswasserwirtschaftliche Frage „Wohin sollen sich die urbanen Entwässerungssysteme im Kontext der gesamtstädtischen Herausforderungen entwickeln?“ wird konkret mit der Ausformulierung des Konzepts der qualitätsbasierten Trennwässerung (qbTE) beantwortet. Diese Entwässerungsstrategie stellt die (Niederschlags-)Wasserqualität in den Mittelpunkt und eröffnet (auf Quartierebene) konkrete und niedrigschwellige Regenwassernutzungsoptionen. Sie gibt ferner weitergehende Orientierung an der Schnittstelle von städtischem Wassermanagement und Stadtentwicklung, indem die oberirdische Quartiersgestaltung und damit die Stadtplanung sektorübergreifend mit einbezogen wird, z. B. durch geeignete (Bau-)Materialauswahl oder Flächennutzung, um eine gute Niederschlagsqualität zu gewährleisten. Gehen Wasserwirtschaft und Stadtentwicklung hier Hand in Hand, lässt sich heraus sogar eine zusätzliche städtische Wasserversorgungskomponente etablieren, die sich aus den lokal gesammelten Niederschlägen speist (vgl. Verstetigungsprojekt **TransKOM**).

Erneut bestätigte sich im Projektverlauf, die Relevanz der schon im Antrag für alle Transformationsschritte in Bestandsquartieren als außerordentlich wichtig eingestufte Institutionalisierung von Planungs- und Bewertungsprozessen in den kommunalen Handlungsrahmen (Umsetzungspilot UP1). Im Projekt gelang hierzu die Entwicklung eines fachbereichsübergreifenden Prozessschemas auf strategisch-rahmengebender Ebene sowie die beispielhafte Formulierung von den strategischen Planungsprozessen unterstützenden Werkzeugen der integralen Planung und kooperativen Bewertung von Maßnahmenalternativen.

In dem vorliegenden Abschlussbericht zur Forschungsphase **TransMiT** werden zur Unterstützung der Anwendung und Übertragung für andere Kommunen nachfolgend in einem **Teil A „Strategiekomponenten“** die Forschungsergebnisse aller Teilprojekte und Umsetzungspiloten in den methodischen Kontext der übergeordneten Umsetzungsansätze gestellt. Die Einzelergebnisse und Detailbeschreibungen einzelner Arbeitspakete können

dann im **Berichtsteil B „Detailberichte“** vertieft betrachtet werden. Hiermit hoffen wir sowohl einen Einblick in die strategisch/konzeptionellen Ergebnisse zu ermöglichen im Sinne der konzeptionellen Transformation, als auch den vielen Detail-Erkenntnissen und Einzel-Forschungsergebnissen ausreichend Raum zu geben und dadurch einer direkten Nutzung zugänglich zu machen.

Der **Teil A “Strategiekomponenten“** des **TransMiT**-Abschlussberichts besteht aus vier Hauptkapiteln. Nach einer in Kapitel 2 zusammenfassenden Beschreibung der beiden Kernelemente einer städtischen Klimaanpassung im Zusammenspiel mit der Stadtentwässerung werden die Ergebnisse für die in **TransMiT** bearbeiteten drei Strategiekomponenten in den Abschnitt A.I bis A.III vorgestellt. In Abschnitt A.I und A.II werden die mit dem Gesamtkonzept der qbTE entwickelten Einzelkomponenten sowie ihre Integration und Synergien in das Gesamtkonzept qbTE für die verschiedenen Systembereiche der Entwässerung (A.I) und der BGI (A.II) mit den Themen Abkopplung, Hitze, Nutzung und NW-Qualität und -reinigung beschrieben. Abschnitt A.III wird der Erläuterung des im Rahmen der Strategiekomponente 3 „Institutionalisierung“ entwickelten, die integrale Planung unterstützenden kommunalen Prozessablaufs „Stadt-Quartier 2050+“ gewidmet. Im Fokus steht hier in Abgrenzung zu den zurzeit anlassbezogenen Planungen, die Formulierung eines langfristig ausgerichteten quartierspezifischen Leitbilds, das als Rahmen die Effizienz der konkreten Planungen stärkt und durch transparente Abläufe und Arbeitshilfen die Berücksichtigung der Anforderungen aus den verschiedenen Fachbereichen verbessert, Synergien aufzeigt, aber auch Priorisierungen durch die Gesellschaft ermöglicht.

Detaillierte Informationen zu den in **TransMiT** schwerpunktmäßig ausgearbeiteten Methoden und Werkzeugen werden im **Teil B „Detailberichte“** beschrieben – gegliedert nach den in Teil A beschriebenen Schwerpunkten. Die Einzelkapitel stehen jeder für sich alleine und geben die Möglichkeit auch Einzelergebnisse entsprechend darzulegen. Während Teil A als Ganzes gelesen werden kann und aufeinander aufbaut, besteht kein direkter Zusammenhang zwischen den einzelnen Kapiteln in Teil B. Einzelne Datenreihen oder Modellierungsergebnisse finden sich ebenfalls in Teil B dann jeweils als Anhang zu den einzelnen Unterkapiteln.

Beide, für die Transformation der städtischen Entwässerung in **TransMiT** als maßgebend identifizierten Ansätze werden aktuell in dem nachfolgenden Verfestigungsprojekt **Trans-KOM** (Integration einer ressourcenoptimierten Trennentwässerung durch Transformation kommunaler Planungsprozesse für Bestandsquartiere) aufgegriffen und zur praxistauglichen Umsetzung weitergeführt. Die Ergebnisse werden in Komplettierung der vorliegenden Berichtsteile als **Teil C** nach Abschluss des Projektes **TransKOM** voraussichtlich in 2026 veröffentlicht.

Inhaltsverzeichnis

Verbundpartner	1
Autoren	3
Kurzfassung	4
Inhaltsverzeichnis.....	6
Abbildungsverzeichnis.....	10
Tabellenverzeichnis.....	14
Abkürzungsverzeichnis.....	15

1. Projektziel und -struktur	1
2 Stadtentwässerung als gesamtstädtische Aufgabe – das Konzept der qualitätsbasierten Trennentwässerung	4
2.1 Aktuelle Herausforderung bei der Transformation städtischer Entwässerungssysteme im Bestand.....	4
2.2 Konzept der qualitätsbasierten Trennentwässerung.....	7
2.3 „Stadtquartier 2050+“ – ein integraler, strategischer Quartiersplanungs-Prozess.....	12
A.I Strategiekomponente 1:.....	15
Transformation der Entwässerung im Bestand (qbTE)	15
1. Systemintenintegration der qbTE	16
1.1 Oberflächige Ableitung von leicht-verschmutztem Niederschlagswasser (Notwasserwege)	18
1.1.1 Nacherfassung von Daten in fließwegrelevanten Bereichen zur verbesserten oberflächigen Abflussmodellierung	19
1.1.2 Alternativen-Identifikation oberflächiger Abflusswege im Gesamtquartierskontext und bautechnische Gestaltungsvarianten	22
1.2 Kanalnetzsteuerung zur dynamische Wasserabnahme durch Kläranlage und Speicherräume	25
1.2.1 Entwicklung einer Niederschlagswasserweiche zur flexiblen Steuerung des Entwässerungsweges.....	26
1.2.2 Modelltechnische Untersuchungen zur Identifizierung von Speicher-räumen im Kanal	29
1.3 Maximale Annahmekapazität der Kläranlage	29
1.3.1 Erhöhung der maximalen Annahmekapazität der KA Hildesheim durch angepasste Betriebsführung –Simulationsstudie	32
1.3.2 Großtechnische Umsetzung Bypass Belebung zur Analyse der Betriebsauswirkung	33
1.3.3 Beispielhafter Fahrplan für eine KA-Anpassung im Rahmen der Umsetzung der qbTE im Stadtgebiet.....	34
1.4 Potenzialanalyse am Beispiel der Stadt Hildesheim	36

2. Niederschlagswasserqualität als neues Entscheidungskriterium der Trennwässerung.....	39
2.1 Niederschlagswasserqualität im urbanen Raum.....	41
2.2 Ansätze zur Prognose der Niederschlagswasserqualität	45
3. Potential qbTE hinsichtlich eines ressourcenoptimierten Stoffstrommanagement im Quartier.....	49
3.1 Küchenabfall-Zerkleinerer in Synergie mit qbTE	50
3.2 Potentialabschätzung KAZ im Untersuchungsgebiet Hildesheimer Neustadt	51
3.3 Randbedingungen für KAZ-Integration	53
A.II Strategiekomponente 2: Synergien und Einbindung von blau-grünen Infrastrukturelementen.....	56
1. Einsatz und Wirkung blau-grüner Infrastruktur im urbanen Wassermanagement.....	58
1.1 Funktion der BGI im urbanen Wassermanagement.....	60
1.2 BGI zur hydraulischen Abkopplung	61
1.3 BGI als Elemente der dezentralen Reinigung von Niederschlagswasser (am Beispiel Retentionsbodenfiltern).....	63
1.3.1 Technischer Aufbau und Kennwerte zur Reinigungsleistung für Biozide	63
1.3.2 Einbindung des Retentionsbodenfilters im Quartier	65
1.4 BGI-Integration in Bestandsquartieren am Beispiel Dachbegrünung	67
2. Wirkweise blau-grüner Infrastruktur zur Abminderung von Wärmeinseleffekten in Städten.....	70
2.1 Quartierspezifisches Bewertungssystem zum Einsatz BGI.....	72
2.2 Einfluss von Moosfassaden auf das lokale Kleinklima.....	74
2.2.1 Besonderheiten von Moos als Fassadenbegrünung.....	74
2.2.2 Effekte auf das Kleinklima (Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Verdunstungsleistung).....	75
2.3 Potentiale von BGI-Elementen in Innenhöfen zur Verbesserung des Kleinklimas.....	77
2.3.1 Beschreibung der Innenhöfe und Messstationen.....	77
2.3.2 Ergebnisse Wetterstation: Heiße Tage und Tropennächte	79
2.3.3 Ergebnisse Drohnenmessung: Oberflächentemperaturen blauer und grüner Innenhof.....	82
2.3.4 Ergebnisse Simulation	84
2.3.5 Zusammenfassende technische Bewertung	85
3. Wasserbedarf und Bereitstellung von Niederschlagswasser für BGI.....	86
3.1 Wasserhaushalt und -bedarf im Quartier.....	88
3.2 Stadtwasser – eine komplementäre Wasserversorgungsinfrastruktur im Kontext qbTE	91
3.3 Wasserbedarf am Beispiel von Urban Gardening Projekten	93

4. Hygieneaspekte bei der Nutzung von Niederschlagswasser im Quartier	95
4.1 Methodik der quantitative mikrobielle Risikoanalyse (QMRA)	96
4.2 Einordnung der Gefährdungsrisiken.....	97
4.3 Screening und Ergebnisse für verschiedene BGI.....	99
4.3.1 Wasserelement „Brunnen“ (öffentlicher Raum).....	99
4.3.2 Wasserelement „Teich“ und „Zisterne“ (geschützter Bereich – Innenhof)	103
4.4 Berücksichtigung der QMRA bei der Planung und im Betrieb	106
5. Ziele und Kriterien zur Beurteilung von BGI.....	107
5.1 Ziele der Regenwasserbewirtschaftung und abgeleitete Kriterien	107
5.2 Indikatoren.....	109
A.III Strategiekomponente 3: Institutionalisierung	113
1. Ausgangssituation // Defizitanalyse	114
1.1 Ist-Zustand und Defizite	115
1.2 Verbesserungspotential für kommunale Planungsprozesse	118
1.2.1 Gewässerschutz/ordnungsgemäß Regenwasserbewirtschaftung durch Transformation des Entwässerungssystems	120
1.2.2 Schnittstelle Gewässerschutz/ordnungsgemäß Regenwasser- bewirtschaftung durch Abkopplung Entwässerungsflächen.....	121
1.2.3 Schnittstelle Annäherung an den natürlichen Wasserhaushalt.....	121
1.2.4 Schnittstelle Überflutungsschutz/Starkniederschläge	121
1.2.5 Schnittstelle Hitzevorsorge	122
1.2.6 Schnittstelle Bewässerung von Stadtgrün	122
1.2.7 Schnittstelle Einbindung privater Grundstückseigentümer	123
2. Einbindung integraler Planungsansätze in ausgewählte kommunale Prozesse.....	124
2.1 Überblick über kommunale Planungsebenen.....	125
2.2 Planungsprozess auf Objektebene	127
2.2.1 Verbesserung des Kommunikationsprozesses	127
2.2.2 Verbesserung des Prozessablaufs	129
2.3 Prozessablauf „Stadt-Quartier 2050+“ als Weiterentwicklung des „Mein Quartier 2030“ – Prozesses.....	134
3. Tools für integrale Planung (stadtinterne Perspektive)	138
3.1 Bedarfsanalyse als Grundlage für eine Potentialanalyse	139
3.2 Tabellen für Scopingtermin	140
3.3 Interaktive Maßnahmentabelle	143
3.4 Maßnahmensteckbriefe	144
3.5 Ziele-Aufgaben-Maßnahmen (ZAM)-Matrix.....	145
3.6 Nutzenbewertung.....	150

4. Anreizsysteme	153
4.1 Förderung stadtinterner Kooperationen.....	154
4.1.1 Hintergrund und konzeptioneller Ansatz	154
4.1.2 Analyse der Aufgaben der Fachbereiche und deren Bedeutung für die Umsetzung der Oberziele	157
4.1.3 Finanzierungsansätze.....	164
4.2 Anreizsysteme gegenüber Grundstückseigentümern	169
5. Literaturverzeichnis.....	171
6. Veröffentlichungen im Projekt TransMiT	182

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Einordnung der Ergebnisse der Umsetzungspiloten des F&E-Projektes TransMiT nach Art und Reifegrad (System: SRL, Technik: TRL)	2
Abbildung 3:	Arbeitsplan Verstetigungsprojekt TransKOM	3
Abbildung 4:	Anteile der mit Mischkanalisation entwässerten Stadtgebieten für Hildesheim und Hannover	4
Abbildung 5:	Traditionelle vs. Qualitätsbasierte Trennentwässerung als Prinzipskizze	7
Abbildung 6:	Das Konzept der qualitätsbasierten Entwässerung von Niederschlagswasser	8
Abbildung 7:	Einbindung des neu entwickelten integralen Prozessablaufs Stadt-Quartier 2050+ (grün) in die bestehenden innerstädtischen Abläufe (blau) und ergänzende Kommunikations-Dokumente	13
Abbildung 8:	Methoden zur Nacherfassung von fließwegrelevanter Bereichen (o.l.) Punktwolken durch Mobile Mapping System am Neustädter Markt in Hildesheim, (o.r.) Bodenoberfläche nach Fusion DGM und Mobile Mapping System, (u.l.) Klassifizierung der Geländeoberfläche (Asphalt, Pflastersteine, Gras, Bordsteinkante) für die Neustadt in Hildesheim und (u.r.) Erkennung von Fassadenöffnungen mit Hilfe von Deep-Learning-Modellen	21
Abbildung 9:	Entwicklung einer Benchmark Bibliothek für Oberflächenabfluss mit Referenzlösungen basierend auf analytischen Lösungen hier beispielhafte Darstellung eines Referenzlösungs-Sets bestehend aus der Vektorbeschreibung, dem FEM-Model und den verschiedenen Lösungskurven der Wassertiefe	22
Abbildung 10:	Fließweg Markt – Mühlengraben Ergebnis der Schritte 1 bis 3	25
Abbildung 11:	Ausschnitt 2D Oberflächenabfluss Fließweg Markt-Mühlengraben MR50	25
Abbildung 12:	Konzept der regelbaren NW-Ableitung mittels hydraulischer Weiche	27
Abbildung 13:	Konzeptionelle Bauwerksgestaltung zur Umsetzung einer hydraulischen Weiche.....	27
Abbildung 14:	Auszug aus Versuchsprogramm: NH4-N Spitzen bedingt durch den Bypassbetrieb Belebung	34
Abbildung 15:	Konzeptionelle Skizze für eine fiktive Erhöhung der dynamischen Annahmekapazität auf der Kläranlage Hildesheim mit zusätzlichen Betriebsstrategien (grün) und ohne Betriebsstrategien (orange)	35
Abbildung 16:	Bandbreite der gemessenen Konzentrationen an CSB und AFS im Bestandsgebiet und Neubaugebiet [Quelle: Eigene Darstellung, ISWW].....	41
Abbildung 17:	Beispielhafter Konzentrationsverlauf der Biozide Diuron (links) und Terbutryn (rechts) inklusive Transformationsprodukte im Niederschlagswasserabfluss eines Neubaugebietes [Quelle: Eigene Darstellung, ISWW]	42
Abbildung 18:	Bandbreite gemessener Konzentrationen der Biozide Diuron und Terbutryn inklusive Transformationsprodukte im Niederschlagswasserabfluss eines Neubaugebietes [Quelle: Eigene Darstellung, ISWW]	43

Abbildung 19:	Beispielhafter Verlauf der Konzentrationen an CSB und AFS im Bestandsgebiet (links) und Neubaugebiet (rechts), verschiedene Regenereignisse [Quelle: Eigene Darstellung, ISWW]	44
Abbildung 20:	Beispielhafte M-V-Kurve [Quelle: Eigene Darstellung, ISWW].....	45
Abbildung 21:	Konzeptionelle Darstellung der Methodik zur Auswertung der Verschmutzungsdynamik für eine qualitätsbasierte Trennentwässerung [Quelle: Eigene Darstellung, ISWW).....	47
Abbildung 22:	Klimabilanz für das Untersuchungsbiet Hildesheimer Neustadt [Quelle: Habernickel 2022]	52
Abbildung 23:	Fließbild Verwertung NuK – Ausnahmeregelung [Quelle: Eigene Darstellung]	53
Abbildung 24:	Einzugsgebiet (orange) des Regenrückhaltebecken bzw. der Retentionsbodenfilteranlage (blau) in Braunschweig/Weststadt; bearbeitet; Quelle © OpenStreetMap-Mitwirkende (Stand Mai 2019), Lizenz www.openstreetmap.org/copyright	66
Abbildung 25:	Beispielhafter Status Quo, mögliche zukünftige Dachbegrünung bei Sonne und Starkregen (von links nach rechts) (Freie Hansestadt Bremen 2020)	67
Abbildung 26:	Schematische Darstellung des Zusammenspiels von Messungen und Modellierung bei der modellbasierten Planung - einschließlich der verschiedenen in TransMiT verwendeten Methoden (grauer Hintergrund) und spezifischer Forschungsgegenstände, die zur Veranschaulichung der Methoden ausgewählt wurden (rosa eingerahmte Felder mit Ausrufezeichen).	73
Abbildung 27:	Standorte der betrachteten Wetterstationen, Google Maps Bildschirm-Aufnahme (Kartendaten © 2021 GeoBasis-DE/BKG © 2009, Google). Vertikal beträgt die Länge ca. 18 km und horizontal beträgt die Breite des Ausschnitts ca. 17 km.....	79
Abbildung 28:	Anzahl der heißen Tage (blau) und tropischen Nächte (rot) im Vergleich in Hannover 2020 für die Mobilstationen Marianne-Baecker-Allee, Weidendamm und Kattenbrookspark sowie Flughafen und blauer Innenhof.....	80
Abbildung 29:	Maximale Lufttemperaturen vom 8. August 2020 für die 6 Standorte und Differenz zwischen den Höchsttemperaturen des Innenhofs und der MBA-Station in rot (horizontale Linie = 30 °C-Grenze; vertikale Linien = Sonnenaufgang/Sonnenuntergang; schwarze Symbole = Höchsttemperatur für jede Station).....	81
Abbildung 30:	Minimale Lufttemperaturen in der Nacht vom 8. auf den 9. August 2020 (horizontale schwarze Linie = 20 °C; schwarzen Sterne = Mindesttemperaturen für jede Station)	81
Abbildung 31:	Temperaturamplitude am 8. August 2020 für die Stationen Innenhof (blau) verglichen mit den Stationen im Stadtgebiet Kattenbrookspark (KP) und Marianne-Baecker-Allee (MBA).	82
Abbildung 32:	Vergleich zwischen Luftbild (a1, a2) und Infrarotbild (b1, b2) für einen blauen und grünen Innenhof (Institut für Meteorologie und Klimatologie (IMuK), Meusel, G. 2020).....	83

Abbildung 33:	Ergebnisse der vertikalen Sondierung im blauen (links) und grünen (rechts) Innenhof (Institut für Meteorologie und Klimatologie (IMuK), Meusel, G. 2020). (gelb = potentielle Temperaturprofil, rot = Temperaturprofil, blau = Feuchtigkeitsprofil).....	83
Abbildung 34:	In PALM-4U modellierte Oberflächentemperaturen für die verschiedenen Landoberflächenklassifikationen um 14:00 MESZ (links) und während der Nacht um 04:00 MESZ (rechts). Quelle: GEO-NET Umweltconsulting GmbH (2021)	85
Abbildung 35:	Wasserbilanz im natürlichen Zustand [eigene Darstellung, aquaplaner]	88
Abbildung 36:	Vier Qualitätskategorien für Stadtwasser [Köster und Beier, 2021].....	92
Abbildung 37:	Gegenüberstellung des zusätzlichen Wasserbedarfes [in mm bzw. l/m ² a] ausgewählter Projekte in den Jahren 2019 und 2020. Grün: Hochbeete mit hauptsächlich mit Leitungswassernutzung, Rot: ebenerdiger Projekte hauptsächlich mit Regen- und Grundwassernutzung, Gelb: Durchschnitt.....	94
Abbildung 38:	Die vier ausgewählten Brunnen in der Stadt Hannover A) Blätterbrunnen (Wikipedia; Schroeder (2014). CC BY-SA 4.0.) B) Klaus-Bahlsen-Brunnen C) Körtingbrunnen D) Marstallbrunnen (eigene Fotos ISAH).....	101
Abbildung 39:	Ergebnisse der Beobachtungsstudien an den vier verschiedenen Brunnen a) Anzahl der Personen bei den verschiedenen Brunnen und der Art des b) Grafische Darstellung der Expositionszeit für Personen, die direkten Kontakt mit dem Wasser hatten..	101
Abbildung 40:	Infektionsrisiko einer Person pro Tag (pppd) an den jeweiligen Brunnen für E. coli (links) und Enterokokken (rechts). Die Linie im weißen Quadrat stellt den Medianwert dar, die weißen Kästchen stellen den Interquartilbereich dar (25–75%), kleine schwarze Kreuz stellen die Ausreißer dar und die Bereichsleiste zeigt die Höchst- und Mindestwerte.....	102
Abbildung 41:	Sensitivitätsanalyse für Enterokokken im Körtingbrunnen (links) und im Klaus-Bahlsen-Brunnen (rechts) Parameters: h: Wasserfilmdicke auf der Hand, A: Oberfläche die vom Mund auf der Hand bedeckt wird, fHM: Häufigkeit des Hand-Mund-Kontaktes, VD: Volumen der Wassertropfen, fD: Häufigkeit der aufgenommenen Wassertropfen, VM: Wasservolumen in einem Mund, fM: Häufigkeit, wie oft vom Wasser getrunken wird, t: Expositionszeit und C: Konzentration der Mikroorganismen.	103
Abbildung 42:	Die vier Probenahmestellen im Innenhof Südstadt A) tiefer Teich, B) flacher Teich, C) Zisternen im Schatten (die zweite von oben), D) Zisterne in der Sonne (zweite von oben) [Quelle: eigene Fotos, ISAH].....	103
Abbildung 43:	Infektionsrisiko einer Person pro Ereignis (pppe) für E. coli (A) und Enterokokken (B) bei vier verschiedenen Wasserelementen im Innenhof (tief. Teich: tiefer Teich, flach. Teich: flacher Teich, So. Zisterne: Zisterne in der Sonne, Sch. Zisterne: Zisterne im Schatten. Dargestellt sind hier die verschiedenen Szenarien: nasse Hände, nasses Gesicht, orale Aufnahme. Die Linie in den Quadranten stellt den Medianwert dar, die Kästchen stellen den Interquartilbereich dar (25–75 5), kleine Kreise stellen die Ausreißer dar und die Bereichsleiste zeigt die Höchst- und Mindestwerte. Die graue Linie stellt das tolerierbare Risiko entsprechend der USEPA dar.....	104
Abbildung 44:	Indikator-Typen und Anwendung in TransMiT nach Schebek et al. (2022)	110

Abbildung 45:	Quartiersebene als strategische Planungsebene und ihre Kommunikationsbeziehungen.....	126
Abbildung 46:	Modell des heutigen Kommunikationsprozesses.....	128
Abbildung 47:	Modell eines integralen Kommunikationsprozesses.....	129
Abbildung 48:	Modellhafter Ablauf eines Scopingtermins unter Einbeziehung der TransMiT-Tools	131
Abbildung 49:	Integrale Regenwasserbewirtschaftung „Stadtteilpark Möhringsberg“; eigene Zeichnung (eigene Darstellung, Vanessa Reder)	133
Abbildung 50:	Einbindung des neu entwickelten integralen Prozessablaufs „Stadt-Quartier 2050+“ (grün) in die bestehenden innerstädtischen Abläufe (blau) und ergänzende Kommunikations-Dokumente.....	136
Abbildung 51:	Maßnahmensteckbrief Zisterne	144
Abbildung 52:	Kosten-Nutzwert-Analyse und Minimalkosten von BGI-Maßnahmenoptionen [Quelle: Geyler/Diemar, IIRM].....	151
Abbildung 53:	Konzeptioneller Ansatz [S. Geyler, A. Diemar]	156
Abbildung 54:	Ablaufschema für die Ermittlung der Aufgabenverteilung/-gewichtung (Eigener Entwurf).....	158
Abbildung 55:	Erfolgsbedingung für die Kooperation zwischen Fachbereichen bei multifunktionalen Ansätzen	166

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Ergebnisse der Langzeitsimulation einer geregelten NW-Ableitung im Modellgebiet (siehe auch Teil B 4.4)	28
Tabelle 2:	Betrachtet Maßnahmen zur Erhöhung der Behandlungskapazität von Mischwasser im Rahmen der qualitätsbasierten Trennentwässerung.....	31
Tabelle 3:	Fahrplan Kläranlagenanpassung im Rahmen der Umsetzung der qbTE im Stadtgebiet	35
Tabelle 4:	Gemessene Konzentrationen abwassertechnisch relevanter Parameter im Niederschlagswasser [Quelle: Eigene Daten (ISWW, (Wicke et al. 2021))]	42
Tabelle 5:	Gegenüberstellung der Planungsziele der Stadtentwässerung bei den verschiedenen Strategien der Regenwasserbewirtschaftung	60
Tabelle 6:	Eigenschaften der untersuchten Innenhöfe	78
Tabelle 7:	Abschätzung des Bewässerungsbedarfs am Beispiel Hannover.....	90
Tabelle 8:	Übersicht über Wasserbedarfe, die durch qualitätsgesichertes Regenwasser gedeckt werden können - aus (Köster und Beier 2023).....	90
Tabelle 9:	Anerkannte Kriterien zur Beurteilung unterschiedlicher Maßnahmen zur Regenwasserbewirtschaftung und Einordnung dieser Kriterien im Hinblick auf ihre Ziele zur Darstellung des Vorgehens bei der Definition von Leistungskriterien und Nutzenbewertung (beispielhaft und nicht vollständig) ...	107
Tabelle 10:	Leistungsindikatoren zur Bewertung von BGI-Maßnahmen	111
Tabelle 11:	BGI-Bewertung: Angesetzte Prozesse und Leistungsindikatoren bezogen auf entsprechende Maßnahmen und bewertet über eine 3-stufige Skala	112
Tabelle 12:	Abfragetabelle Scoping	140
Tabelle 13:	Ergebnistabelle Scoping.....	141
Tabelle 14:	Übersicht der Handlungsoptionen für Planbeispiel Stadtteilpark Möhringsberg.....	142
Tabelle 15:	Interaktive Maßnahmentabelle (hinterlegt mit Maßnahmensteckbriefen)	143
Tabelle 16:	Struktur der Ziel-Aufgaben-Maßnahmen (ZAM)-Matrix.....	147
Tabelle 17:	Anwendungsbeispiel - Synergien für Zielerreichung.....	147
Tabelle 18:	Anwendungsbeispiel – Synergien für Maßnahmenumsetzung	148
Tabelle 19:	Fachbereiche Tiefbau, Umwelt und Stadtgrün und Stadtentwässerung Hannover – relativer Anteil an Aufgaben mit Beziehung zu den Oberzielen sowie mit einer Pflicht zu deren Berücksichtigung (Bearbeitung: Projektverbund TransMiT, unter Mitarbeit von S. Graupner)	159
Tabelle 20:	Nutzenverteilung von ausgewählten BGI zwischen den Fachbereichen in ihrer Rolle als Anbieter öffentlicher Güter für die Bürgerinnen und Bürger – vereinfacht (eigene Darstellung)	165

Abkürzungsverzeichnis

AFS	Abfiltrierbare Stoffe
ALS	Airborne Laser Scanning
AP	Arbeitspaket
ARA	Abwasserreinigung
AST	Abflusssteuerung
BEZ	Bioenergiezentrum Hildesheim
BGI	Blau-Grüne-Infrastrukturelemente
CSB	Chemischer Sauerstoff Bedarf
DBPK	Dachbegrünungs-Potentialkatastern
ddPCR	Differential-Display PCR
DGM	Digitales Geländemodell
Dr	Drosselorgan
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
DWD	Deutscher Wetterdienst
EFRE	Europäische Fonds für regionale Entwicklung
EZG	Einzugsgebiet
FB	Fachbereich
GIS	Geoinformationssystem
GRZ	Grundflächenzahlen
HCGI	Humanes Choriongonadotropin
KA	Kläranlage
KAZ	Küchenabfall-Zerkleinerer
KOSSMA	Kommunales Stoffstrommanagement
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
MBA	Mechanisch Biologische Abfallbehandlung
MMS	Mobile Mapping System
MQ 2030	Mein-Quartier 2030
MW	Mischwasser
NKB	Nachklärbecken

NuK	Nahrung und Küchenabfälle
NW	Niederschlagswasser
qbTE	Qualitätsbasierte Trennentwässerung
QMRA	Quantitative mikrobielle Risikoanalyse
qPCR	quantitative Echtzeit-PCR
RBF	Retentionsbodenfilter
RRB	Regenrückhaltebecken
RW	Regenwasser
RWQC	Recreational Water Quality Criteria
SDG	Sustainable Development Goal
SEH	Stadtentwässerung Hannover
SEHi	Stadtentwässerung Hildesheim, kommunale Anstalt des öffentlichen Rechts
SRL	System Readiness Level
THG	Treibhausgas
TRL	Technology Readiness Level
UP	Umsetzungspilot
UAB	Untere Abfallbehörde Hildesheim
UWB	Untere Wasserbehörde Hildesheim
VKB	Vorklärbecken
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
ZAH	Zweckverband Abfallwirtschaft Hildesheim
ZAM	Ziele-Aufgaben-Maßnahmen
örE	Öffentlich-rechtlicher Entsorgungsträger

1. Projektziel und -struktur

Die Kanalisation dient der Sammlung und Abfuhr von Abwasser in besiedelten Gebieten und ist damit ein essentieller Beitrag zur Stadthygiene. Die Sammlung und Ableitung von Regenwasser beugt städtischer Vernässung und Überflutung vor. Zunehmende Starkregenereignisse und vermehrte Anforderungen an die Behandlung von Niederschlagwasser mit dem Ziel der Entlastung der Trinkwasserbereitstellung in Trockenzeiten zwingen die Verantwortlichen, die städtischen Entwässerungen anzupassen, zu modifizieren bzw. zu transformieren - quartiersorientierte, dezentrale Abkopplungskonzepte sind kurzfristig zu entwickeln. Insbesondere die kennzeichnende Flächenversiegelung im urbanen Raum erzeugt dabei durch geringe Wasseraufnahme- und Verdunstungspotentiale erhöhte Anforderung an die Entwässerungssysteme. Die in den letzten Jahren mit Engagement vorangetriebene Transformation der Siedlungsentwässerung im Bestand zeigt in diesem Kontext deutliche Grenzen der allein durch die Stadtentwässerungen erreichbaren Umsetzung von angepassten, resilienten Entwässerungssystemen, da unterirdische Infrastrukturen in hochverdichteten städtischen Lagen nicht beliebig erweiterbar oder modifizierbar sind. Unter Berücksichtigung dieser Rahmenbedingungen sind weitere Optionen aufzuzeigen, wie gezielte Maßnahmen an der Oberfläche, die angestoßene Transformation der unterirdischen Infrastrukturen flankieren können, um das Ziel einer angepassten und resilienten Stadtentwässerung zu erreichen.

Hier setzt TransMiT an, mit dem Ziel, beispielhaft eine integrierte und maßnahmenoffene Planung zur nachhaltigen, ressourcenoptimierten Transformation bestehender Entwässerungssysteme im konkreten Kontext einer strategischen Quartiersentwicklung im innerstädtischen Bestand fallspezifisch zu entwickeln.

Übergeordnetes technisches und wissenschaftliches Projektziel ist es, den kommunalen Fachbereichen und planenden Stadtentwässerungen innovative Verfahrenskonzepte an die Hand zu geben, mit denen die aktuellen und zukünftigen Anforderungen an urbanes Wassermanagement auch im Bestand im Einklang mit weiteren Forderungen der Quartiersentwicklung fallspezifisch bewältigt werden können. Wesentliche Ansatzpunkte sind hierbei die erweiterte Verfügbarkeit von Retentionsräumen, Abkopplungspotentialen und Mengenreduzierung durch die pilothafte Erprobung und Validierung von innovativen Einzelementen und Systemstrategien im städtischen Raum. Durch die Identifikation und Berücksichtigung quartierspezifischer Randbedingungen können angepasste integrale Umsetzungsalternativen entwickelt werden, die zum einen das Potential einer abschlagsarmen Ableitung in modifizierten Mischsystemen in Bereichen hoher Siedlungsdichte und besonderer Regenwasserbelastung erhöhen, zum anderen durch die Integration wassersensibler Infrastrukturelemente im urbanen Bestand, die zur Zeit vorhandene hohe Fremdwasserbelastung im Schmutzwasserkanal der Trennentwässerung deutlich reduzieren (und damit wiederum Abschläge bzw. zusätzliche Baumaßnahmen zur Schaffung von Stauraum verhindern), den lokalen Wasserhaushalt durch Bereitstellung qualitativen Niederschlagswassers stärkt und letztendlich Synergien mit weiteren städtischen Transformationszielen, wie z. B. der Reduzierung von Hitzebelastung durch die Identifikation und Umsetzung multifunktionaler Maßnahmen schafft.

Zur Erreichung der Projektziele wurden in **TransMiT** in drei systemcharakteristischen Bestandsquartieren der Städte Braunschweig, Hannover und Hildesheim unterschiedliche Forschungsansätze in der Praxis als Umsetzungspiloten (UP) untersucht, die auf transformationsrelevante technische und organisatorische Aspekte der ressourcenoptimierten Transformation von Misch- und Trennentwässerungen fokussieren. Im Kern des Vorhabens

stand damit die exemplarische Konzeptentwicklung und -übertragung im Rahmen einer integralen, fallspezifischen und maßnahmenoffenen Planung. Insgesamt wurden die folgenden 10 Umsetzungspiloten untersucht:

- UP1 Institutionalisierung
- UP2 Synergetische Nutzung von Dachflächen
- UP3 Potentiale Fassadengestaltung / Moos
- UP4 Oberflächige (Not-)Wasserwege
- UP5 Wasserelemente in städtischen Quartieren
- UP6 Öffentliche Nutzung von Retentionsräumen
- UP7 Weitergehende Reinigung von Regenwasser
- UP8/9 Integrale Siedlungsentwässerung – Kanal/Kläranlage
- UP10 Ressourcenoptimiertes Stoffstrommanagement im Quartier

Bei der Auswahl der technischen UPs (2 bis 10) wurde entsprechend des Projektziels, die quartiersspezifische Potentialanalyse als Basis einer ressourceneffizienten integralen Infrastrukturplanung methodisch vorzubereiten, nicht auf die vertiefte Analyse einzelner Systeme fokussiert, sondern innovative Einzelaspekte, -verfahren, -maßnahmen herausgegriffen und in ihrer Wirkung als Alternativkomponenten untersucht. Die Einordnung der einzelnen Ergebnisse der Forschungs- und Entwicklungsphase nach Art des Ergebnisses, Anwendungsziel und Reifegrad ist aufgrund der Vielfältigkeit und Umfangs in Abbildung 1 zusammengefasst. Die detaillierten Ergebnisse zu den einzelnen Umsetzungspiloten sind im Abschlussbericht „**Teil B - Detailberichte**“ zusammengefasst.

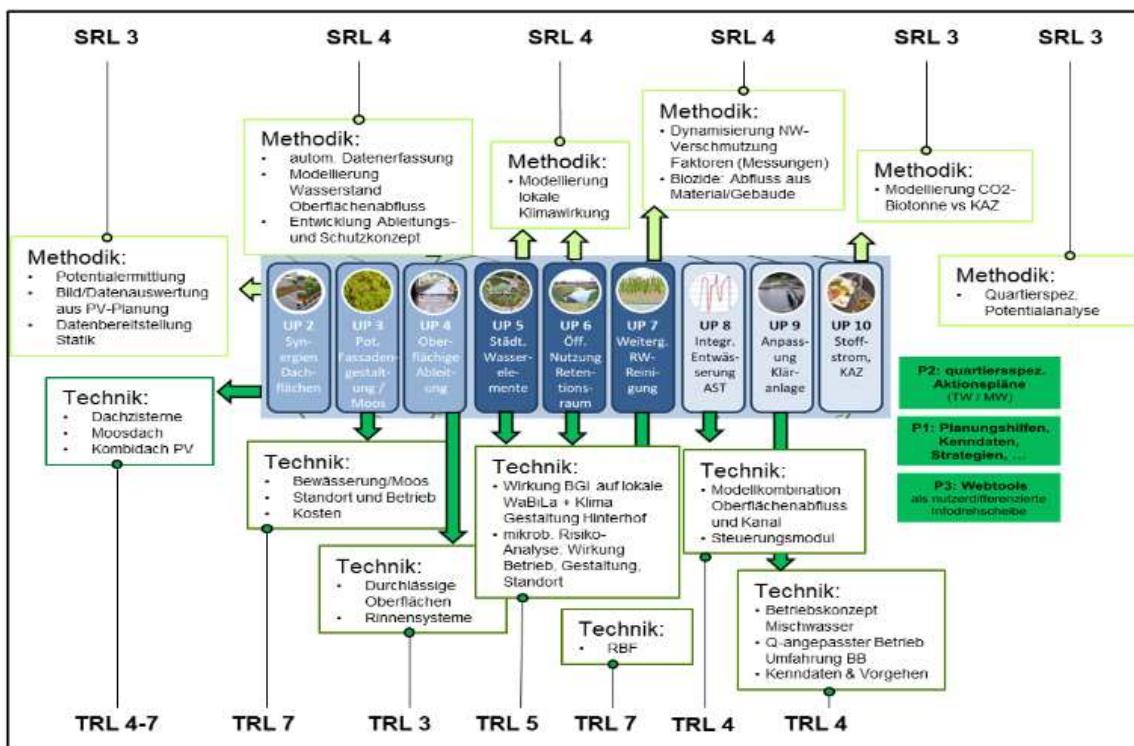


Abbildung 1: Einordnung der Ergebnisse der Umsetzungspiloten des F&E-Projektes TransMiT nach Art und Reifegrad (System: SRL, Technik: TRL)

Übergeordnet zu dem mit den praxisorientierten, innovativen Umsetzungspiloten erzielten technisch-methodischen Erkenntnisgewinn einzelner Aspekte einer ressourceneffizienten Stadtquartiersplanung wurden in **TransMiT** drei konzeptionelle Fragestellungen (bezeichnet als Strategiekomponenten) einer städtischen Transformation untersucht mit dem Ziel

methodisch-konzeptionelle Antworten zu erarbeiten. Die Ergebnisse dieser Arbeiten werden für die drei Strategiekomponenten

- **1: Transformation der Entwässerung (qbTE)**
- **2: Synergien von Infrastrukturelementen**
- **3: Institutionalisierung**

im vorliegenden TransMiT-Berichtsteil „**Teil-A Strategiekomponenten**“ zusammengefasst. Hierzu erfolgt zunächst in Kapitel 0 ein ganzheitlicher Überblick über das in TransMiT hinterlegte Konzept der qualitätsbasierten Trennentwässerung (qbTE). Sehr deutlich wurde im Verlauf des Forschungsprojektes, dass eine Transformation der Stadtentwässerung im Bestand nur erfolgreich zur Umsetzung kommt, wenn sie gleichwertiger Bestandteil integraler Planungsabläufe der Stadtplanung wird. Entsprechend wird der in TransMiT entwickelte strategische Stadtentwicklungsprozess „Stadt-Quartier 2050+“ in dem vorgelagerten Kapitel 2 ebenfalls kurz erläutert, zur Herausstellung essentieller Transformationspunkte des städtischen Verwaltungshandelns. Daran anschließend werden Einzelaspekte und zentralen Ergebnisse der drei definierten TransMiT-Strategiekomponenten in den Kapiteln A.I bis A.III dargestellt. Im Fokus steht die Darstellung der Gesamtzusammenhänge der in TransMiT entwickelten, vielfältigen Einzel-Ansätze, Modelle, Tools und Methoden.

Ziel des Berichtsteils „**Teil-A Strategiekomponenten**“ ist es damit sowohl einen zusammenfassenden Überblick über die Grundidee des im Rahmen von TransMiT für die ressourcenoptimierte und an die Bedarfe der Stadtentwässerung und Stadtplanung angepasste Weiterentwicklung von Bestandsquartieren entwickelten Konzepts der qualitätsbasierten Trennentwässerung (qbTE) zu geben, als auch die gemeinsam mit städtischen Fachbereichen und der Stadtentwässerung entwickelten prozessualen Ansätze, die für eine Umsetzung erforderlich sind, zu erläutern, wie der fachbereichsübergreifende, strategische Planungsprozess „Stadt-Quartier 2050+“ oder strategieorientierte Finanzierungsmodelle zur Aktivierung von privaten Akteuren. Diese Ansätze sind direkt auch auf andere Kommunen übertragbar und stärken damit den Prozess der Transformation im Bestand auch in anderen Kommunen. Im aktuell laufenden Verstetigungsprojekt TransKOM (FKZ 033W105; Laufzeit 2022 – 2024) werden beide Kernstrategien weiter ausformuliert und in der Implementierung erprobt (siehe nachfolgende Abbildungen). Die Ergebnisse hierzu werden mit Abschluss des Projektes als **Teil C** dieses Berichtes veröffentlicht.



Abbildung 2: Arbeitsplan Verstetigungsprojekt TransKOM

2 Stadtentwässerung als gesamtstädtische Aufgabe – das Konzept der qualitätsbasierten Trennentwässerung

Maike Beier¹, Stephan Köster¹

¹Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Leibniz Universität Hannover
Forschungsfeld Abwasser und Wassermanagement

2.1 Aktuelle Herausforderung bei der Transformation städtischer Entwässerungssysteme im Bestand

Traditionell wird in der Siedlungswasserwirtschaft zwischen Schmutzwasser und Niederschlagswasser (NW) unterschieden mit Entwässerungssystemen, die bisher vorrangig mit Blick auf die schadlose Ableitung von Niederschlägen konzipiert wurden. Aus heutiger Sicht ist Niederschlagswasser aber auch eine wichtige städtische Ressource, so dass vermehrt ein Rückhalt und eine Versickerung im Gebiet zur Verbesserung des lokalen Wasserhaushalts angestrebt wird. Auch ist Niederschlagswasser mit entsprechender Qualität prädestiniert, um für städtische Bewässerungszwecke genutzt zu werden. Eine angepasste lokale Bewirtschaftung des Niederschlagswassers trägt damit auf vielfältige Weise dazu bei, die städtische Lebensqualität auch unter extremer werdenden klimatischen Bedingungen, wie der Zunahme von Wärmebelastung, zu erhöhen.

Mit dem Wasserhaushaltsgesetz (WHG) wurde gesetzlich die Priorisierung der Trennentwässerung, also die getrennte Ableitung und Behandlung von Schmutz- und Niederschlagswasser, festgelegt. Jedoch sind in größeren Städten gerade im eng bebauten Kernbereich noch größtenteils Mischgebiete mit Mischkanalisation enthalten, die das anfallende Schmutz- und Niederschlagswasser gemeinsam zur zentralen kommunalen Kläranlagen leiten. In der folgenden Abbildung 3 sind für die Städte Hannover und Hildesheim die Anteile an Misch- und Trenngebieten für die Stadtkerne farblich aufgezeigt.

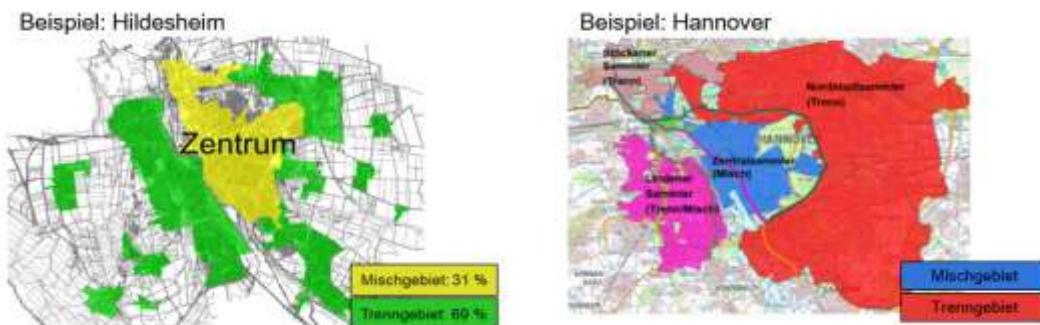


Abbildung 3: Anteile der mit Mischkanalisation entwässerten Stadtgebieten für Hildesheim und Hannover

Die Transformation vorhandener Mischwasserkanäle ist in Bestandquartieren aufgrund dichter Bebauung und Platzmangel im Untergrund technisch meist außerordentlich schwierig. So reduzierte sich der Anteil der Mischkanalisation am gesamten Kanalnetz in Deutschland zwischen 2001 und 2016 trotz gesetzlicher Richtungsvorgabe nur um 6,5 % (von 48 auf 41,5 %), wobei sich im gleichen Zeitraum die absolute Länge der Mischwasserkanäle sogar um fast 13.000 km erhöhte (Dettmar und Brombach 2019). Erfahrungen zur Transformation von mischentwässerten zu trennentwässerten Gebieten zeigen in Hannover, dass eine konsequente Abkopplung des Niederschlagswassers in urbanen Bestandsquartieren nicht oder nur mit erheblichen Investitionen der Grundstückseigentümer umsetzbar ist und nur schleppend vorangeht. Dies zeigen die bei Regenereignissen stark ansteigenden Wassermengen im transformierten Schmutzwasserkanal deutlich.

Zusammengefasst resultieren die Schwierigkeiten bei der Transformation der Entwässerung in Bestandsgebieten im Wesentlichen aus den folgenden Herausforderungen, mit denen die Stadtentwässerungen konfrontiert sind:

- Die Stadtentwässerungen haben die Entsorgungspflicht, u. a. Hygieneschutz und Überflutungsvorsorge, aber sind häufig nicht in die strategisch-konzeptionellen stadtplanerischen Überlegungen der Stadt eingebunden.
- Erhöhte Herausforderungen: Klimawandel, Ressourcenschutz, Kosteneffizienz und Umweltschutz
- Historisch gewachsene Bebauung und Entwässerungsanlagen, mit dichter Blockbebauung (geschlossene Fronten) und historisch bedingtem Anschluss der NW-Fallrohre zum Innenhof an den Schmutzwasserkanal
- Transformation von Mischsystemen in Trennsysteme sind in Bestandquartieren schwierig aufgrund weitgehender Überbauung (Platzmangel und eingeschränkte Zugänglichkeiten) und fehlenden, die Entwässerung berücksichtigenden, Bebauungsplänen (auch z. B. für den Untergrund).
- Fehlende Finanzierungsmodelle und Flächennutzungskonzepte zur Umsetzung kurzfristig notwendiger Infrastrukturinvestitionen in Abstimmung mit der Stadtgesellschaft
- Komplexe Eigentümer- und Sozial-Strukturen

Eine vollständige Transformation bestehender Mischsysteme zu Trennentwässerungen hätte zudem die Notwendigkeit zur Folge, flächendeckend zentrale oder dezentrale NW-Behandlungsanlagen zur Behandlung verschmutzten Niederschlagswasser, z. B. von stark befahrenen Straßen, vorhalten zu müssen, was mit einem hohen Investitions- und Betriebsaufwand verbunden wäre. Gleichzeitig sind in größeren Städten durch die größtenteils noch bestehende Mischkanalisation und die kommunalen Kläranlagen erhebliche Kapazitäten zur zentralen Reinigung des Mischwassers vorhanden, die bei einer ausschließlichen Trennentwässerung ungenutzt blieben, bzw. durch den weiter zunehmend begrenzten unterirdischen Raum zurückgebaut werden müssten, um Platz für die Trennkanalisation zu schaffen.

Hier setzt die Konzeptidee von **TransMiT** an: Aufgrund der hohen Reinigungsleistung kommunaler Kläranlagen hinsichtlich regenwasserbürtiger Schmutzstoffe würde eine Transformation zur Trennentwässerung nach Herkunft der Wässer (Regenwasser/häusliches/gewerbliches Abwasser) nicht dem Ziel dienen, die Emissionen aus der Siedlungsentwässerung so effizient wie möglich zu reduzieren. Die Forderung der konsequenten Trennung von

Niederschlagswasser und Schmutzwasser greift mit Blick auf die Behandlungsbedürftigkeit insgesamt zu kurz, da die vorhandenen hoch effizienten Reinigungs-Kapazitäten der Kläranlagen bei der herkunftsorientierten Trennentwässerung ungenutzt bleiben würden, während gleichzeitig neue Reinigungselemente dezentral mit hohem Bau- und Betriebsaufwand bei geringerer Wirkung im Stadtgebiet implementiert werden müssten. **TransMiT** heißt also: Trennkanalisation umsetzen ja, aber mit dem Ziel der Entflechtung der urbanen Wasserströme nach Qualität unter optimaler (smarter) Nutzung vorhandener Infrastruktur.

Das heißt der Umgang mit Niederschlagswasser in der Stadt erfordert insgesamt einen Paradigmenwechsel des Umbaus, der weggeht von einer rein herkunftsisierten Unterscheidung von Schmutz- und Niederschlagswasser hin zu einem qualitätsbasierten Ableitungs- und Behandlungsweg. Neben der verbesserten Effizienz und Emissionsreduzierung durch verschmutzte Teilströme können durch den Verbleib der qualitativ hochwertigeren Teilströme zusätzliche positive Nutzungsoptionen in den Stadt-Quartieren erreicht werden, wie beispielsweise die Verbesserung des Kleinklimas durch den Einsatz und Erhalt entsprechender Blau-Grüner-Infrastrukturelementen (BGI). Mit dem in **TransMiT** entwickelten **Konzept der qualitätsbasierten Trennentwässerung** als neuer und ganzheitlicher Ansatz für das Niederschlagswassermanagement in urbanen Räumen wird Städten eine Möglichkeit gegeben, der technisch meist außerordentlich schwierigen Transformation vorhandener Mischwasserkäne in Bestandsquartieren (s. o.) mit einem ganzheitlich-effizienten Ansatz zu begegnen und gleichzeitig insbesondere die Herausforderungen der Verbesserung der Aufenthaltsqualität und Vermeidung von Hitzeinseln im innerstädtischen Bereich durch ein quartierspezifisch angepasstes Wassermanagement zu unterstützen. Im nachfolgenden Kapitel 2.2 werden die wesentlichen konzeptionellen Randbedingungen der qbTE kurz umrissen, während in A.I für einzelne Aspekte der qbTE und die Forschungsergebnisse der zugehörigen Arbeitspakete zusammengefasst sind.

Neben der technischen Ausgestaltung ist für alle Transformationsschritte in Bestandsquartieren die Entwicklung und Umsetzung eines fachbereichsübergreifenden Planungsprozesses auf strategisch-rahmengebender Ebene essentiell, so dass strukturelle Defizite, die von allen Beteiligten gewünschte Vernetzung und Planungsabstimmung erschweren, überwunden werden können. Mit dem in **TransMiT** entwickelten **Prozessablauf einer integralen, strategischen städtischen Quartiersplanung („Stadtquartier 2050+“)** wird die Entwicklung eines quartierspezifischen Leitbilds als für die Objektplanung rahmengebendes Element in die innerstädtischen Planungsabläufe eingebunden. Durch die Ergänzung der sektoralen Fachplanung und Strategieentwicklung um ein gemeinsam entwickeltes Quartiersleitbild sollen die informations- und wissensbasierten Entscheidungsgrundlagen für alle an der Gestaltung beteiligten Akteure (Stadtplaner*innen, Stadtentwässerungen aber auch andere Fachbereiche wie Tiefbau oder Umwelt und Grün) verbessert, Zielkonflikte identifiziert und über die innerstädtische Strategieabstimmung auf ein entscheidungsvorbereitendes Minimum reduziert werden.

Nach der Übersicht über das Konzept der qualitätsbasierten Trennentwässerung folgt in Kapitel 2.3 entsprechend für die zweite in **TransMiT** entwickelte Kernkomponente den integralen Planungsprozess „Stadt-Quartier 2050+“ eine Beschreibung der hinterlegten Ansätze und Ziele. Hierzu korrespondierend werden in der Strategiekomponente A.III „Institutionalisierung“ einzelne Aspekte und Arbeitsergebnisse der Unterarbeitspakete Institutionalisierung beschrieben.

2.2 Konzept der qualitätsbasierten Trennentwässerung

Basierend auf den oben genannten Rahmenbedingungen und Herausforderungen wurde in **TransMiT** mit dem Konzept der modifizierten qualitätsbasierten Trennentwässerung ein neuer und ganzheitlicher Ansatz für das Niederschlagswassermanagement in urbanen Räumen entwickelt. Diese Entwässerungsstrategie stellt die (Niederschlags-)Wasserqualität in den Mittelpunkt, so dass Ableitungs- und Behandlungsweg qualitätsbasiert festgelegt werden. Gleichzeitig eröffnet das Konzept (auf Quartiersebene) konkrete und niedrigschwellige Regenwassernutzungsoptionen.

Ziel des Konzepts der qualitätsbasierten Trennentwässerung ist es, die vorhandene Infrastruktur in Bestandsquartieren in eine effiziente und emissionsarme Siedlungsentwässerung zu transformieren. Durch die Sammlung und Ableitung an der Oberfläche verbleibt das Niederschlagswasser entsprechend der Qualität entweder im Quartier/Vorfluter oder wird über das vorhandene Entwässerungssystem zur Kläranlage abgeleitet, um hier eine optimale Reinigung des verschmutzten NW zu gewährleisten. In Abbildung 4 ist die Grundidee der neuen qualitätsbasierten Entwässerungsstrategie im Vergleich zur traditionellen herkunftsbasierter Trennung als Prinzipskizze dargestellt.

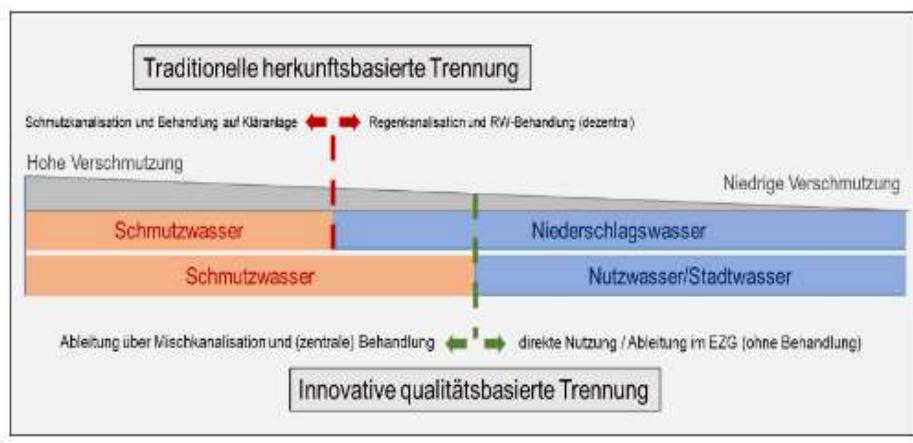


Abbildung 4: Traditionelle vs. Qualitätsbasierte Trennentwässerung als Prinzipskizze

©ISAH

Die qualitätsbasierte Trennentwässerung (qbTE) sieht vor, die vorhandene Infrastruktur – und hier vor allem die zentrale kommunale Kläranlage – weiterhin zur Niederschlagswasserbehandlung zu nutzen, gleichzeitig jedoch, die in einem Mischsystem bei starken Regenfällen bisher einkalkulierten Abschläge ins Gewässer vollständig zu vermeiden. Dies soll erreicht werden durch

1. flankierende, dezentrale Abkopplungs- und Behandlungsmaßnahmen an der Oberfläche,
2. eine Maximierung der Speicher- und Behandlungskapazitäten der vorhandenen Entwässerungs- und Behandlungsanlagen durch situationsangepasste Steuerung sowie durch
3. die auf der Niederschlagswasserqualität basierende flexible (!) Nutzung verschiedener Ableitungswege.

Für die Implementierung der qbTE ist es notwendig,

- i) die Qualität einzelner Teilströme separat zu bestimmen,
- ii) eine Priorisierung der Behandlungsbedürftigkeit festzulegen und
- iii) die Teilströme einer bedarfsgerechten Reinigung bzw. Aufbereitung nach Nutzungszweck zuzuführen.

Da das Schmutzwasser per se behandlungsbedürftig und sein Ableitungs- und Behandlungsweg zur zentralen Kläranlage klar definiert sind, muss eine differenzierte Qualitätsbewertung nur für das Niederschlagswasser erfolgen. Diese Unterscheidung kann sowohl räumlich (über die Oberflächenbewertung) als auch zeitlich, z. B. beim Auftreten einer dynamischen Schmutzstoffspitze (First Flush) (Leutnant 2018; Kobencic 2002), vorgenommen werden. In Abbildung 5 wird das Konzept der qualitätsbasierten Trennentwässerung schematisch verdeutlicht.

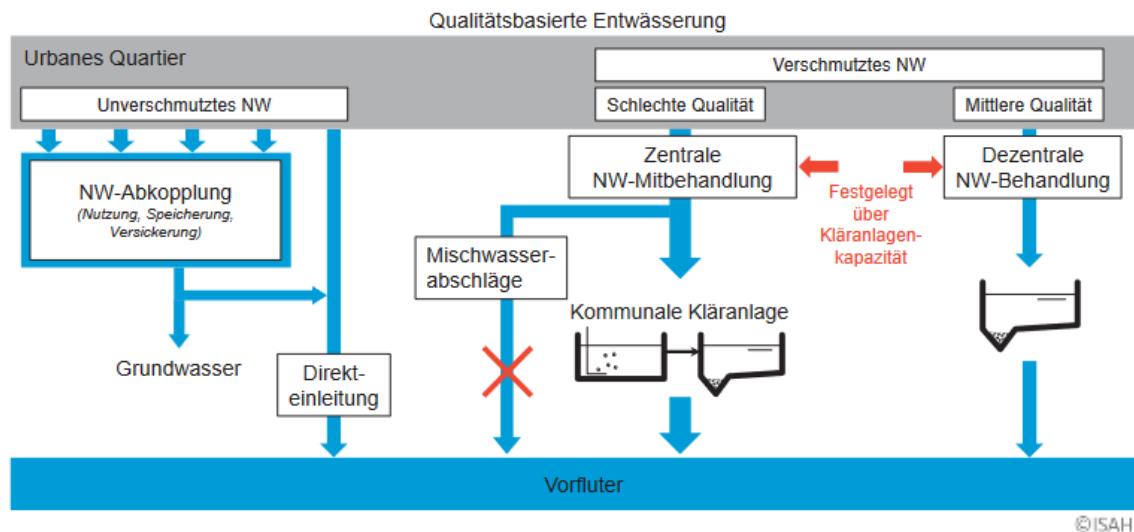


Abbildung 5: Das Konzept der qualitätsbasierten Entwässerung von Niederschlagswasser

Aus Sicht der qualitätsbasierten Entwässerung sind je nach Verschmutzung verschiedene Behandlungs- und Nutzungswege für Niederschlagswasser vorgesehen. Die Höhe und Art der Verschmutzung des Niederschlagswassers variiert dabei stark über das Einzugsgebiet und ist von zahlreichen Faktoren wie z. B. der Flächennutzung, der atmosphärischen Deposition, der Neigung der Fläche, der im Gebiet verwendeten Baumaterialien sowie von der Niederschlagsdauer und -intensität abhängig. Neben klassischen Schmutzstoffen wie Organik, Nähr- und Feststoffen sind weitere Verunreinigungen wie bspw. Mikroplastik oder Biozide zu berücksichtigen (DWA-Arbeitsblatt A 102-1 2020), für die ggf. weitergehende Reinigungsverfahren vorgesehen werden müssen.

Wie in Abbildung 5 dargestellt, kommen je nach Verschmutzungsgrad folgenden Behandlungs- und Nutzungswege für das Niederschlagswasser zum Einsatz:

1) Unverschmutztes NW

Ziel ist es, dass nicht verschmutzte Niederschlagswasser im Gebiet bzw. im Quartier zurückzuhalten durch eine direkte Nutzung, Versickerung oder Einleitung ins Oberflächengewässer bzw. Vorfluter. Das nicht oder nur sehr gering verschmutzte Niederschlagswasser, welches nicht behandlungsbedürftig ist, wird von der Kanalisation abgekoppelt, damit es keine wertvollen hydraulischen Kapazitäten im Kanalnetz oder der Kläranlage belegt. Dieses Niederschlagswasser steht im Sinne des Schwammstadtkonzepts als wertvolle Ressource im Quartier zur Verfügung und kann dort z. B. für Bewässerungszwecke, blau-grüne Infrastrukturen (BGI) oder Wasserspiele eingesetzt werden. Es hilft damit nicht nur mögliche Trockenperioden zu überbrücken, sondern trägt auch zu einer Steigerung der Quartiersqualität, u. a. durch eine Verbesserung des Mikroklimas, bei. Es kann bedenkenlos direkt in den Vorfluter geleitet oder über eine Bodenpassage versickert werden und damit den

lokalen Wasserhaushalt verbessern. Es sind keine langen Ableitungswege vorzusehen, sondern die lokalen Nutzungen sind auszubauen und auf die quartiersspezifischen Anforderungen hin zu gestalten.

2) Verschmutztes NW – mittlere Qualität

Das Niederschlagswasser, welches zu verschmutzt ist, um es direkt einer Nutzung zuzuführen oder direkt einzuleiten/zu versickern, für das aber keine Ableitungskapazität des Kanalnetzes oder Behandlungskapazität der kommunalen Kläranlage verfügbar ist, ist einer zentral oder dezentral angeordneten NW-Behandlung zuzu führen. Bei der Auswahl der NW-Reinigungsverfahren sollte mit Blick auf das knappe Flächenangebot im urbanen Raum eine möglichst hohe Multifunktionalität angestrebt werden. Geeignet sind z. B. Retentionsbodenfilter (RBF), die im innerstädtischen Kontext neben der guten Reinigungsleistung auch noch als blau-grüne Infrastruktur (Czorny et al. 2020) positive Effekte auf die Quartiersqualität haben. Für RBF im Mischsystem konnten Eliminationsgrade für organische Schmutzstoffe von ca. 80 % und für AFS von ca. 90 % ermittelt werden (Pinnekamp et al. 2013) (siehe Teil B 2.14). In Abhängigkeit der eingesetzten Filtermaterialien können auch Nährstoffe wie Stickstoff und Phosphor sowie Schwermetalle effektiv zurückgehalten werden (Frechen 2013; Ruppelt et al. 2018). Für den Rückhalt von Bioziden zeigen erste Untersuchungen mit angepasstem Adsorbermaterial stoffabhängige Wirkungsgrade zwischen 50 und 80 % (Burkhardt et al. 2017). Weitere Verfahren, die zur Niederschlagswasserbehandlung eingesetzt werden können, sind z. B. Regenklärbecken, spezifisch gestaltete Straßenabläufe sowie Baumrigolen mit entsprechender Neu-Gestaltung zur synergetischen Nutzung als Zisterne. Auch Filtersysteme z. B. direkt am Straßenablauf können zum Einsatz kommen.

3) Verschmutztes NW – schlechte Qualität:

Das am stärksten verschmutzte Niederschlagswasser wird gemeinsam mit dem kommunalen Schmutzwasser abschlagsfrei der kommunalen Kläranlage zugeführt und dort behandelt. Insbesondere hinsichtlich der im Niederschlagswasser enthaltenen Schmutzstoffe wie abfiltrierbare Stoffe (AFS), Mikroplastik (Siegel und Thyen 2020b; Bertling et al. 2018) und Schwermetalle (Welker 2006b; Brombach et al. 2005a), aber auch für abbaubare gelöste Stoffe und Nährstoffe, weist die kommunale Kläranlage gute bis sehr gute Reinigungsleistungen auf und unterliegt anders als NW-Behandlungsanlagen einer kontinuierlichen Ablaufüberwachung. Durch den Ausbau der Kläranlagen mit einer vierten Reinigungsstufe könnte zusätzlich ein Großteil der Mikroverunreinigungen eliminiert werden (Umweltbundesamt 2017, 2015). In mischentwässerten Einzugsgebieten kann zur Ableitung des Niederschlagswassers zur Kläranlage die bestehende Mischkanalisation genutzt werden. In trennentwässerten Gebieten können Flächen, von denen stark verschmutztes Niederschlagswasser abfließt, zumindest zeitweise an den Schmutzwasserkanal angeschlossen werden, solange dies hydraulisch möglich ist. Insgesamt wird der Kläranlage jedoch nur so viel zusätzliches Niederschlagswasser zugeführt, wie abschlagsfrei abgeleitet und behandelt werden kann.

Zu beachten ist, dass die Ableitungs- und Behandlungskapazitäten des Kanalnetzes und der Kläranlage eine systemspezifische Kapazitätsgrenze darstellt und nicht durch die qualitative Einordnung der Schmutzstoffkonzentrationen des Niederschlagswassers gezogen wird. Im Sinne der optimalen Bewirtschaftung sollten daher die Behandlungskapazitäten

der Kläranlage bestmöglich ausgenutzt werden, ohne jedoch Mischwasserabschläge zu erzeugen. Durch eine ereignisbezogene, smarte Bewirtschaftung des Ableitungssystems und der Ausnutzung von Speicherräumen und/oder Möglichkeiten der Abflussverzögerung, können die vorhandenen Infrastrukturkapazitäten optimal bewirtschaftet und Schmutzfrachteinträge ins Gewässer minimiert werden.

Neben der Sicherstellung einer hochwertigen Regenwasserbehandlung und der verbesserten Bereitstellung der Ressource Wasser im Quartier ist ein sehr systemrelevanter Bestandteil des Konzepts, dass bestehende Entwässerungssysteme unter Weiternutzung der bereits vorhandenen Infrastrukturen angepasst und transformiert werden können. Dies ist wirtschaftlich und unterstützt die Umsetzung der geforderten Trennung der verschiedenen Abwasserteilströme. Dies gilt sowohl für das Trenn- als auch das Mischsystem. Nachfolgend werden beispielhaft die notwendigen Schritte der Transformation für beide Entwässerungssysteme beschrieben:

Qualitätsbasierte Entwässerung im Trennsystem: In Gebieten, in denen das Trennsystem eingesetzt wird, wird das Schmutzwasser bereits getrennt vom Niederschlagswasser abgeleitet und behandelt. Mit Blick auf das Konzept der qualitätsbasierten Entwässerung ist für diese Gebiete zu prüfen, ob stark verschmutzte NW-Teilströme identifiziert werden können, die zusätzlich über den Schmutzwasserkanal abgeleitet und so einer Behandlung auf der kommunalen Kläranlage zugeführt werden können. Für den Rest des aus diesen Gebieten abfließenden Niederschlagswassers ist analog zur Mischentwässerung zu prüfen, welcher Anteil nicht oder nur gering verschmutzt ist und damit vor Versickerung oder Ableitung einer Nutzung zugeführt werden kann und welcher Anteil einer NW-Behandlung im Gebiet zugeführt werden muss. Basierend auf dieser Analyse, sollte die Regenwasserkanalisation so angepasst werden, dass keine Vermischung von verschmutztem und unverschmutztem Niederschlagswasser erfolgt bzw. das unverschmutzte Niederschlagswasser zur direkten Nutzung im Quartier zur Verfügung steht (im Weiteren als „Entflechtung“ bezeichnet).

Qualitätsbasierte Entwässerung im Mischsystem: In mischentwässerten Gebieten wird die vorhandene Mischkanalisation weiterhin volumnäßig eingesetzt, um neben dem kommunalen Schmutzwasser auch stark verschmutztes Niederschlagswasser zur Kläranlage zu leiten. Gleichzeitig ist Konzeptstrategie Mischwasserabschläge weitestgehend zu vermeiden oder bei erwarteten hohen Belastungen völlig zu unterlassen. Demnach soll durch die Abkopplung von nicht oder nur wenig verschmutztem Niederschlagswasser bestenfalls nur so viel „hochbelastete“ Fläche an die Kläranlage angeschlossen bzw. nur so viel stark-verschmutztes Niederschlagswasser zur Kläranlage geführt werden, wie Ableitungs- und Reinigungskapazitäten abschlagsfrei zur Verfügung stehen. Möglichkeiten zur Maximierung der Ableitungskapazitäten von Mischwasser im Kanalnetz sollen dabei so gut wie möglich ausgereizt werden (z. B. durch das Ausnutzen von Einstaupotenzialen im Kanalnetz oder Abflussverzögerung). Auslegungsgröße ist damit die Annahmekapazität der Kläranlage, die durch angepasste Betriebsstrategien (Speicherbecken, Umfahrung der Vorklärung, Umfahrung der Belebung – siehe A.I, Kap. 1.3 und Teil B 4.5 bis 4.9) erhöht werden kann und damit die Möglichkeit schafft zusätzliches Niederschlagswasser hochwertig und qualitätskontrolliert zu behandeln. Darüberhinausgehend anfallendes Niederschlagswasser wird je nach Verschmutzung entweder durch den flankierenden Einsatz zentraler und dezentraler Behandlungsmaßnahmen oder kann bei guter Qualität direkt im Quartier genutzt bzw. in das Gewässer eingeleitet werden. Aufgrund der Verwendung der Mischkanalisation für die Ableitung des Schmutzwassers und des stark verschmutzten Niederschlagswassers, muss ggf. eine zusätzliche Speicherung im Quartier vorgesehen werden, wenn die

Nutzung wie z. B. durch Versickerung nicht unmittelbar erfolgt. Im Starkregenfall, also bei Überschreitung der Speicher- und Versickerungskapazität, erfolgt eine oberflächige Ableitung des qualitativ hochwertigen Wassers über Notwasserwege ggf. in andere Gebiete mit erhöhter Aufnahmekapazität oder zur Ableitung in die Vorflut. Diese Maßnahmen können direkt mit den Planungen der Starkregenvorsorge abgestimmt und gekoppelt werden.

Das entwickelte Konzept der qualitätsbasierten Entwässerung befindet sich damit im Einklang mit dem rahmengebenden DWA-A 100 2006 der integralen Siedlungsentwässerung sowie mit der Forderung des kürzlich veröffentlichten DWA-A 102 nach einer Berücksichtigung der NW-Verschmutzung im NW-Management und entwickelt diese zu einer konkreten Umsetzungsidee für Bestandsquartiere weiter. Mit dem in **TransMiT** entwickelten Konzept der qualitätsbasierten Trennentwässerung können insgesamt folgende Nutzen erreicht werden:

- **Ressourcenschutz** durch angepasste Nutzung vorhandener Infrastrukturbauwerke und damit Vermeidung von weitreichenden Baumaßnahmen
- **Verbesserung der Gewässerqualität** durch weitergehende Reinigung aller abgeleiteten Wasserströme (relevant insbesondere im Hinblick auf die z. T. erheblichen Verschmutzungen des NWs, die mit den herkömmlichen dezentralen Behandlungsmaßnahmen nicht erfasst werden)
- **Weitgehende Entflechtung** und Umsetzung der Trennentwässerung auch für Gebiete mit traditionellem Mischwassernetz mit entsprechender Stärkung des lokalen Wasserhaushalts
- **Vermeidung von Mischwasserüberläufen** und dadurch neben dem positiven Einfluss auf die biochemische Gewässerqualität insbesondere Verbesserung der hygienischen Belastung der Gewässer
- **Verbesserung des Stadtteilklimas** und **hohe Wirtschaftlichkeit** durch Verlagerung der Baumaßnahmen auf multifunktionale Elemente zur Erhöhung der Versickerung, Verdunstung bzw. Verzögerung des Abflusses und Kopplung der Starkregenvorsorge mit lokalen Ableitungskonzepten.
- **Erweiterung der Nutzung der Kanalisation** zur Ableitung von Bioabfall (Einbau von KAZ in Bereichen ohne MW-Überläufe) und damit Erhöhung der Ausbeute (Energiegewinnung) im innerstädtischen Bereich bei gleichzeitiger Verkehrsentlastung und Reduzierung von Abfall-Hotspots

In den Kapitel A.I „Strategiekomponente 1: Transformation der Entwässerung“ und Kapitel A.II „Strategiekomponente 2: Synergien von Infrastrukturelementen“ werden Einzelaspekte des Konzeptes der qualitätsbasierten Trennentwässerung näher beschrieben, Ergebnisse der einzelnen APs und UPs können Teil B entnommen werden.

2.3 „Stadtquartier 2050+“ – ein integraler, strategischer Quartiersplanungs-Prozess

Bereits im Antrag des TransMiT-Projektes wurde als wesentliche Voraussetzung für jede Transformation urbaner Bestandsgebiete, die Institutionalisierung von integralen Planungsprozessen festgestellt und ein entsprechendes Arbeitspaket zusammen mit der Frage der Finanzierung/Kostenverteilungsmodelle (UP 1) in das Projekt aufgenommen. Es bestätigte sich, dass die zeitliche Verteilung von Infrastrukturmaßnahmen der verschiedenen kommunalen Fachbereiche, die in der politischen und öffentlichen Diskussion häufig in kleinen Zeitabständen wechselnden Prioritäten, aber auch die starke Divergenz der Rahmenbedingungen und Potentiale in den einzelnen Quartieren es erfordern, übergeordnete Planungsziele der Stadt/Kommune/Landes, wie z. B. die Sustainable Development Goals (SDGs), für Objektplanung und -umsetzung weiter zu konkretisieren und in gemeinsam abgestimmte Leitbilder für die einzelnen Stadtquartiere zu überführen, um bereits heute mit einem zukunftsfähigen Quartierskonzept als Leitbild effizient handeln zu können. Wichtiger ergänzender Planungsschritt ist hierbei die zu dem Leitbild ergänzende Formulierung des Transformationswegs mit Festlegung der ersten Schritte. Gerade die gemeinsame Formulierung des „Wegs“ ermöglicht zum einen eine, die integrale Planung unterstützende, zeitliche und örtliche Konkretisierung der Maßnahmen und zum anderen über die lange Laufzeit der Transformation und die sich ggf. ändernden Rahmenbedingungen, auch die gemeinsame Festlegung von möglichen Umkehr- oder Anpassungszeitpunkten. Hierdurch wird sichergestellt, dass sich ändernde Eingangsdaten und Herausforderungen in den laufenden Transformationsprozess eingebunden werden.

Die im Rahmen von TransMiT durchgeföhrte Defizitanalyse zeigte vier Hauptansatzpunkte auf, die in dem neuen integralen Planungsablauf adressiert werden.

- i) Interne Vernetzung und Moderation der Abläufe → Einrichtung und Institutionalisierung eines fachbereichsübergreifenden Kompetenzteams „Integrale Planung“, das in kooperativer, vertrauensvoller Zusammenarbeit den Strategieprozess moderiert und eine besondere Kompetenz im Bereich der aktuell übergeordnet definierten Ziele (z. B. Klimaanpassung) erwirbt und damit den Abstimmungsprozess unterstützt.
- ii) Umsetzungsbruch nach Beteiligungsverfahren und Potentialanalyse (z. B. MQ 2030) → Standardisierte Formate für die stadtinterne Weiterentwicklung der im Rahmen der bereits etablierten Beteiligungsprozesse erstellten Quartiers-Potentialanalysen zu alternativen integralen Quartiersentwicklungsszenarien;
- iii) Fehlende übergeordnete politische Entscheidung bei nicht auflösbarer Konflikten zwischen verschiedenen Entwicklungsalternativen auf der Sachebene → Einrichtung eines Kommunikationsformats zwischen Politik und Fachabteilungen zur Ziel-, Konflikt-Wahrnehmung, Diskussion der fachlich vorbereitete Quartiersentwicklungsalternativen (mit niedrigschwelligem und wiederkehrenden Bewertungskriterien ausgerichtet an den übergeordneten Entwicklungszielen). und gemeinsamen Abstimmung über das Zielkonzept
- iv) Fehlende Dokumentation der Entscheidungen und Entscheidungsgrundlagen (Prognosedaten, Wichtung, angesetzte Wirkung) als Basis für eine klare Rahmenstellung bei der Umsetzungsplanung und ggf. notwendigen Anpassung des Transformationswegs und –ziels → Standardisierte Entscheidungsvorlagen für die Politik

mit auf die Zielgrößen abgestimmter Kennzahlensystematik, Überführen der politischen Meinungsbildung in einen quartierspezifischen Maßnahmenplan unter Angabe der entscheidungsrelevanten Rahmenbedingungen und Rückführung in die umsetzenden Fachbereiche.

Hierauf aufbauend wurde der verwaltungsinterne (Planungs-)Prozess "Stadt-Quartier 2050+" ausformuliert (vgl. auch A.III, Kap. 2). Kern des Planungsprozesses bildet die durch die Fachbereiche 68 „Entwässerung“, 61 „Planen und Stadtentwicklung“, 67 „Umwelt/Grün“ und 66 „Tiefbau“ gemeinsame Weiterentwicklung der im Rahmen von MeinQuartier 2030 durchgeführten Quartiersanalyse mit den folgenden Zielen:

- i) Bereitstellung einer Entscheidungshilfe für die politischen Entscheidungsträger bei der Festlegung der quartierspezifischen Entwicklungsrioritäten
- ii) Bereitstellung von strategischen Transformationsplänen für die planenden kommunalen Fachbereiche und private Liegenschaftsentwickler zur Stärkung der Umsetzung von quartiereffizienten Maßnahmen zur Hitze- und Starkregenvorsorge

Der integrale Planungsansatz "Stadt-Quartier 2050+" ist damit als ein maßnahmenunabhängiger, durch die gesellschaftlichen Vertreter*innen unterstützter, quartiersdifferenzierter (!) Entscheidungs- und Abwägungsprozess zur Festlegung eines verlässlichen Planungsrahmens der umsetzenden Abteilungen. Der entwickelte Prozess dient der Entscheidungsunterstützung sowohl bei der Strategiefindung als auch bei der Entscheidungsunterstützung für die Priorisierung der Investitionsschritte (Definition des Transformationsweges).

In Abbildung 6 ist die Einbindung des neu entwickelten integralen Prozessablaufs Stadt-Quartier 2050+ (grün) in die bestehenden innerstädtischen Abläufe (blau) dargestellt, wie er in **TransMiT** aufgestellt wurde.

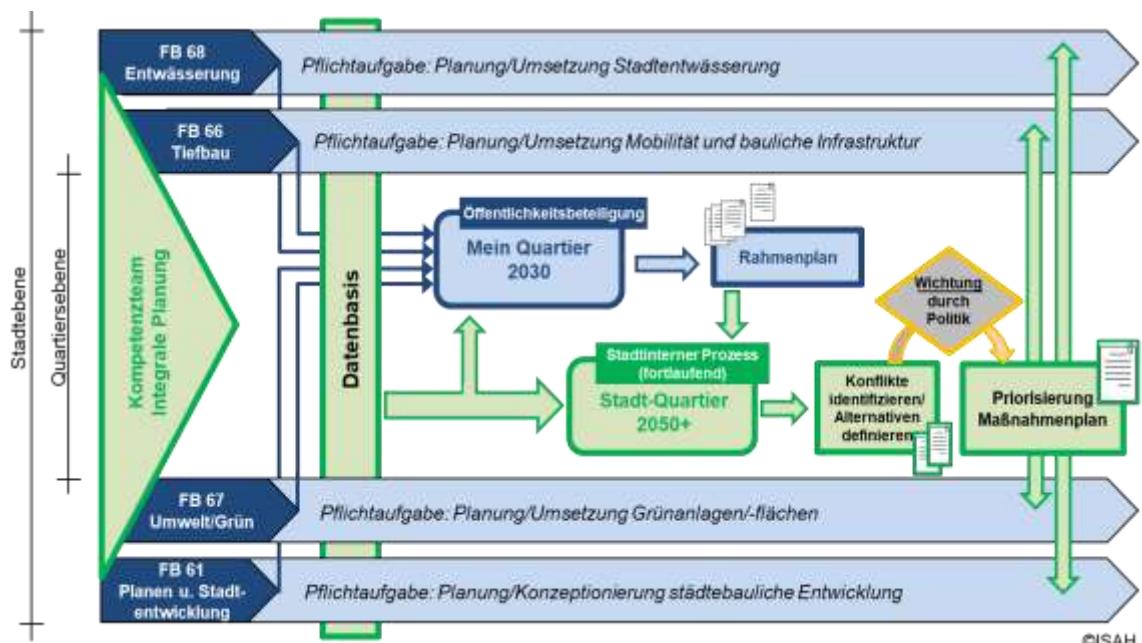


Abbildung 6: Einbindung des neu entwickelten integralen Prozessablaufs Stadt-Quartier 2050+ (grün) in die bestehenden innerstädtischen Abläufe (blau) und ergänzende Kommunikations-Dokumente

Die Prozess-Bezeichnung "Stadt-Quartier 2050+" wurde in Anlehnung an den bereits in der Landeshauptstadt Hannover eingeführten Beteiligungs-Prozess „Mein Quartier 2030“ gewählt mit folgenden Erläuterungen bzw. Charakterisierungen:

- „**Stadt-Quartier**“, um ihn als institutionalisierten internen Prozess zu kennzeichnen, mit dem Ziel Transformationspläne für „alle“ Stadtquartiere zu erstellen sowie die Festlegung der Leitbildidentifizierung auf Quartiersebene.
- „**50**“, um den identifizierten Planungshorizont von > 30 Jahren aufzugreifen, da bei kürzeren Betrachtungszeiträumen im Kontext der langlebigen Infrastrukturplanung Maßnahmenwirkungen in der Bewertung ggf. nicht angemessen berücksichtigt werden und auch veränderte Rahmenbedingungen (z. B. Siedlungsdichte, Klima, Mobilitätswende...) keinen Eingang in die Szenarienbewertung finden.
- „**+**“, um deutlich zu machen, dass der Prozess fortlaufend/rollierend erfolgen muss, damit die strategische Ausrichtung der Quartiersplanung aktuell und an ggf. geänderte Rahmenbedingungen, aber auch sich ändernde gesellschaftliche Ansprüche und damit veränderter Wertigkeit der Maßnahmen, geprüft werden kann.

Kapitel A.III „Strategiekomponente 3: Institutionalisierung“ enthält weitere Informationen zu den in **TransMiT** entwickelten Ansätzen.

A.I Strategiekomponente 1:

Transformation der Entwässerung im Bestand (qbTE)

Die Strategiekomponente 1 beschreibt verschiedene Aspekte, die für eine Umsetzung des neu entwickelten Konzepts der qualitätsbasierten Entwässerung (qbTE) in Bestandsquartieren relevant sind. Dazu gehören:

- die in **Kapitel 1** beschriebene Systemintegration des Konzepts in die bestehende Systemkette der Abwasserentsorgung mit den in **TransMiT** untersuchten Systemkomponenten „Oberfläche eines Quartiers“ (qualitäts- und abflussgestaltend), „Kanalnetz“ und „Kläranlage“, für die konzeptionelle Integrationsansätze erarbeitet wurden. Zu den untersuchten Fragestellungen gehören: Vorgehen bei der Datenverdichtung zur verbesserten oberflächigen Abflussmodellierung, großtechnische Datenaufnahme zur Modellierung von oberflächigen Abflüssen wie die Untersuchung der Oberflächenrauigkeit auf das Abflussverhalten, Entwicklung einer Niederschlagswasserweiche zur flexiblen Steuerung des Entwässerungsweges regenereignis- und gebietsspezifisch, modelltechnische Untersuchungen zur Identifizierung von Speicherräumen im Kanal und Ableitung von Steuerungsgrößen unter Berücksichtigung des oberflächigen Abflusses und eine modellbasierte Konzeptüberprüfung der Entflechtungspotentiale am Beispiel der Stadt Hildesheim. Zudem wurden großtechnische Versuche auf der Kläranlage Hildesheim zur Flexibilisierung der annehmbaren Schmutzwassermenge sowie Messungen von Niederschlagswasserqualitäten durchgeführt.
- die in **Kapitel 2** beschriebenen Untersuchungen zur Definition des neuen Trennkriteriums „Niederschlagswasserqualität“ als Regelparameter über einzelne Regenereignisse der im Konzept der qualitätsbasierten Trennentwässerung vorgesehenen „Abwasserweiche“ (Stichwort: Dynamisierung der NW-Qualitätsprognose). Vorbereitend für die Implementierung der qualitätsbasierten Trennentwässerung wurde die Differenzierung der NW-Qualität nach quartiersspezifischen Einflussfaktoren (z. B. Bebauungsstruktur/Fassaden) und hinsichtlich der zeitlichen Variation (Spülstoß) untersucht, so dass ein, auf Messungen basierender, konzeptioneller Ansatz vorliegt.

Durch die mit der qualitätsbasierten Trennentwässerung verbundene Abschlagsfreiheit ergeben sich Synergien der Nutzung der Schwemmkanalisation zum Transport von wasser-nahen organischen Abfällen zur Kläranlage. Ziel dieser synergetischen Nutzung der Kanalisation ist i) die erhöhte Erfassung im Bereich dicht bebauter urbaner Stadtquartiere, ii) Entlastung des Straßenraums der Stadtquartiere von fahrzeuggebundener Abfuhr, iii) Vermeidung der Verschmutzung und Reduzierung der Rattenproblematik im Bereich von Sammelstellen sowie iv) die Nutzung vorhandener Infrastruktur (Faulraum Kläranlage) zur Erzeugung regenerativer grüner Energie im Sinne der Kreislaufwirtschaft und Ressourcenschutzes. In **Kapitel 3** wird das Potential des Konzepts der qualitätsbasierten Trennentwässerung hinsichtlich der Entsorgung von Bioabfällen mit dem Ziel eines ressourcenoptimierten Stoffstrommanagements beispielhaft für ein Quartier dargestellt.

1. Systemintenintegration der qbTE

Maike Beier¹, Nils Kabisch¹, Alexander Verworn², Julius Boeckmann³, Erwin Voß³,
Udo Feuerhake⁴, Yu Feng⁴

¹Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Leibniz Universität Hannover
Forschungsfeld Abwasser und Wassermanagement

² BPI HANNOVER VERWORN BERATENDE INGENIEURE

³ SEHi – Stadtentwässerung Hildesheim, Hildesheim

⁴ Institut für Kartographie und Geoinformatik, Leibniz Universität Hannover

Spätestens seit den Forderungen der EU-Wasserrahmenrichtlinie (2000) ist die integrierte Betrachtung und Planung in der Wasser- und Siedlungswasserwirtschaft stärker in den Fokus aller Beteiligten gerückt, auch mit dem DWA-A 100 2006, welches einen übergeordneten Handlungsrahmen für die ganzheitliche Betrachtung der unterschiedlichen Teilsysteme der Siedlungsentwässerung schafft. In der Forschung ist die integrierte Betrachtung schon seit Jahrzehnten in verschiedenen Studien untersucht worden. Seggelke (2002) zeigte, dass die integrierte Betrachtung zu einer Reduzierung der Gewässerbelastung führt, jedoch eine differenzierte Betrachtung der vorliegenden Randbedingungen vorgenommen werden muss. Nach Erbe (2004) ist die integrierte Modellierung von Kanalnetz, Kläranlage und Gewässer essentiell hinsichtlich der Bewertung von Optimierungsmaßnahmen. Zusammenfassend bestätigen zahlreiche Studien das hohe ökonomische und ökologische Potential, welches in der integrierten Betrachtungsweise enthalten ist. Anstatt neue Speichervolumen zu bauen, können durch eine integrierte Gesamtbewirtschaftung der unterschiedlichen Teilsysteme kosteneffizient und ressourcensparend bestehende Kapazitäten erschlossen werden.

Das Gesamtsystem der Siedlungswasserwirtschaft besteht aus mehreren Teilsystemen (Oberfläche, Kanalnetz, Kläranlage, Gewässer), die derzeit vornehmlich getrennt voneinander betrachtet, geplant und betrieben werden, obwohl aufgrund der offensichtlichen Abhängigkeiten der Teilsysteme untereinander eine integrierte Betrachtungsweise zwingend notwendig ist. Diese Notwendigkeit wird vor dem Hintergrund der aktuellen und zukünftigen Herausforderungen der Siedlungswasserwirtschaft (Wirtschaftlichkeit, Ressourcenschutz, Klimawandel) und dem damit einhergehenden Optimierungsdruck umso deutlicher.

Der Anforderung einer integrierten Betrachtung und Nutzung des Gesamtsystems wird mit dem Konzept der qualitätsbasierten Trennentwässerung begegnet. Für die Planung bedeutet dies, dass aufgrund der Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Teilsystemen das Ziel und die genauen Auswirkungen konkreter Optimierungsmaßnahmen nur durch eine integrierte Betrachtung des Gesamtsystems bewertet werden können. Im Rahmen von **TransMiT** wurde daher die Integration einer qualitätsbasierten Trennentwässerung in Bestandsquartieren konzeptionell durchgespielt und damit wesentliche Einflussfaktoren und Randbedingungen für die Umsetzung aufgezeigt.

Kernaussagen

- Das Konzept der qbTE lässt sich in vorhandene Entwässerungssysteme integrieren und zeigt ein hohes Potential für eine ressourceneffiziente Transformation im Bestand.
- Durch die ereignisbezogene, smarte Bewirtschaftung des Ableitungssystems unter Ausnutzung von Speicherräumen und Möglichkeiten der Abflussverzögerung können die vorhandenen Infrastrukturkapazitäten optimal bewirtschaftet, der lokale Wasserhaushalt gestärkt und Schmutzfrachteinträge in das Gewässer minimiert werden.
- Mit einer gezielten Abkopplung von Niederschlagswasser an der städtischen Oberfläche in Verbindung mit einer smarten Kanalnetzsteuerung ist eine signifikante Reduktion der Mischwasserabschläge bzw. abschlagsfreie Mischentwässerung in Bestandsquartieren möglich (proof of concept).
- Bereits die geregelte Ableitung von Niederschlagswasser entsprechend der Qualitätsanforderungen ermöglicht eine erkennbare Reduktion der Mischwasserentlastung im Vergleich zu einer statischen Ableitung.
- Die Einrichtung oberflächiger Ableitungswege in Bestandsquartieren ermöglicht eine weitergehende Abkopplung von NW-Flächen und sollte synergetisch mit der Einrichtung von Fließwegen für die Ableitung von Starkregenereignissen geplant und umgesetzt werden.
- Eine detaillierte Datengrundlage ist wesentliche Voraussetzung sowohl für die Identifizierung und Entwicklung von oberflächigen Ableitungs wegen als auch die qualitätsbasierte Trennung der Teilströme.
- Die Einbindung der zentralen Kläranlage hat große Potentiale bei einer integralen Bewirtschaftung des Gesamtsystems (Entflechtung) und einer an die hydraulische Belastung angepassten Bewirtschaftung, die Reinigung der starkverschmutzten NW-Teilströme auf hohem Niveau und ressourceneffizient zu übernehmen.
- Durch die geregelte Umfahrung von Vorklärung und Belebung kann die hydraulische Annahmekapazität der Kläranlage für einzelne Regenereignisse deutlich erhöht werden, ohne die Reinigungsleistung zu kompromittieren.
- Die Grenzen der hydraulischen Behandlungskapazität sind dabei kläranlagen spezifisch in Höhe und Art und müssen daher individuell identifiziert werden. Empfohlen wird anlagenspezifische Schwellenwerte für die Bewirtschaftung im Rahmen von großtechnischen Versuchen individuell zu erheben.

1.1 Oberflächige Ableitung von leicht-verschmutztem Niederschlagswasser (Notwasserwege)

Das Konzept der qualitätsbasierten Entwässerung sieht die Nutzung der Kanalisation nur für das behandlungsbedürftige (stark-)verschmutzte Niederschlagswasser vor (abschlagsfreie Ableitung über den Schmutzwasserkanal). Un- oder leichtverschmutztes Niederschlagswasser verbleibt im Quartier zur Nutzung (Speicherung/Abgabe, ortsnaher Versickerung). Eine NW-Ableitung erfolgt damit ausschließlich bei Überlastung der NW-Speicher und Versickerungsanlagen über NW-Kanäle oder ggf. in konzeptioneller Abstimmung mit dem Starkregenvorsorgekonzept auch oberflächennah. Das Wasser wird in diesem Fall an der Oberfläche auf geeigneten Flächen gespeichert, zur Versickerung in anliegende Grünflächen geleitet oder oberflächennah direkt in den Vorfluter abgeleitet. Zur Umsetzung in Bestandsquartieren mit weitgehend belegtem unterirdischem Straßenraum wird in diesem Ansatz also der sonst unterirdisch verlegte Regenwasserkanal im übertragenen Sinne „an die Oberfläche gezogen“. Durch stadtplanerische Komponenten wie beispielsweise durch hochfahrbare Wehre, die Einbauten von Gossen oder erhöhten Gehwegen kann das Konzept quartiersseitig gestärkt werden und neben der Umsetzung der Starkregenvorsorge synergetisch auch die Trennung von gering verschmutztem NW und stark verschmutztem Oberflächenabfluss unterstützen durch eine hierdurch z. B. ermöglichte getrennte Erfassung der, der Straßenseite zugewandten, vorhandenen Dachflächenabflüsse.

Die Ausgestaltung der Fließwege und Konzepte einer oberflächigen Ableitung sollte dabei im Sinne der Sektorkopplung direkt an die Maßnahmen und Planungen zur Resilienzstärkung der Städte gegenüber Starkregenereignissen im Rahmen der Überflutungsvorsorge angebunden werden¹ (siehe Strategiekomponente 3 „Institutionalisierung“). Kapitel 1.1.2 zeigt am Beispiel der Abflussplanung für das Modellquartier Hildesheimer Neustadt wesentliche Schnittstellen auf und beschreibt das Vorgehen bei der Alternativen-Identifikation.

Aus Sicht der Entwässerungsplanung spielt bei der Konzeptionierung einer oberflächigen Ableitung vor allem die Kenntnis der Fließrichtung sowie die Größe des Abflusses, die durch die vorhandene Topografie bestimmt werden, die entscheidende Rolle. Während ein möglicher oberflächiger (Not-)Wasserweg bei der Anlage von Neubauquartieren bereits im Rahmen der Bebauungsplanung berücksichtigt werden kann (Eckart und Fesser 2021), ergibt sich eine besondere Herausforderung für die Umsetzung in urbanen Bestandsquartieren. Durch die vorhandene hohe Bebauungsdichte sowie mangelnden Platzverhältnisse gerade in Quartieren mit Mischentwässerung (wie häufig in historischen Innenstadtbereichen), stellt eine nachträgliche Implementierung einer oberflächigen Ableitung von Niederschlagswasser sowohl städtebaulich eine Herausforderung dar, aber auch die Vorhersage des Abflussverhaltens, also die Modellierung des Oberflächenabflusses als Basis der Entwässerungsplanung, stellt hohe Anforderungen an die Planer*innen. Um eine oberflächige Ableitung als Entwässerungsoption im urbanen Bestandsquartier konzeptionell zu entwickeln, wurden in TransMiT auch die im Bereich der Abflussmodellierung erforderlichen Rahmenbedingungen und Fragestellungen anhand der konkreten Umsetzungsplanung für

¹Die stadt- und entwässerungstechnischen integralen Infrastrukturplanungen werden in diesem Kapitel ausschließlich mit Blick auf die, den Stadtentwässerungen übertragene Pflichtaufgabe der schadfreien Entwässerung des Stadtgebiets diskutiert. Daher an dieser Stelle der explizite Hinweis, dass neben der synergetischen Nutzung der Ableitungswege die im Rahmen der Starkregenvorsorge errichteten umfangreichen Speicher- und Retentionsräume auch gerade mit Blick auf die Extremwetterlage „Dürre“ und Einsparung der Ressource Wasser ein hohes Synergiepotential haben und bei der klimanagementpassten Stadtplanung auch in dieser Hinsicht eingebunden werden sollten (siehe auch Strategiekomponente 2, A.II).

das Modellquartier Hildesheimer Neustadt beleuchtet. Zwei Kernelemente der Oberflächenabflussmodellierung wurden dabei neben der planungsorientierten Alternativen-Identifikation oberflächiger Abflusswege und bautechnischer Gestaltungsvarianten im Gesamtquartierskontext als für die Systemintegration relevante Aspekte untersucht und weiterentwickelt:

1. Methoden zur Nacherfassung von Daten in fließwegrelevanten Bereichen
2. Verbesserte Abflussmodellierung und Kalibrierung von Modellparametern

Entsprechend der Berichtsstruktur sind nachfolgend die methodisch-konzeptionellen Ergebnisse zu finden, während die zugehörigen spezifischen Einzelergebnisse und Beschreibung der Untersuchungsansätze im Teil B zu finden sind.

1.1.1 Nacherfassung von Daten in fließwegrelevanten Bereichen zur verbesserten oberflächigen Abflussmodellierung

Für die Entwicklung eines oberflächigen Ableitungskonzepts und das hierfür benötigte gekoppelte Oberflächenabflussmodell ist eine sehr detaillierte Datengrundlage erforderlich. Für eine quartiers-übergreifende Aussage sind diese Daten bei der oberflächigen Abflussmodellierung in der Regel vorhanden. Für die Detailanalysen entlang eines bewirtschafteten Abflussweges oder die Betrachtung kritischer Überflutungsbereiche ist eine Nacherfassung von Geländedaten zur Erhöhung des Detailgrads und damit erhöhten Absicherung vor ungewollten Fließwegen dringend geboten. Der Fokus der Nacherfassung liegt dabei auf zwei unterschiedlichen Datenbereichen:

1. Vermessungsdaten

Vermessungsdaten dienen als Grundlage für Oberflächenabflussmodelle. Aufgrund von Verdeckungen und Flughöhen kann Airborne Laser Scanning (ALS) aus Überflügen keine ausreichend detaillierten Geländeinformationen liefern. Für detaillierte Oberflächenabflussmodelle im städtischen Bereich mit der notwendigen Berücksichtigung von Strukturen wie Bordsteinen, Tiefgaragen etc. ist diese Auflösung nicht ausreichend. Aus diesem Grund ist eine Nacherfassung, insbesondere der Straßenräume resp. entlang des geplanten Fließweges, notwendig.

2. Abflussrelevanten Daten

Zu den abflussrelevanten Daten gehören alle das Fließverhalten verändernden Rahmenbedingungen. Zum einen die, die Ausbreitungsgeschwindigkeit bestimmenden Faktoren wie Rauigkeiten, Versickerungsfähigkeit, Zustand der Oberfläche (nass oder trocken) und zum anderen Parameter, die den Fließweg und Fließverhältnisse bestimmen, wie z. B. Neigung und Neigungsrichtung.

Für eine gezielte Nacherfassung fließwegrelevanter Bereiche gibt es verschiedene Möglichkeiten, die unabhängig von den bisherigen Erprobungsorten in allen Städten angewendet werden können. Zur Nacherfassung von Vermessungsdaten wurden folgende Methoden eingesetzt, entwickelt und bewertet:

- **Mobile Mapping System (MMS)**

Zur zusätzlichen Gewinnung eines sehr hoch-aufgelösten digitalen Geländemodells (DGM), einer Karte der Oberflächenrauigkeit sowie einer Karte der Höhen der Fassadenöffnungen wurde das Mobile Mapping System Riegl VMX-250 zur Bodenmessung eingesetzt. Aus der vom System erfassten Punktfolge werden die für die Abflussmodellierung und die Analyse des Hochwasserrisikos relevanten Informationen

abgeleitet. Das Vorgehen bei der Datenaufnahme im Modellgebiet ist in Teil B5 beschrieben.

- **Digitale GeZU den abflussrelevanten Daten siländemodellierung (DGM)**

Die Grundlage für die Modellierung des Oberflächenabflusses ist ein DGM. Aufgrund der Beeinträchtigungen durch Gebäude und Gegenstände ist eine vollständige Bodenmessung mit dem MMS allein jedoch nicht möglich. Deshalb wurde eine Methode entwickelt, um das DGM aus den Überfliegungen und die Mobile-Mapping-Bodenmessungen zu fusionieren, um so gleichzeitig eine hohe Vollständigkeit und Auflösung in der Nähe der Straßen zu erreichen. Die daraus resultierenden Laserscan-Punktwolken besitzen eine Auflösung von wenigen Zentimetern - erlauben dadurch die Detektion und damit auch die Berücksichtigung feinerer Strukturen, die das Abflussverhalten des Wassers beeinflussen können und damit relevant sind für die Ermittlung des oberflächigen Fließweges.

- **Karte der Oberflächenrauigkeit**

Die gegebenen Oberflächenrauigkeiten besitzen einen deutlichen Einfluss auf das Fließverhalten des Wassers und sind damit für die Vorhersage des Fließweges und der Einstauhöhen einer oberflächigen Ableitung in Bestandquartieren entscheidend. Basierend auf dem zuvor beschriebenen fusionierten DGM wurde eine Methode zur Klassifizierung der Geländeoberfläche in vier Rauigkeitstypen (Asphalt, unbefestigt/Rasen, Pflaster, Bordsteinkante) entwickelt. Geometrische Merkmale werden für das DGM berechnet und anschließend mit Techniken des maschinellen Lernens klassifiziert (vgl. Teil B 5.1).

- **Karte der Höhen der Fassadenöffnungen**

Die installierten Fließwege einer oberflächigen Ableitung können auch für die Ableitung von Starkregenereignissen genutzt werden. Im Hochwasserfall sind insbesondere Gebäudeöffnungen Risikostellen für Schadensfälle durch ungewollte Änderungen des Fließweges, so dass diese in Oberflächenabflussmodellen verlässlich eingebunden werden sollten. Die Gebäudefassaden werden dafür zunächst anhand vordefinierter Regeln aus den Punktwolkendaten extrahiert (vgl. auch Teil B 5.2). Ein Deep-Learning-Modell wurde im Rahmen von **TransMiT** trainiert, um die Fassadenöffnungen mit Höhenangaben zu identifizieren. Auf Basis dieser Daten konnte anschließend eine Karte der Fassadenöffnungen erstellt werden, die dann im Rahmen der Entwässerungsplanung mit den Ergebnissen der Oberflächenabflussmodelle überlagert werden kann, um Hochwasserrisikostellen bei unterschiedlichen Schweregraden von Hochwasserereignissen zu identifizieren.

In der folgenden Abbildung 7 sind Auszüge aus den oben beschriebenen Methoden zur Nacherfassung von Daten in fließwegrelevanten Bereichen graphisch abgebildet. Eine genaue Beschreibung der eingesetzten und entwickelten Methoden ist in Teil B 5 enthalten.

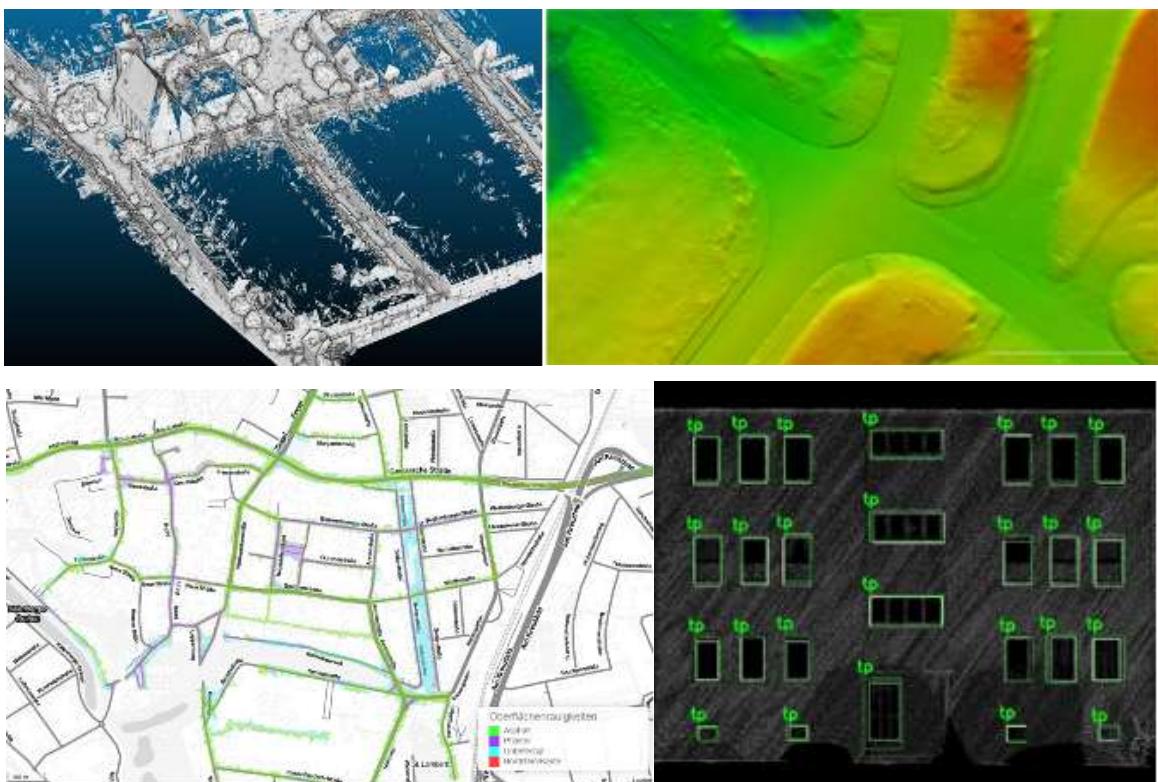


Abbildung 7: Methoden zur Nacherfassung von fließwegerrelevanter Bereichen (o.l.) Punktfolgen durch Mobile Mapping System am Neustädter Markt in Hildesheim, (o.r.) Bodenoberfläche nach Fusion DGM und Mobile Mapping System, (u.l.) Klassifizierung der Geländeoberfläche (Asphalt, Pflastersteine, Gras, Bordsteinkante) für die Neustadt in Hildesheim und (u.r.) Erkennung von Fassadenöffnungen mit Hilfe von Deep-Learning-Modellen

Neben der Erfassung der geografischen Daten wurde im Rahmen von **TransMiT** für die Verifizierung und Validierung von 2D-Oberflächenabflussberechnungen zum einen eine Bibliothek analytischer Lösungen für bestimmte Abflusssituationen aufgebaut (Benchmark Bibliothek) und zum anderen zur messtechnischen Verifizierung von Modellparametern der Abflussmodellierung großtechnische Versuche durchgeführt. Eine genaue Beschreibung der Messmethoden befindet sich in Teil B 4.1:

- **Benchmark Bibliothek**

Für die Verifizierung von 2D-Oberflächenabflussberechnungen wurde eine Referenzlösungsbibliothek mit z. T. neuartigen Referenzlösungen erstellt. Alle Referenzlösungen basieren auf analytischen Lösungen und beschreiben stationär-instationäre Strömung auf geneigten Oberflächen mit Dirichlet-Randbedingung (konstanter Wasserstand) und Neumann-Randbedingung (Niederschlags-Quellterm). Zusätzlich wurde in der hauseigenen Version des Strömungssimulators OpenGeoSys (Kolditz et al. 2012) das Oberflächenströmungsmodul um die Berechnung von Fließgeschwindigkeiten (in Vektorform – mit Geschwindigkeitskomponenten der Raumrichtungen) erweitert. Des Weiteren wurde die Routine zur Auferlegung von Niederschlags-Quelltermen in rechenkosten-effektiver Form neu konzeptualisiert und implementiert.

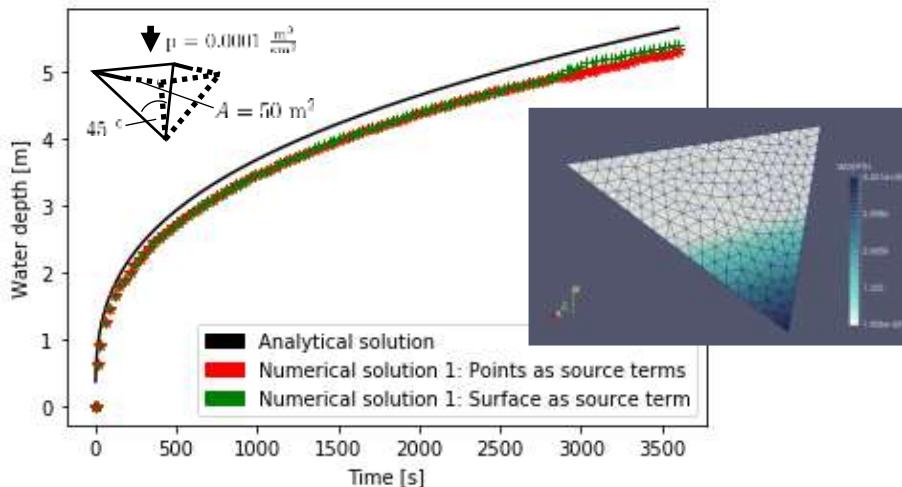


Abbildung 8: Entwicklung einer Benchmark Bibliothek für Oberflächenabfluss mit Referenzlösungen basierend auf analytischen Lösungen hier beispielhafte Darstellung eines Referenzlösungs-Sets bestehend aus der Vektorbeschreibung, dem FEM-Modell und den verschiedenen Lösungskurven der Wassertiefe

- **Abflussversuche**

Zur Validierung der Modellansätze zur Oberflächenabflussberechnung erfolgten Kalibrierungsmessungen über großtechnische Überflutungsversuche auf dem Gelände der Kläranlage Hildesheim. Untersuchungsziel war die Ermittlung der Sensitivität des Rauigkeitsbeiwertes auf das Modellierungsergebnis. Es wurde eine 19,2 m² große Geländeoberfläche zwischen zwei Klärbecken mehrmals geflutet (Nachbildung eines Straßenraums). Zur Kalibrierung wurden zum einen mit optischen Verfahren an sechs Messpunkten die Wasserstände über die Zeit aufgenommen, zum anderen wurde optisch die Propagation der Nässefront über die Zeit festgehalten und mit den Modellergebnissen abgeglichen.

Im Berechnungsmodell wurde das Versuchsgebiet hierzu in ein strukturiertes Dreiecksgitter diskretisiert und entsprechend der visuellen Oberflächenstruktur in drei Rauigkeitszonen untergliedert. Die Untersuchung zeigt, dass die Wahl des Rauigkeitsbeiwertes die Steigung und Verzögerung der Durchbruchskurven beeinflusst. Der Einfluss einer differenzierten Wahl des Rauigkeitsbeiwertes konnte mittels Parameteruntersuchung verdeutlicht werden. Es konnte jedoch auch gezeigt werden, dass die numerische Berechnung des Oberflächenabflusses mit OpenGeoSys eine hohe Ergebnis-Übereinstimmung mit den gemessenen Wasserständen und dem Wellenfortschritt des physikalischen Versuches aufweist, sodass für die Oberflächenabflussmodellierung zusammenfassend festgehalten werden kann, dass das Modell in der Lage ist die realen Verhältnisse auf der Oberfläche hinreichend genau abilden zu können. Eine genaue Beschreibung der Messmethode befindet sich in (Teil B 4.1)

1.1.2 Alternativen-Identifikation oberflächiger Abflusswege im Gesamtquartierskontext und bautechnische Gestaltungsvarianten

Die Implementierung einer oberflächigen Ableitung niedrig bis schwachbelasteten Niederschlagswassers ist eine wichtige Komponente des entwickelten neuen Entwässerungskonzepts qbTE, eng verknüpft mit der Starkregenvorsorgeplanung, bei der für das jeweilige Stadtgebiet u. a. Notwasserwege definiert werden, die eine schadfreie Ableitung/Rückhalt

im Extremwetterfall ermöglichen. Grundsätzlich kann hierbei die Umsetzung der oberflächigen Ableitung in Bestandsquartieren (1) offen in der Straße, (2) durch das Anlegen von Gräben, (3) durch vergitterte überfahrbare Rinnen unter Berücksichtigung einer weitestgehenden Barrierefreiheit im Straßenraum sowie (4) durch durchgängig höher gelegte (Fuß-)Wege erfolgen. Voraussetzung für diese Art der Niederschlagswasserbewirtschaftung sind angepasste Betriebs- und Alarmkonzepte sowie eine hinreichend genaue Kenntnis über das Fließverhalten (s. o.).

Als Querschnittsdisziplin kann die Stadtplanung wesentlich zu einem wirkungsvollen urbanen Wassermanagement beitragen durch Berücksichtigung der wasserwirtschaftlichen Anforderungen im städtebaulichen Quartierskonzept. So hat die Flächenvorsorge in Bezug auf Starkregen gefahren ein großes Potenzial bei der Minimierung von Risiken, die Kommunen können über die Bauleitplanung steuernd eingreifen und zum Beispiel durch Freihaltung von Flächen oder durch Vorgaben für die detaillierte Planung und Gestaltung von Nutzungen und Bauwerken in Gefahrenbereichen Risiken mindern. Insbesondere die Form der Oberflächennutzung zur (Not-)Abkopplung von Niederschlagswasser erfordert eine kooperative integrale Stadtplanung und eine gute Zusammenarbeit unterschiedlicher Fachdisziplinen (siehe hierzu auch Strategiekomponente 3 „Institutionalisierung“).

Für das Modellquartier „Hildesheimer Neustadt“ wurde im Rahmen von **TransMiT** das Vorgehen zur Identifikation von oberflächigen Fließwegen in Bestandquartieren beispielhaft angewendet und die entwickelten Methoden der Datennachverdichtung und Oberflächenabflussmodellierung erprobt. Im Ergebnis zeigt sich, dass die Nutzung von oberflächigen Ableitungswegen im urbanen Raum auf Basis der Untersuchung für das Beispielgebiet grundsätzlich möglich ist, sie jedoch immer im Nutzungskonflikt mit anderer Infrastruktur im Straßenraum steht. Eine integrale Planung, die auch die Interessen anderer Sektoren aufgreift, ist damit nicht nur konzeptionell, sondern auch auf der Ebene der Objektplanung für eine Umsetzung zwingend erforderlich. Eine oberflächige Ableitung im urbanen Raum ist geprägt durch städtebauliche Randbedingungen. So bestehen vielfältige Konkurrenzen mit anderen Nutzungsansprüchen an den vorhandenen (Straßen-)Raum, die in einem integralen Stadtplanungsprozess quartiersweise abgestimmte werden müssen (vgl. A.III, Kap. 2). Im Rahmen der Ableitungsplanung wurde neben der möglichst uneingeschränkten Nutzbarkeit des Straßenraums, der Vermeidung von Schäden an Gebäuden und Infrastrukturbauwerken, der Frage der Verteilung der Kosten betrieblicher Aufwendungen z. B. durch Reinigung nach Ableitungseignissen, aber auch der Frage der organisatorischen Verantwortung, insbesondere der grundsätzliche städtebauliche Anspruch der Gewährleistung einer weitgehenden Barrierefreiheit im Straßenraum als häufigster, im direkten Zielkonflikt zu einer gefassten oberflächigen Ableitung und dem Überflutungsschutz stehende Anspruch identifiziert. Die Ableitung in offenen oder vergitterten Rinnen stellt z. B. ein Hindernis dar und kann während den Frostperioden sogar zu einem direkten Gefahrenpotential werden, so wie z. B. Leitschwellen oder Überflutungsbarrieren ggf. zu Umwegen zwingen oder alternativ versenkbar ausgeführt werden müssen, um die gewünschte Barrierefreiheit zu erreichen. Mit Blick auf Mobilitätsansprüche und Verkehrssicherheit besteht der wesentliche Zielkonflikt in der Häufigkeit der multifunktionalen Nutzung des Straßenraums als Ableitungsweg. Hier wurde für die Entwässerungsplanung als Auslegungsschwellenwert festgehalten, dass Regenereignisse mit der Wiederkehrzeit von bis zu 1 Jahr und der Dauer von 15 min ohne Störung der Verkehrssicherheit abgeleitet werden müssen. Die Wahl der Ausführung bestimmt dabei den Aufwand für die Umsetzung und ist abhängig von der Straßenplanung und mit ihr auf Objektplanungsebene abzustimmen.

Die wesentliche Voraussetzung für die Integration von oberflächigen Ableitungen ist aber die im vorherigen Kapitel beschriebene detaillierte Datengrundlage, um abflussrelevante Bereiche bzw. mögliche Fließwege mittels Abflusssimulationen im Bestand zu identifizieren und die für die Abstimmung der Ressorts notwendigen Informationen bereitzustellen zu können. Zur Identifizierung und Konzipierung von Fließwegen im urbanen Raum wurde hierzu folgendes prozessuales Vorgehen festgehalten:

1. Identifikation möglicher Fließwege im Bestandquartier

Auf Basis der Datengrundlage und Oberflächenabflusssimulationen ohne Kopplung werden mögliche Fließwege identifiziert.

2. Festlegung der Trassenführung

Auswahl der für eine Umsetzung relevanten Fließwege und Verlauf.

3. Flächenzuordnung

Die zugehörigen Straßen und Dachflächen werden ermittelt.

4. Gerinnedimensionierung

Ausgehend vom vorhandenen Platzbedarf und der gewählten Umsetzung wird eine Dimensionierung des Gerinnes geplant.

5. Oberflächenabflusssimulation

Der Fließweg mit dem Gerinne wird in einem gekoppelten 2D Oberflächenabflussmodell untersucht und bewertet.

Das entwickelte Vorgehen zur Identifizierung und Konzeptionierung eines oberflächigen Fließweges wurde beispielhaft für einen Bereich in der Hildesheimer Neustadt angewendet und getestet:

Schritt 1-4: Abbildung 9 zeigt einen der beiden in Schritt 1-3 ausgewählten möglichen Fließwege mit Flächenzuordnung. Der Fließweg Markt – Mühlengraben verläuft in südwestlicher Richtung der Hildesheimer Neustadt, hat eine Länge von ca. 450 m und ist in der Gosse der Straße positioniert. Im Rahmen der Flächenzuordnung (Schritt 3) können ca. 1,6 ha Straßen- und Dachflächen angeschlossen werden. Das entspricht einer Abkopplung von ca. 55 % der Flächen, die aktuell am bestehenden Mischsystem angeschlossen sind. Im planerischen Ansatz wurde eine vergitterte Fertigteilrinne im U-Profil (DN 200/300) gewählt.

Schritt 5: Zur Gewährleistung einer sicheren Ableitung und für die Abstimmung der sich hieraus ggf. ergebenden Maßnahmen anderer Ressorts, ist die Durchführung einer Oberflächenabflussmodellierung zwingend erforderlich. In der folgenden Abbildung 10 sind die Simulationsergebnisse aus dem Simulationslauf für einen 50-jährigen Modellregen gezeigt. Die Simulation im Oberflächenabflussmodell bestätigt einerseits den gewählten Fließweg, der sich gut in die vorhandene Topografie einfügt, und zeigt andererseits, dass der Straßenkörper schon jetzt dazu in der Lage ist, das Wasser an der Oberfläche abzuführen. So wurde u. a. auch ein Starkregenereignis simuliert mit dem Ergebnis, dass die Abflusswege überwiegend im Straßenkörper verbleiben und eine geringe Überflutungsgefahr besteht.

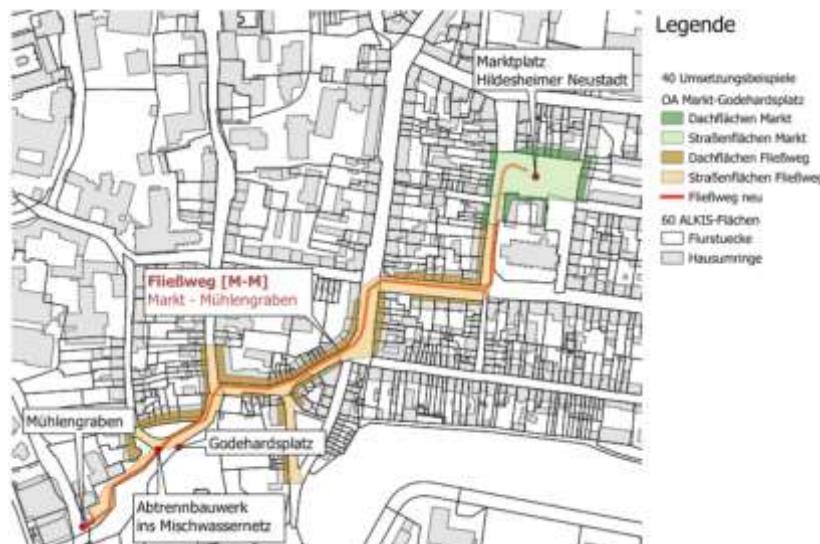


Abbildung 9: Fließweg Markt – Mühlengraben Ergebnis der Schritte 1 bis 3

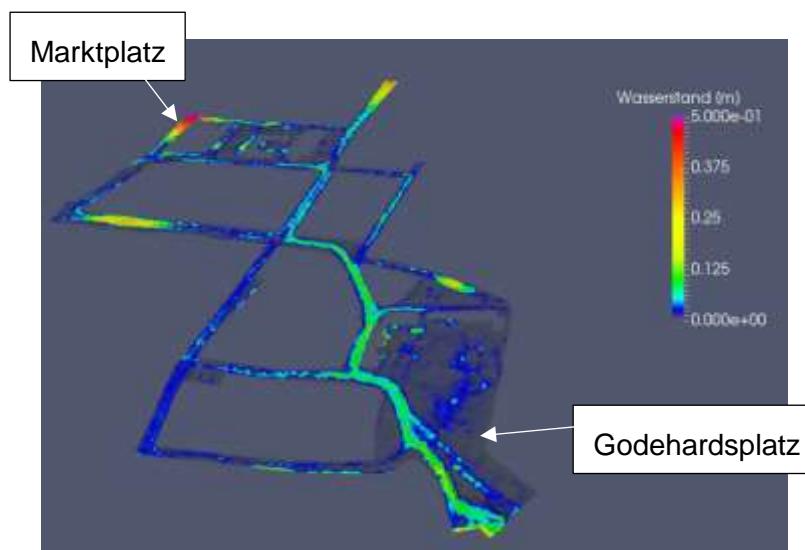


Abbildung 10: Ausschnitt 2D Oberflächenabfluss Fließweg Markt - Mühlengraben MR50

Vertiefende Informationen zur Entwicklung des Fließweges (Schritt 1 – 4) können im Teil B 4.3 eingesehen werden. Erläuterungen zum Aufbau des Oberflächenabflussmodells sowie weitere Ergebnisse aus den Simulationsrechnungen für das Beispielgebiet Hildesheimer Neustadt sind im Teil B 4.2 zu finden.

1.2 Kanalnetzsteuerung zur dynamische Wasserabnahme durch Kläranlage und Speicherräume

Gerade in Gebieten, wo dezentrale Lösungen aus Kostengründen nicht sinnvoll anzuwenden sind und aufgrund der hohen flexiblen Anpassungsmöglichkeiten stellt die Kanalnetz- bzw. Abflusssteuerung (AST) eine gute Möglichkeit zur Reduzierung von Mischwasserentlastungen in das Gewässer dar. Die Flexibilität des Netzes auf die verschiedenen Anforderungen dynamisch reagieren zu können, wird erreicht indem das ansonsten statische System durch die Bewegung von Wehren, Schiebern und Pumpen an die aktuelle Situation und Auslastung des Systems angepasst wird. Aufgrund der effektiven Ausnutzung der bereits

vorhandenen Kapazitäten bietet sie dabei eine wirtschaftlich interessante Alternative zur konventionellen, baulichen Erweiterung des Kanalnetzes. Aufgrund der Tatsache, dass die Vorteile einer AST zwar schon lange und allgemein bekannt sind, eine breite Umsetzung bisher jedoch aufgrund der meist individuellen Ausgestaltung noch nicht erfolgt, wurden im Bereich der Forschung vereinzelt modulare Ansätze entwickelt, die die AST für den Betreiber handhabbar machen sollen (Pabst, M., Beier, M., Rosenwinkel, K.-H., Schütze, M., Alex, J., Peikert, D., Niclas, C. 2010; Marcantini et al. 2016). Einen solch modularen Ansatz stellt die vorkonfektionierte ADESBA-Verbundsteuerung dar, die im EZG Hildesheim aktuell die Bewirtschaftung des Kanalnetzes unterstützt und mit Blick auf die Transformation der Entwässerung zur qualitätsbasierten Trennentwässerung im Rahmen von **TransMiT** weiter modifiziert bzw. im Rahmen der Systemintegration die Einbindung des oberflächigen Abflusskonzepts in die Kanalnetzsteuerung vorbereitet wurde, um somit Entlastungen aus dem Kanalnetz möglichst gänzlich zu vermeiden.

Die Ableitungskapazität des Kanalnetzes bildet eine systemspezifische Kapazitätsgrenze, die im Rahmen einer smarten Kanalnetzsteuerung und Speicherbewirtschaftung optimal ausgenutzt werden kann. Das Konzept der qualitätsbasierten Trennentwässerung sieht hierbei vor, dass nur so viel stark-verschmutztes Niederschlagswasser zur Kläranlage geführt wird, wie Ableitungs- und Reinigungskapazitäten abschlagsfrei zur Verfügung stehen. Dabei sollen vorhandene Möglichkeiten zur Maximierung der Ableitungskapazitäten von Mischwasser im Kanalnetz bestmöglich ausgereizt werden. Dies kann durch das Ausnutzen von Einstaupotential im Kanalnetz oder durch gezielte Abflussverzögerungen erfolgen.

1.2.1 Entwicklung einer Niederschlagswasserweiche zur flexiblen Steuerung des Entwässerungsweges

Erste Voraussetzung der Transformation eines Mischsystems in ein bewirtschaftetes, abschlagsfreies Schmutzwassernetz ist eine, in diesem Fall nach Qualitätskriterien regelbare Niederschlagswasserableitung in das nun zum Schmutzwassernetz transformierte Kanalsystem. Eine solche „Niederschlagswasserweiche“ kann hierbei entweder

- **statisch**, durch bereits an der Oberfläche eingerichtete qualitätsbasierte Trennung der Oberflächenabflüsse nach Oberflächennutzung und -charakter ausgestaltet sein, oder
- **dynamisch**, durch temporären Verschluss der Kanalisation. Bei dieser Weiterentwicklung des Ansatzes ist das Regelungsziel, auch noch während eines Regenerationszeitraums zwischen, in diesem Fall zeitlich differenziert anfallenden, qualitativ unterschiedlich einzustufenden Teilströmen zu unterscheiden (ausschließlich Aufnahme und Ableitung des höher verschmutzten Spülstoßes über den Schmutzwasserkanal zur Kläranlage).

Es besteht somit eine Wechselwirkung zwischen Oberflächenabfluss und Kanalnetz, welche in Zusammenhang mit einer Kanalnetzsteuerung berücksichtigt werden muss. Die Ableitung über eine regelbare hydraulische NW-Weiche ist damit Teil einer Kanalnetzsteuerung. Abbildung 11 zeigt das Regelschema der hydraulischen NW-Weiche, welche auf Grundlage der Qualität des Niederschlagswassers und Kapazität der Kanalnetzes das Niederschlagswasser in Richtung „Nutzung“ oder Kanalnetz ableitet. Dabei sind die beiden wesentlichen Regelstrategien und -größen:

- **NW-Qualität:** Nur verschmutztes Niederschlagswasser wird zur Kläranlage geleitet.
- **Kapazität Kanalnetz/Kläranlage:** Eine Weiterleitung erfolgt nicht, wenn dadurch ein Abschlag entsteht.

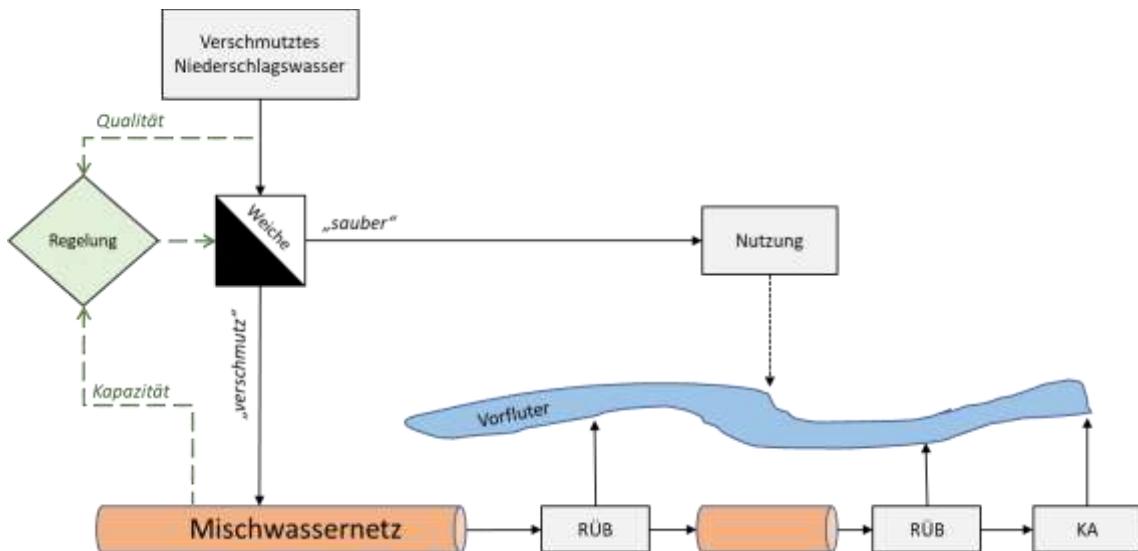


Abbildung 11: Konzept der regelbaren NW-Ableitung mittels hydraulischer Weiche

Die beschriebenen Weiche ist als Bauwerk so zu gestalten, dass eine gedrosselte (regelbare) Ableitung in das Schmutzwasser führende System geregelt wird. Ein solches Bauwerk kann beispielsweise als Fertigteilschacht ausgeführt werden, wie konzeptionell in Abbildung 12 dargestellt.

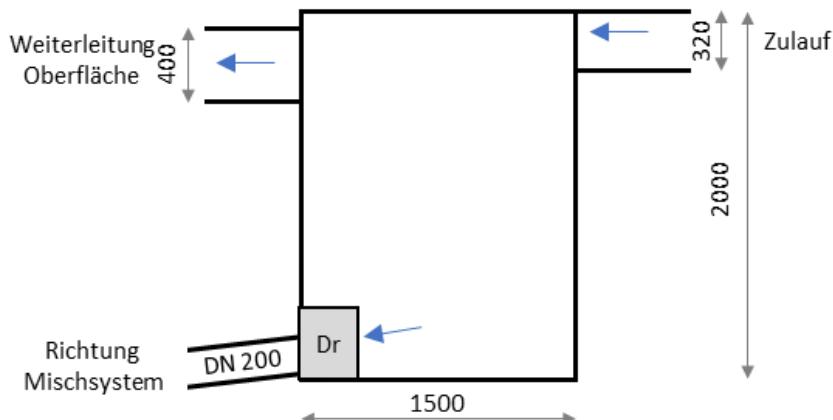


Abbildung 12: Konzeptionelle Bauwerksgestaltung zur Umsetzung einer hydraulischen Weiche

Ein Drosselorgan (kurz: Dr) regelt dabei den Ablauf ins Mischsystem. Übersteigt der Zulauf den Drosselablauf, steigt das Wasser im Schacht an. In diesem Beispiel würde es dann an der Oberfläche weiter ablaufen. Die qualitätsbasierte Abtrennung des stärker belasteten Spülstoßes erfolgt hierbei über die Festlegung eines durch die Kanalisation aufzunehmenden Abflussvolumens. Das Abflussvolumen kann dabei bautechnisch durch Überlaufschwellen oder einen Schieber geregelt werden, wobei die aktuell umgesetzte Kanalnetzsteuerung des Modellgebiets allein auf einem hydraulischen Ausgleich beruht und bisher keine qualitätsbasierte Priorisierung einzelner Abflüsse erfolgt (Weiterentwicklung zu einer qualitätsbasierten Bewertung für Einzelereignisse - siehe Verstetigungsprojekt TransKOM, AP 1.3, Berichtsteil C). Alternativ zu einer hydraulischen Weiche sind sensorbasierte Regelungen vorstellbar, die aufgrund ihres höheren Wartungsaufwandes jedoch z. Zt. nicht für eine flächendeckende Umsetzung geeignet erscheinen. Ein temporärer Einsatz zur Entwicklung qualitätsbasierter Regelalgorithmen zeichnet sich dagegen als zielführend ab. Hierdurch können quartierspezifische Besonderheiten in der Oberflächenabflussqualität

identifiziert und berücksichtigt werden. Des Weiteren kann auf Basis solcher Messkampagnen die Auswahl von robusten, wartungsarmen „Ersatzparameter“-Messungen erfolgen, sowie sie auch die Basis für das, für den langfristigen Betrieb notwendige, Qualitätsmonitoringkonzept bilden, welches insbesondere im Hinblick auf die das NW-annehmenden Bereiche einzurichten ist.

Ergänzend zu den gestalterischen Überlegungen wurden in **TransMiT** modelltechnische Untersuchungen für eine mögliche Regelung auf Basis der Regelungsstrategie „Kapazität Kanalnetz/Kläranlage“ durchgeführt. Die Umsetzung erfolgte in einem bestehenden Kanalnetzmodell der Hildesheimer Neustadt, welche sich im Einzugsgebiet des Regenüberlaufbecken Treibestraße befindet. In den entwickelten Fließweg Markt - Mühlengraben wurde eine hydraulische Weiche als Schachtlösung, wie in Abbildung 12 dargestellt, integriert. Damit die Regelungsstrategie „Kapazität Kanalnetz/Kläranlage“ im Modell berücksichtigt wird, wurde in die Regelung der Wasserstand des Regenüberlaufbeckens Treibestraße einbezogen. Steigt der Wasserstand im Regenüberlaufbecken auf eine definierte Höhe, verschließt sich die Drossel und damit die Weiterleitung ins Mischwassernetz. Im Modell fließt das Niederschlagswasser dann entsprechend dem Ableitungskonzept der qbTE in der oberflächennahen Rinne weiter.

Der Regelungsansatz wurde in das bestehende Kanalnetzmodell integriert und zum Vergleich mit dem Ist-Zustand und einer statischen Ableitung zur Kläranlage in einer Langzeitsimulation untersucht. Ausgewertet wurde die Reduktion der Mischwasserabschläge im Vergleich zum Ist-Zustand (vgl. Tabelle 1). Detaillierte Erläuterungen zu den Modellrechnungen sind in Teil B 4.4 zu finden.

Tabelle 1: Ergebnisse der Langzeitsimulation einer geregelten NW-Ableitung im Modellgebiet (siehe auch Teil B 4.4)

Modell	Beschreibung	Reduktion Mischwasserabschlag
1	Ist-Zustand	0 %
2	Statische NW-Ableitung zur Kläranlage (Qualitätskriterien über feste Einzugsgebiete)	29 %
3	Regelbare NW-Ableitung zur Kläranlage (Qualitätskriterien über zeitliche Differenzierung → Ableitung des Spülstoßs (beispielhaft))	77 %
4	Keine Ableitung zur Kläranlage (Qualitätskriterium für Gesamtabfluss erreicht)	100 %

Tabelle 1 zeigt das große Potential einer regelbaren Niederschlagsableitung. Durch die regelbare Niederschlagswasserableitung (Nr. 3) zeigt sich gegenüber der statischen Ableitung (Nr. 2) eine Reduktion des Mischwasserabschlagsvolumen um weitere 48 %, das mit dem Regelungsansatz gesteckte Ziel einer abschlagsfreien Mischentwässerung wurde allein durch die dynamische Abkopplung jedoch nicht erreicht. Grund dafür ist die durch die

Fließzeit hervorgerufene verzögerte Regelung in der hydraulischen Weiche, da der Impuls aus dem Regenüberlaufbecken kommt².

Ausgehend von dem gewählten Ansatz sollten daher weiter Regelungskonzepte untersucht werden, wobei aus aktueller Sicht zwei Ansätze denkbar wären:

- Ein **hydraulisches System**, wobei die Weiche nur hydraulisch ohne Fremdenergie geregelt wird. Die max. Drosselableitung lässt sich einstellen und das System muss in vorherigen Kanalnetzsimulation entsprechend den Randbedingungen aus dem Kanalnetz ausgelegt und abgestimmt werden.
- Eine andere Möglichkeit ist ein **digitales System**, welches über eine ansteuerbare Drosselstrecke verfügt und mit Datenfernübertragung in die bestehende Kanalnetzsteuerung integriert werden kann. Die Regelung kann dann auch über Vorhersagemodelle gestützt werden.

Die Umsetzung der hydraulischen Weiche und die Untersuchung der Regelungssysteme mit den beschriebenen Ausrichtungen werden in der Verstetigungsphase **TransKOM** weiter betrachtet und erprobt. Hier erfolgt dann auch die ergänzende Kopplung mit dynamischen Qualitätsdaten für das einzelne Regenereignis (vgl. A.I, Kap. 2).

1.2.2 Modelltechnische Untersuchungen zur Identifizierung von Speicherräumen im Kanal

Die Kanalnetzsteuerung ist das grundlegende Element für die intelligente Bewirtschaftung eines Kanalnetzes. Im Untersuchungsgebiet der Stadtentwässerung Hildesheim wird seit 2015 die Kanalnetzsteuerung ADESBA betrieben, bei der über die Wasserstandsänderung in den RÜBs die Führungsgröße Abflussmenge in die Regelung eingeht. Über die beiden Grundsätze i) möglichst schnelle Entleerung (Abgabewunsch) ii) optimaler Ausgleich der Wasserstände in allen Regenüberlaufbecken (Abgabebegrenzung) erfolgt zur Zeit die Kanalnetzsteuerung (Pabst, M., Beier, M., Rosenwinkel, K.-H., Schütze, M., Alex, J., Peikert, D., Niclas, C. 2010).

Bereits in die Steuerung implementiert ist die Möglichkeit einzelne Stränge z. B. aufgrund von besonderer Verschmutzung oder Sensitivität des Gebiets bei der Ableitung zu priorisieren. In **TransMiT** wurde zur Umsetzung einer solchen Priorisierung einzelner Stränge ADESBA in ein Teilgebiet des Kanalnetzmodells integriert und verschiedene Belastungsvarianten im Rahmen der Abwasserweichenmodellierung erzeugt (Teil B 4.4). Die Ausnutzung der vorhandenen Steuerungspotentiale in der Verbindung mit der qualitätsbasierten NW-Bewirtschaftung ist Bestandteil des Verstetigungsprojektes (AP 1.2).

1.3 Maximale Annahmekapazität der Kläranlage

Ein wesentlicher Aspekt der qualitätsbasierten Entwässerung ist die gezielte Einbindung der kommunalen Kläranlage in die Niederschlagswasserbehandlung für stark verschmutzte

² In den in Kapitel A.I, 3 und B, Kap. 4.5 beschriebenen modellunterstützten Machbarkeitsuntersuchung (proof of concept) wird anders als hier in der Detailstudie das Potential der qbTE für das gesamte Stadtgebiet Hildesheim untersucht. Im Ergebnis zeigt sich, dass mit der Umsetzung einer mittleren qualitätsbasierten Entflechtung der Ableitung (Oberflächeneinordnung nach A 102) bereits die stark und mittleren Verschmutzungsanteile des Abflusses vollständig auf der Kläranlage angenommen und gereinigt werden können. Eine zeitlich begrenzte zusätzlich erhöhte Annahmemenge ist möglich.

Teilströme. Neben der besseren Umsetzbarkeit in Bestandsgebieten aufgrund der weitgehenden Nutzung vorhandener Entwässerungsinfrastruktur, ist mit Blick auf die Gewässer ein wesentlicher Vorteil des Konzepts zunächst einmal die erhöhte Reinigungsleistung der kommunalen Kläranlage gegenüber dezentralen Lösungen (verbunden mit einer guten Leistungskontrolle). Auf Quartiersebene kommen reduzierter Ressourcenverbrauch „Fläche“ und „Material“ durch die Vermeidung von dezentralen, neu zu errichtenden Reinigungsstufen dazu und damit natürlich wieder verbunden und im direkten Interesse der Stadtentwässerungen Kosteneinsparungen sowohl investiv als auch im Betrieb. Der kommunalen Kläranlage kommt im Konzept der qualitätsbasierten Entwässerung daher eine besondere Bedeutung zu, da mit bereits vorhandenen Behandlungsverfahren vermehrt stark-verschmutztes Niederschlagswasser aus dem Einzugsgebiet zentral behandelt werden kann, ohne zusätzliche dezentrale Behandlungskapazitäten zu schaffen. Der Kläranlage kann dabei so viel stark verschmutztes Niederschlagswasser zugeführt werden, wie die vorliegende Behandlungskapazität es zulässt. Dabei kann der durch die Integration der qualitätsbasierte Trennentwässerung neu auftretende Belastungsfall auf der Kläranlage durch gezielt eingesetzte Betriebsstrategien begegnet werden.

Stark verschmutzte Teilströme des Oberflächenabflusses fallen in den Stadtquartieren durch das Überfließen unterschiedlicher Oberflächen, mit durch das Material, die Nutzung oder die vorangehende Wettersituation unterschiedlichen Schmutzstoffabgabepotentialen zu (örtliche Varianz). Die zweite, die Abflussqualität beeinflussende Größe ist die Mitnahme-, Eluations-Intensität des Regenereignisses bzw. die Dauer des Regenereignisses. Letztere, also die über die Regendauer variierende Schmutzfracht (zeitliche Varianz) wird als Spülstoß bezeichnet und kann system- und ereignisspezifisch als Zeitraum ($t_{Spülstoß}$ [Min]) in eine dynamische Abflussregelung aufgenommen werden (vgl. auch A.I, Kap. 2.2). Der unter Ansatz der Qualitätskriterien berechnete Belastungsfall entspricht im Wesentlichen dem klassischen Mischwasserfall, wobei davon ausgegangen werden kann, dass bei einer konsequenten Umsetzung der qualitätsbasierten Entwässerung im Einzugsgebiet die Schad- und Nährstoffkonzentrationen im Zulauf zur Kläranlage zunehmen und durch eine konsequente Abkopplung des unverschmutzten Niederschlagswassers eine verminderte Verdünnung der Schad- und Nährstoffkonzentrationen im Verlauf einen Mischwasserereignisses erreicht wird³.

Die guten bis sehr guten Reinigungsleistungen kommunaler Kläranlagen hinsichtlich der im Niederschlagswasser enthaltenen Schmutzstoffe wie abfiltrierbare Stoffe (AFS), Mikroplastik (Bertling et al. 2018; Siegel und Thyen 2020a; Bauerfeld 2020) und Schwermetalle (Weller 2006a; Brombach et al. 2005b), aber auch abbaubare gelöste Stoffe und Nährstoffe machen Kläranlagen attraktiv für die Behandlung von „hochbelasteten“ Niederschlagswasser. Der durch die weitergehende Anforderung an die P-Ablaufkonzentrationen sowie die Elimination von Spurenstoffen forcierte Ausbau der Kläranlagen mit einer hierauf ausgelegten zusätzlichen Reinigungsstufe (Filtration, Adsorptionsstufe etc.) führt zu einer weiteren

³ Durch Abkopplung un- oder nur schwach-verschmutzten Wassers (betrifft auch eindringendes Grundwasser) verstärkt durch die angestrebte zunehmende Reduzierung des Wasserverbrauchs im Entwässerungsgebiet und weitgehende Kreislaufschiebung ist mittelfristig mit einer deutlichen Konzentrationserhöhung zu rechnen. Hier sind die Überwachungsbehörden gefordert, mit Blick auf in der Kläranlage nicht eliminierbare Inhaltsstoffe wie beispielhaft der CSB_{ref} oder Phosphonate zunächst im Hinblick auf die WRRL eine Einordnung dieser Stoffe auf die Gewässer vorzunehmen und anschließend auf dieser Basis die Überwachungspraxis z. B. durch eine qualifizierte Stichprobe die Frachtregelung zu ergänzen.

Reduzierung der Emissionen in die Gewässer, die dezentral nur mit einem erheblichen Aufwand zu erreichen wäre. Untersuchungen (Karlsruhe Institut für Technologie et al. 2015) zur Leistungsfähigkeit von Regenüberlaufbecken zeigen, dass die errichteten Anlagen häufig nicht die vorgesehene Reinigungsleistung im praktischen Betrieb erreichen. Geringer Automatisierungsgrad in der Bewirtschaftung, nicht ausreichende Wartung und Instandsetzungsintervalle werden auch zukünftig aufgrund der Vielzahl der Anlagen und ggf. verschärft durch den zunehmenden Fachkräftemangel, ungewollte Einleitungen von Schmutzstoffen in die Gewässer zur Folge haben. Die qbTE ist hier mit der zentralisierten Reinigung und den hierdurch erreichten Einsatz hochwertiger Prozessleit- und Verfahrenstechnik sowie kontinuierlicher Ablaufüberwachung zukunftsorientiert aufgestellt.

In der Vergangenheit war der maximale Zufluss zur Kläranlage als Schnittstelle zum Kanalnetz im technischen Regelwerk auf $2 \cdot Q_s + Q_f$ festgelegt und begrenzt. Durch diese Vorgabe wurden, unabhängig des Kläranlagenzustandes und der verfügbaren Kapazitäten, erhebliche Mischwasserentlastungen erzeugt. Mit dem ATV-DVWK-A 198 (2003) wurde die starre Begrenzung etwas aufgeweicht. Je nach Ausbaugröße der Kläranlage wird nun ein gewisser Handlungsspielraum für die zulässige Beschickung der Kläranlage eingeräumt und ermöglicht so die Optimierung der Schnittstelle zwischen Kanalnetz und Kläranlage. Mit Blick auf die Implementierung der qbTE wurden in **TransMiT** die Potentiale des Handlungsspielraums bzgl. einer erhöhten Mischwasserannahme durch betriebliche Anpassungsstrategien auf Kläranlagen im Zusammenspiel mit vorgelagerten Strukturmaßnahmen untersucht.

Betrieblichen Maßnahmen sind u. a. in der DWA-Themenreihe „Technische Maßnahmen zur Behandlung von erhöhten Mischwasserabflüssen in der Kläranlage“ beschrieben sowie in weiteren Literaturen untersucht (DWA 2013; Günther 2019). Tabelle 2 enthält eine Aufstellung möglicher Maßnahmen und deren Zuordnung, ob damit die hydraulische oder die stoffliche Behandlungskapazität erhöht werden kann.

Tabelle 2: *Betrachtet Maßnahmen zur Erhöhung der Behandlungskapazität von Mischwasser im Rahmen der qualitätsbasierten Trennentwässerung*

	Maßnahme	Hydraulische Belastung	Stoffliche Belastung
1	Speichernutzung: Aktivierung von zusätzlichen Speichervolumen auf der Kläranlage (Vorklärung, Abwasserspeicher)		x
2	Bypass Vorklärung: Zeitlich begrenztes Umfahren des Vorklarbeckens, durch gezielte Regelung auf Basis der Stickstoffbelastung		x
3	Bypass Belebung Zeitlich begrenztes Umfahren des Belebungsbeckens, durch gezielte Regelung auf Basis des Nachklärbecken-zustandes	x	(x)
4	Automatisierungskonzepte Optimierung der Belüftersteuerung zur Verbesserung der Nitrifikationskapazität		x
5	Baulich Optimierung NKB Bauliche statische Anpassung des Nachklärbeckens zur Verbesserung der Absetzeigenschaften	x	

Das Konzept der qbTE führt neben der erhöhten hydraulischen Belastung auch zu einer zusätzlichen stofflichen Belastung (absolute Frachterhöhung), sowie zu Belastungsspitzen durch die Frachtverdrängung aus dem Kanalnetz bzw. der Belebung vorgelagerten Behandlungsstufen, mit folgenden Auswirkungen:

- Die zusätzliche **stoffliche Belastung** kann aufgrund der auf die 85 %-Belastung ausgelegten Kläranlage i. d. R. ohne Erweiterung der Anlage behandelt werden. Die auf vielen Anlagen bei zusätzlicher NW-Annahme auftretenden, zeitlich begrenzten erhöhten Stickstoff-Ablaufkonzentrationen aus dem Belebungsbecken, werden i. d. R. nicht durch die absolute Belastungserhöhung verursacht, sondern sind indirekte Folgen der plötzlichen Erhöhung der hydraulischen Belastung (plötzliche Verdrängung des Wasservolumens mit hoher NH₄-Konzentration aus der Vorklärung in die Belebung mit einem damit verbunden überproportionalen Frachstanstieg). Durch eine geregelte Bypass-Führung lassen sich diese Spitzen vermeiden (s. u.).
- Die zusätzliche **hydraulische Belastung** wirkt indirekt über eine Schlammverlagerung auf die Reinigungsleistung der biologischen Stufe. Vor allem in der Vorklärung kommt es durch den höheren Zulauf zu einer Verringerung der Aufenthaltszeit. In der Nachklärung kommt es zu einer erhöhten Schlammvolumenbeschickung. Ggf. nicht mehr zurückgehaltene abtreibende Feststoffen verschlechtern die Ablaufqualität. Durch einen Bypass um die Belebung kann aufgrund des reduzierten Feststoffgehalts der NK-Becken-Beschickung die Schlammvolumenbelastung auch bei erhöhter hydraulischer Belastung zeitlich begrenzt stabil gehalten werden.

Die integrale Bewirtschaftung des Gesamtsystems wird im Sinne einer klimaangepassten, ressourcenoptimierten Wasserwirtschaft zukünftig die gezielte Bewirtschaftung des Oberflächenabflusses über NW-Weichen und Stauraumbewirtschaftung ebenso als Teil der Kanalnetzsteuerung berücksichtigen müssen, wie die Zulaufbewirtschaftung des Abwasserstroms auf der Kläranlage. Mit den in **TransMiT** erfolgten Untersuchungen wurden hierzu die vorhandenen Systeme im Sinne einer ganzheitlichen integralen Steuerung weiterentwickelt, bei der die Kläranlage das letzte Glied der Kette darstellt, das aber aufgrund der angestrebten Abschlagsfreiheit mit der formulierten Annahmegrenze die Speicher- und Abkopplungsvorgaben im Kanalnetz vorgibt.

1.3.1 Erhöhung der maximalen Annahmekapazität der KA Hildesheim durch angepasste Betriebsführung –Simulationsstudie

In Tabelle 3 werden verschiedene Betriebsstrategien zur Maximierung der hydraulischen Annahmekapazität gelistet. Übergeordnetes Ziel der Betriebsstrategien ist es, die verfügbaren hydraulischen und reinigungstechnischen Kapazitäten der Kläranlage bestmöglich auszunutzen und zu maximieren. In einer durchgeföhrten Simulationsstudie wurden in **TransMiT** die Maßnahmen 1 bis 4 aus Tabelle 2 modelltechnisch abgebildet und für unterschiedliche Belastungs-Szenarien simuliert (siehe auch Teil B 4.7 – 4.9). Beide Bypasskonzepte wurden im Rahmen von **TransMiT** auch großtechnisch erprobt und auf Übertragbarkeit hin untersucht (Einfluss von Schlammstruktur und Absetzverhalten auf das Bypasskonzept) und Regelvorschläge für eine dynamische auf die lokalen Bedingungen hin optimal angepasste Formulierung von Annahmegrenzen erarbeitet.

Die modellbasierte Anwendung der Betriebsstrategien „Speicherbecken“ und „Bypass Vorklärung“ zeigen in der Simulation, dass die Ammonium- und Feststoffkonzentrationen im Ablauf mit dieser Regelung deutlich reduziert werden können. Die Betriebsstrategie „Bypass Belebungsbecken“ bei weiterer Erhöhung der hydraulischen Belastung führt in der

Simulation zu erhöhten Ammoniumkonzentrationen, jedoch auch auf Basis der Berechnungen nach dem 10-Schichten-Modell zu leicht reduzierten Feststoffkonzentrationen im Ablauf. Im Ergebnis der Simulationsstudie zeigte sich, dass auf der Kläranlage Hildesheim allein durch die Implementierung der Bypass-Führung für ausgewählte Ereignisse die Behandlungskapazität um das 1,8 – 2,0-fache der genehmigten Annahmekapazität erhöht werden kann, bevor die Ammoniumablaufkonzentration den Ablaufgrenzwert erreicht.

Die durchgeführten Simulationsstudien zeigen aber auch, dass die Schöpfung weiterer Kapazitätsreserven von aktuellen Zustandsbedingungen abhängig ist. Es gibt daher für die Kläranlage neben der oben genannten statischen auch eine dynamische maximale Annahmekapazität, die sich in der Regel oberhalb der statisch festgelegten Behandlungskapazität bewegt und durch gezielte betriebliche Maßnahmen erweiterbar ist. Die Erhöhung der Annahmekapazität einer Kläranlage im Rahmen der Umsetzung der qualitätsbasierten Trennentwässerung ist damit stark abhängig von verschiedenen Eigenschaften des Niederschlagsereignisses (Temperatur, Ereignisdauer, maximale Zufluss, Startzeitpunkt des Regens), den örtlichen Gegebenheiten und Maßnahmen im Entwässerungsgebiet sowie neben den baulich-technischen Anpassungen der Kläranlage auch dem aktuellen Betriebszustand der Prozessstufen (TS-Gehalt Biologie, Zeitpunkt des Ereignisses im Hinblick auf den Tagesgang der Belastung, zurückliegendes Extremereignis etc.). Ein Betriebskonzept einer erhöhten NW-Annahme muss daher – auch wenn die grundsätzlichen Zusammenhänge und Strategien übertragbar sind - kläranlagenspezifisch, unter Berücksichtigung der individuellen Kläranlagenkonzeption und vorliegenden möglichen Betriebsweisen angepasst werden. Die Ansätze einer smarten, KI-gestützten und damit zustandsorientierten Annahmeregelung zeigen hier in der Simulation bereits weiteres Potential auf.

1.3.2 Großtechnische Umsetzung Bypass Belebung zur Analyse der Betriebsauswirkung

Die Betriebsstrategie Bypass Belebung wurde in Form von großtechnischen Versuchen auf der Kläranlage Hildesheim umgesetzt, um Erkenntnisse zu Betriebsauswirkungen zu erlangen. Auf der Kläranlage Hildesheim wurde das Messkonzept erweitert und mittels einer gemieteten Pumpstation der Bypass Belebungsbecken aufgebaut. Zusätzlich wurde ein 2D-Strömungssimulation des untersuchten Nachklärbeckens durchgeführt, um den Effekt und das Verhalten der Nachklärung zu untersuchen. Auf der Kläranlage Herrenhausen erfolgten vereinfachte Versuche des Bypass Belebung mit vorhandenen Anlagentechnik.

Auf der Kläranlage Hildesheim zeigten die Versuche, dass für den Mischwasserfall eine Erhöhung der Zulaufbelastung mit der Betriebsstrategie Bypass Belebung um 33 % zeitlich begrenzt zugelassen werden kann. Dabei sind höhere Ammonium- und Feststoffkonzentrationen im Ablauf der Anlage zu erwarten, deren Höhe jedoch ereignisspezifisch, vom Kläranlagenzustand und der Zulaufsituation abhängig ist. Die Erhöhung der Ammoniumkonzentration ist anhand der Abbildung 13 gut erkennbar.

Eine genaue Beschreibung der Bypass-Umsetzung auf der KA Hildesheim und des Versuchsprogramms sowie weitere Auswertungen befindet sich in Teil B 4.8.

Die Ergebnisse der großtechnischen Versuche und der Strömungssimulation zeigen, dass eine hydraulische Mehrbelastung im Bestandssystem zum Teil auch ohne zusätzliche Betriebsstrategie in Abhängigkeit des Kläranlagenzustandes möglich ist. Entscheidend dafür ist die Reinigungsleistung der Nachklärung bedingt durch das Absetzverhalten des Belebtschlams, welches vor allem im Sommerzeitraum bessere Eigenschaften zeigt.

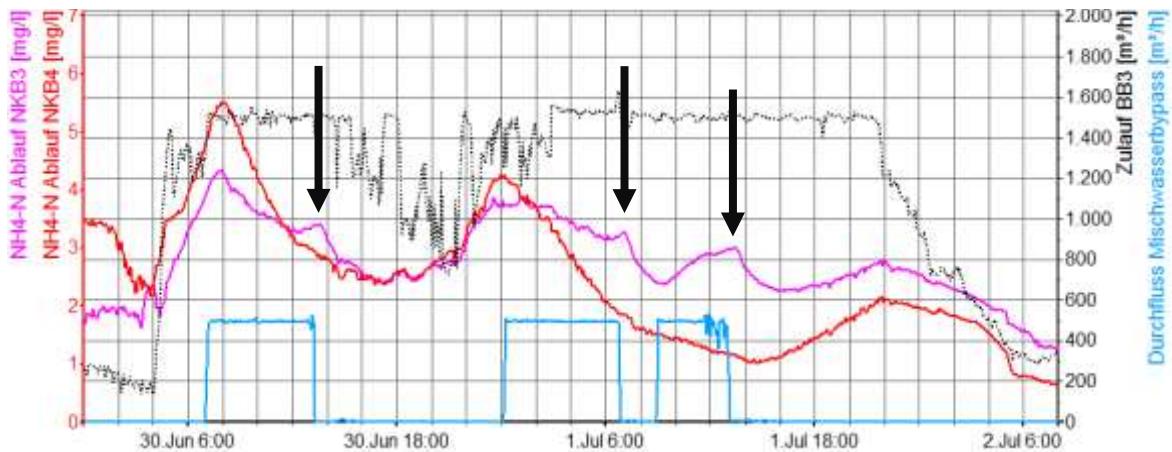


Abbildung 13: Auszug aus Versuchsprogramm: NH₄-N Spitzen bedingt durch den Bypassbetrieb Belebung

1.3.3 Beispielhafter Fahrplan für eine KA-Anpassung im Rahmen der Umsetzung der qbTE im Stadtgebiet

Am Beispiel der KA Hildesheim wird die erforderliche Kläranlagenanpassung zur Integration in das Konzept der qualitätsbasierten Trennentwässerung konzeptionell in Form eines Fahrplans dargestellt.

Allgemein können Kläranlagen ein zusätzliches Behandlungspotential aufweisen, dass aus einer redundanten Ausführung und planerisch berücksichtigenden Kapazitätsreserven resultiert. So sind die vier Straßen der Belebungsbecken der KA Hildesheim so ausgelegt, dass eine Straße außer Betrieb genommen werden kann und dennoch die volle Behandlungskapazität besteht. Der genehmigte Mischwasserzufluss für die Biologie ist auf 5.000 m³/h begrenzt.

Die folgende Abbildung 14 zeigt konzeptionell, wodurch eine Erhöhung der dynamischen Annahmekapazität erreicht werden kann. Die blaue Linie zeigt den genehmigten Mischwasserzufluss. Die orange Linie zeigt die dynamische Annahmekapazität, die bereits ohne Betriebsstrategien erreicht werden kann, wobei hier der saisonale Effekt in den Sommermonaten einhergeht. Die grüne Linie zeigt beispielhaft eine weitere Erhöhung der Annahmekapazität, die durch geeignete Betriebsstrategien erreicht werden kann, wobei hier die maximale Annahmekapazität berücksichtigt werden muss. Insgesamt ist die Erweiterung der Annahmekapazität durch die hydraulische maximale Annahmekapazität technisch limitiert. Diese kann unter anderem durch die maximale Förderleistung des Einlaufpumpwerks gegeben sein.

Für die Integration von Betriebsstrategien zur Erweiterung der Annahmekapazität zeigen sich folgende Ansätze als hilfreich:

- Längere Inbetriebnahme-Zeiträume für Messtechnik einplanen und vorgeschaltete Teststellung durchführen
- Durchführung von großtechnischen Versuchen zum Auszureißen von Systemgrenzen.
- Nutzung von 2D und 3D Strömungssimulation um komplexe Prozesse, die nicht erprobt werden können, zu untersuchen.

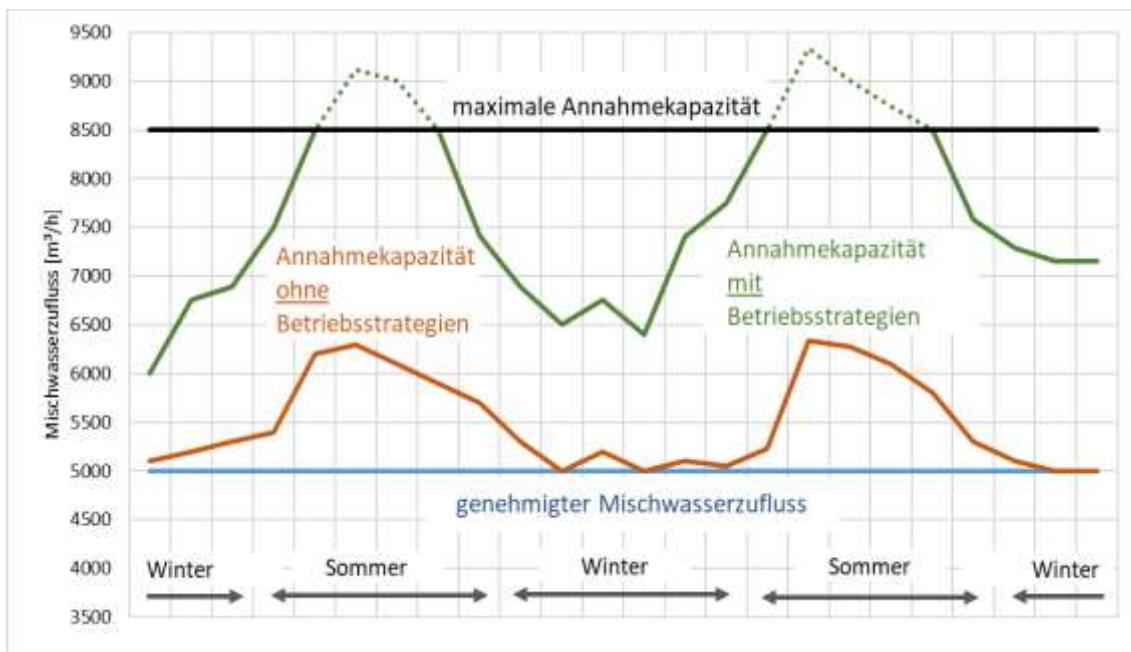


Abbildung 14: Konzeptionelle Skizze für eine fiktive Erhöhung der dynamischen Annahmekapazität auf der Kläranlage Hildesheim mit zusätzlichen Betriebsstrategien (grün) und ohne Betriebsstrategien (orange)

Am Beispiel der Kläranlage Hildesheim wurde ein Fahrplan für die individuelle Erhöhung der Annahmekapazität erstellt., der in 3 Phasen eingeteilt ist:

- **Phase 1** – Ermittlung der bestehenden Annahmekapazität und offene Potentiale
- **Phase 2** – Nutzung (dynamisch) der bestehenden Annahmekapazität
- **Phase 3** – Erweiterung der Annahmekapazität durch zusätzliche Betriebsstrategien

In der folgenden Tabelle sind die einzelnen Arbeitsschritte der 3 Phasen dargestellt und die Umsetzung für die KA Hildesheim aufgrund der vorliegenden örtlichen Gegebenheiten und Umsetzmöglichkeiten aufgezeigt.

Tabelle 3: Fahrplan Kläranlagenanpassung im Rahmen der Umsetzung der qbTE im Stadtgebiet

Arbeitsschritte	Beispiel Hildesheim: Örtliche Gegebenheiten & Umsetzungsmöglichkeiten
Phase 1 – Ermittlung des bestehenden Annahmekapazität und offene Potentiale	
1. Hydraulischer Nachweis zur Bestimmung der technischen hydraulisch maximalen Annahmekapazität. Ansätze: Versuche mit Mehrbelastung, theoretische Berechnung, hydraulische Simulation	Grenze: Zulaufleitung zur Wasserverteilung vor der biologischen Stufe Grenze: Zulauf zum NKB 3&4 Grenze: Ablaufmessung lässt nur 5.000 m³/h zu Grenze: Eilaufpumpwerk max. 8.500 m³/h
2. Ermittlung der stofflichen Maximalbelastung für die biologische Stufe Ansätze: Dyn. Kläranlagensimulation	Ergebnis der Simulation bestätigt, dass eine 1,8 bis 2,0-Fache Mehrbelastung möglich ist.

Phase 2 – Nutzung (dynamisch) der bestehenden Annahmekapazität	
1. Erweiterung des genehmigten Mischwasserzulauf zur Biologie	Aktuell: Q_M 5.000 m ³ /h Vorschlag Neu: Q_M 5.000 + 750 m ³ /h
2. Anpassung der Messtechnik von Messbereichen und Entfernung von hydraulischen Engpässen ggf. kleine Umbaumaßnahmen	Venturi im Ablauf durch anderes Messsystem ersetzt und damit hydraulische Verlusthöhe reduzieren.
3. Integration von Onlinemesstechnik zur Überwachung und Steuerung der vermehrten Annahme	Schlammsspiegel und TS-Messung in NKB 1 & 2 nachrüsten
Ergebnis: Ab hier kann die Kläranlage das schon vorhanden Potential für bestimmte Ereignisse ausschöpfen (voraussichtlich im Sommer)	
Phase 3 – Erweiterung der Annahmekapazität durch zusätzliche Betriebsstrategien	
1. Optimierung / Sanierung vorhanden Betriebsstrategien für Stoffliche Belastung	<ul style="list-style-type: none"> - Sanierung des vorhanden Bypass VKB - Bau einer steuerbaren Zulaufregelung zur Steuerung vorhandener des Vorklarbeckens als Speiche - Anpassung der vorhanden Belüfttersteuerung
2. Optimierung / Sanierung vorhanden Betriebsstrategien für hydraulische Belastung	<ul style="list-style-type: none"> - Sanierung der vorhandenen Dükerleitung ins NKB 3&4 - Optimierung des vorhandenen Einlaufbauwerkes NKB 1-4
3. Ergänzung von neun Betriebsstrategien	<ul style="list-style-type: none"> - Installation Bypass Belebung für eine oder mehrere Belebungsstraße

1.4 Potenzialanalyse am Beispiel der Stadt Hildesheim

In den vorangehenden Kapiteln werden die Potentiale der qbTE dargestellt und die einzelnen technischen Schnittstellen einer integralen Bewirtschaftung zur Unterstützung der technischen Systemintegration beleuchtet. Die dargestellten Untersuchungen zeigen, dass das Konzept der qualitätsbasierten Entwässerung eine erfolgsversprechende Möglichkeit bietet, einer effizienten und emissionsarmen Siedlungsentwässerung näher zu kommen und die bestehenden gesetzlichen und normativen Anforderungen umzusetzen. Die oberflächige Ableitung von Niederschlagswasser, die Umsetzung alternativer Ableitungswege und synergetische Nutzung öffentlicher Flächen sowie die weitergehende Abkopplung von Teillflächen vom Kanal, sind aber mit erheblichen Eingriffen ins Quartier verbunden und sollten daher mit weiteren stadtplanerischen Maßnahmen synergetisch verknüpft werden. Eine sukzessive Umsetzung des Konzeptes könnte z. B. über die aktuell vielerorts im Zuge der Überflutungsvorsorge und Klimaanpassung stattfindenden wasserwirtschaftlichen Neustrukturierungen der Quartiere erfolgen. So können Investitionen optimal und zukunftsorientiert vorgenommen und eine langfristige Umsetzung der qualitätsbasierten Entwässerung erreicht werden. Hierfür ist es wichtig, ergänzend zu den grundsätzlichen Aussagen zur

qbTE eine stadt- oder ggf. auch quartiersspezifische Potentialanalyse der Umstellung des Entwässerungssystems durchzuführen. Für die Potentialanalyse sind drei Schritte durchzuführen, die je nach Datenbasis und ggf. bereits vorhandenen Teileinzugsgebietsmodellen unterschiedlich umgesetzt werden können:

- 1.) Klassifizierung der Niederschlagswasserqualitäten: Basis der qbTE ist die getrennte Ableitung nach NW-Qualitäten. Im Zuge der Potentialanalyse muss daher im ersten Schritt das Vorgehen zur Abschätzung der in den Teileinzugsgebieten zu erwartenden Qualitäten festgelegt werden. Neben der nach DWA-A102 qualitativen Einordnung nach Belastungskategorien entsprechend der Flächennutzung besteht die Möglichkeit der modelltechnischen Berechnung auf Basis von Oberflächenabflussberechnung, oder über die Einbindung von in Situ erhobenen Messdaten. Die im Rahmen von **TransMiT** durchgeführte Potentialabschätzung erfolgt über den Flächenansatz, d. h. auf Basis der Daten des aktuellen Flächennutzungsplans der Stadt Hildesheim wurden für die befestigten Flächen Raumeinheiten abgegrenzt, denen in einem weiteren Schritt NW-Verschmutzungen zugeordnet wurden (detaillierte Erläuterungen siehe Teil B 5.5).
- 2.) Mengenregime: Zur Berechnung der Abflussmengen der nach Qualitätskriterien differenzierten Teilströme müssen den, im Rahmen der Qualitätseinordnung definierten Teileinzugsflächen, Versiegelungsgrad und Abflussbeiwerte zugeordnet werden, um anschließend unter Ansatz eines langjährigen jährlichen Niederschlags die resultierenden Abflüsse zu berechnen. Die Umrechnung der kanalisierten Einzugsgebietsfläche (AE,k) in eine befestigte Fläche (AE,k,b) kann hierbei auf Basis von Literaturangaben erfolgen (im Rahmen der Potentialstudie wurde nach (Basedow 2015) z. B. ein Befestigungsgrad für Industrie- und Gewerbeflächen mit 80 %, für Straßen mit 63 %, für Mischflächen mit 62 % und für Wohnflächen mit 35 % angesetzt) oder auf Basis vorliegender Simulationsstudien angesetzt werden (abflusswirksame Fläche und Abflussbeiwert). Für das Einzugsgebiet Hildesheim wurden für alle Einzelflächen die resultierenden NW-Mengen auf Jahresbasis berechnet. Die hierzu verwendeten Niederschlagsdaten stammen von der Messstation Alfeld, die ca. 20 km entfernt von Hildesheim liegt, da hier anders als in Hildesheim die zur Verfügung stehenden Niederschlagshöhen mit einer Datendichte von mm/min vorliegen. Für die Potentialanalyse sollten bei der Ermittlung der mittleren Jahresniederschlagsmenge Jahre mit extremen Einzelereignissen nicht berücksichtigt werden, da bei diesen Ereignissen das Abflussverhalten durch das Starkregenkonzept dominiert wird und nicht die Bewirtschaftung im Rahmen der qbTE widerspiegelt.
- 3.) Szenarienauswahl und -analyse: Grundsätzlich wird die Szenarienauswahl einer Potentialanalyse durch die zu identifizierenden Potentiale des jeweiligen Konzeptes bestimmt. Für die qbTE sind dies i) der erreichbare Grad der Entflechtung ohne zusätzliche Maßnahmen auf der Kläranlage bzw. im Netz, ii) der durch die Ableitung zur Kläranlage eingesparte Bedarf an dezentraler Reinigung sowie iii) die durch die qualitätsbasierte Entflechtung zusätzlich im Quartier verfügbare qualitative NW-Menge.

Beispielhaft und zur Überprüfung der Potentiale der qbTE wurden für das Stadtgebiet der Stadt Hildesheim die Potentiale einer qualitätsbasierten Entflechtung (flächendifferenziert und mit zusätzlicher Differenzierung eines Spülstoßes) sowie mit und ohne erweiterter Annahmekapazität auf der Kläranlage untersucht.⁴ Durch die Bilanzierung der NW-Mengen

⁴ Das Vorgehen bei der für die Potentialstudie angesetzten Flächenzuordnungen, Verschmutzungszuordnung und berechneten Szenarien sowie die detaillierten Ergebnisse der Potentialanalyse für die Stadt Hildesheim sind in B 4.5 und B 4.6 zusammengestellt.

am Beispiel der Stadt Hildesheim für den IST-Zustand (Szenario 0) und für den Zustand nach Umsetzung einer qualitätsbasierten Entwässerung (Szenario 1 und 2) konnte gezeigt werden, dass das Konzept der qualitätsbasierten Entwässerung ein großes Potenzial bietet, die Emissionen aus der Siedlungsentwässerung deutlich zu reduzieren bei gleichzeitiger Erhöhung der im Quartier zur Nutzung verbleibenden NW-Menge. Die vorgenommenen Berechnungen zeigen, dass durch eine qualitätsbasierte Unterscheidung und Zuordnung von Teilflächen im Einzugsgebiet der Großteil des als stark-verschmutzt anzunehmenden Niederschlagswasser zur Kläranlage geleitet werden könnte, ohne dass im Jahresbezug eine höhere hydraulische Belastung des Kanalnetzes und der Kläranlage durch Niederschlagswasser zu erwarten wäre. Neben der räumlichen Qualitätszuordnung von Teilströmen kann auch das Konzept der zeitlichen Priorisierung als erfolgsversprechend angesehen werden, um eine weitergehende qualitätsbasierte Aufteilung des Niederschlagswassers zu erreichen, da hierdurch potenziell eine vermehrte Reinigung des verschmutzten Niederschlagswassers und damit eine Emissionsreduzierung sowie eine vermehrte Nutzung des nicht verschmutzten Niederschlagswassers erreicht werden kann. Rechnerisch ergibt sich durch die Umsetzung der qualitätsbasierten Entwässerung eine zusätzliche Verfügbarkeit von unverschmutztem Niederschlagswasser im Einzugsgebiet je nach Szenario von 46 bis 72 %. Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass über den Flächennutzungsplan eine gute und relativ einfache Abschätzung des Verschmutzungspotenzials einzelner Flächen auf Einzugsgebietsebene erreicht werden kann.

Auch wenn die zugrundeliegenden Daten (bspw. Niederschlagsdaten, Befestigungsgrade und Abflussbeiwerte) und die darauf aufbauende Bilanzierung der NW-Mengen noch mit Unsicherheiten verbunden sind, wird hiermit eine praktikable Methodik zur Abschätzung von Verschmutzungspotenzialen vorgelegt. Damit wird der Grundstein gelegt, um zukünftig ausgereifte statische und dynamische Modellrechnungen vorzunehmen, mit deren Hilfe gleichermaßen die Datengrundlage und die hier eingeführte Methodik sukzessive verfeinert werden können. Diese Modellrechnungen werden es ferner gestatten, für den jeweiligen individuellen Einzelfall Transformationskorridore aufzuzeigen und auch Aspekte der technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Machbarkeit darzulegen.

2. Niederschlagswasserqualität als neues Entscheidungskriterium der Trennentwässerung

Sören Hornig¹, Katrin Bauerfeld¹, Aslan Belli², Andreas Hartmann², Maike Beier³

¹Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Technische Universität Braunschweig

²Stadtentwässerung Braunschweig GmbH

³Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Leibniz Universität Hannover

Im Kontext der Erarbeitung von zukunftsfähigen Stadtentwässerungskonzepten gewinnt die Ermittlung und Einordnung von Niederschlagsabflüssen zunehmend an Bedeutung. Auch bei den in **TransMiT** durchgeführten Untersuchungen zur qualitätsbasierten Trennentwässerung (qbTE) ist die qualitative Einordnung ein Kernbaustein für eine innovative und ressourcenschonende Stadtentwässerung. Die Erkenntnisse ermöglichen konzeptionelle Ansätze einer qualitätsorientierten Ableitung und Behandlung des städtischen Regenwassers für bestehende Quartiere durch intelligente Nutzung der vorhandenen Infrastruktur. Ein Schlüsselfaktor der Implementierung der qbTE ist eine qualifizierte Differenzierung der Regenwasserverschmutzung unter Berücksichtigung der Verschmutzungsart und ihrer räumlichen und zeitlichen Variation, da der Parameter Niederschlagswasserqualität das wesentliche Trennkriterium für die Festlegung des Abflussweges des Oberflächenabflusses darstellt. Grundsätzlich angestrebte Trennschärfe ist dabei, bei jedem Regenereignis in Abhängigkeit von der über das einzelne Regenereignis variierenden Qualität zu priorisieren (Regelgröße der NW-Weiche). Abweichend von der im DWA A 102 beschriebenen Jahreschmutzfrachtbilanz als Basis der Konzeptentwicklung ist damit bei der qbTE zusätzlich die Kenntnis des allgemeinen Trends der Verschmutzung in Abhängigkeit von Oberflächenstruktur und Charakter des Regenereignisses zur Regenwasserqualitätsprognose an der NW-Weiche wichtiger als z. B. die absoluten Werte der Schadstoffkonzentrationen. Nachfolgend werden die Kernaussagen der in **TransMiT** hierzu im Stadtgebiet von Braunschweig durchgeführten Messungen im Regenwasserkanal beschrieben. Zugehörige Kapitel im Teil B mit detaillierten Ergebnissen und weitergehenden Erläuterungen ist Teil B I 5.5.

Kernaussagen

- Ein Schlüsselfaktor im Konzept der qualitätsbasierten Trennentwässerung ist die qualifizierte Differenzierung der Regenwasserverschmutzung unter Berücksichtigung ihrer räumlichen und zeitlichen Variation.
- Kenntnisse über die Niederschlagswasserqualität dienen dazu, den Abflussweg auf der Oberfläche und im Kanal bei jedem Regenereignis in Abhängigkeit von der aktuellen Qualität zu priorisieren, wodurch deren Ermittlung und Prognose eine zentrale Bedeutung zukommt.
- Für das Konzept einer qualitätsbasierten Trennentwässerung (qbTE) ist die Kenntnis über allgemeine Trends der NW-Verschmutzung und des NW-Abflusses (Auftreten von hohen Schmutzfrachten innerhalb eines Regenereignisses) von hoher Bedeutung

- *Die Verschmutzungsdynamik des städtischen Abflusses in Abhängigkeit der gegebenen Randbedingungen (Flächennutzung, Niederschlagscharakteristik, Ausprägung des Entwässerungssystems) ist für eine Prognose der Niederschlagswasserqualität von entscheidender Bedeutung und hat damit einen wesentlichen Einfluss auf die Regelgrößen der NW-Weiche.*
- *Für eine gezielte Nutzung von Niederschlagswasser im städtischen Raum sind weitere Qualitätsparameter zum aktuellen Leitparameter Feststoffe (AFS63) hinzuzunehmen. Das anfallende Niederschlagswasser sollte je nach Nutzungszweck zusätzlich hinsichtlich Schwermetallen, Nährstoffen, Bioziden, Mikroplastik und hygienischen Parametern charakterisiert werden.*
- *Neben der Prognose der NW-Verschmutzung sollte es theoretisch möglich sein, eine dynamisierte Niederschlagswasserqualität charakteristischer Einzugsgebiete zur Verschmutzungsidentifikation von gemischten Einzugsgebieten mit unbekannter Niederschlagswasserqualität einzusetzen. Die hier dargestellten Ergebnisse könnten ein erster Ansatz zur Entwicklung einer solchen Identifikationsmethodik sein.*

2.1 Niederschlagswasserqualität im urbanen Raum

Urbanes Niederschlagswasser gilt als eine signifikante diffuse Quelle der Gewässerverschmutzung (Müller et al. 2020; Zhang et al. 2021; Zhao et al. 2021; Wicke et al. 2022). Aufgrund einer zunehmenden Urbanisierung steigt die Fläche, die durch Bebauung (Gebäude und Straßen) versiegelt wird. Von diesen undurchlässigen Flächen muss Niederschlagswasser abgeleitet werden. Dabei werden angereicherte Schadstoffe vom Niederschlagswasser aufgenommen, gelöst und transportiert.

Urbane Niederschlagswasserabflüsse enthalten neben den in der Einleitungsverordnung geregelten Schmutzstoffen der AbwV wie beispielsweise Feststoffe (Ellis und Mitchell 2006; Nickel und Fuchs 2021; Hornig et al. 2022) und Nährstoffe (Yang und Lusk 2018; Zhao et al. 2021; Hornig et al. 2022) auch Schwermetalle (Ellis und Mitchell 2006) und Biozide (Burkhardt et al. 2007; Burkhardt et al. 2009; Burkhardt et al. 2011; Paijens et al. 2020). Gelangen diese Schmutzstoffe in Oberflächengewässer, verursachen sie dort in einem nicht unerheblichen Ausmaß nachteilige Wirkungen auf den chemischen und biologischen Gewässerzustand (Brudler et al. 2019; Peter et al. 2020; Durak et al. 2021; Wicke et al. 2022). Die Konzentrationen dieser Schmutzstoffe können dabei in Abhängigkeit von verschiedenen Randbedingungen große Bandbreiten aufweisen. In Abbildung 15 ist beispielhaft die Bandbreite der im Rahmen von TransMiT bestimmten Konzentrationen an CSB und AFS zur Beurteilung der Niederschlagswasserqualität aus einem Bestandsgebiet und einem Neubaugebiet dargestellt.

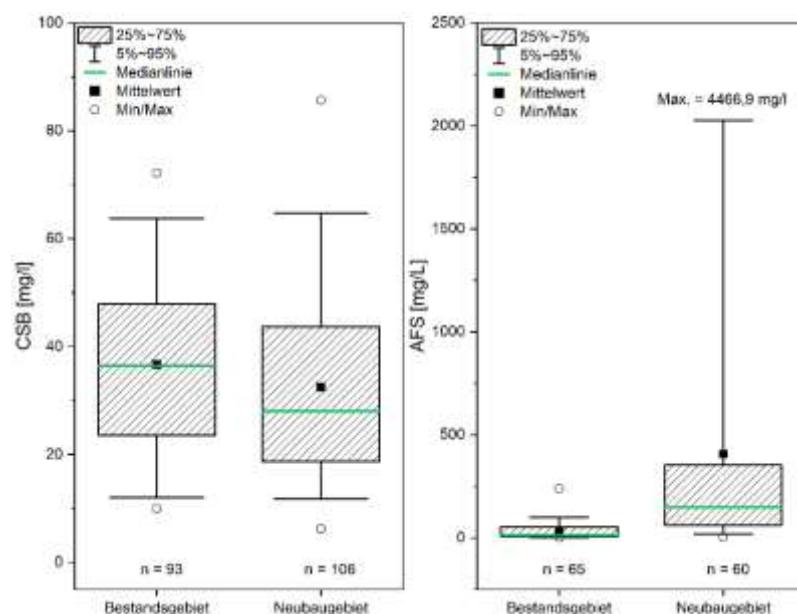


Abbildung 15: Bandbreite der gemessenen Konzentrationen an CSB und AFS im Bestandsgebiet und Neubaugebiet [Quelle: Eigene Darstellung, ISWW]

Im Vergleich der Konzentrationen wird deutlich, dass sich die wesentliche Beschaffenheit des Niederschlagswassers bei ähnlich strukturierten Einzugsgebieten für die Standardparameter nicht signifikant unterscheidet (vgl. auch Tabelle 4). Lediglich der Parameter AFS ist für das Neubaugebiet durch die in der Bauphase zusätzlichen Sand- und Bodeneinträge überproportional erhöht.

Tabelle 4: Gemessene Konzentrationen abwassertechnisch relevanter Parameter im Niederschlagswasser [Quelle: Eigene Daten (ISWW, (Wicke et al. 2021))]

		Bestandsgebiet TransMiT	Neubaugebiet TransMiT	Wicke et al 2021 Bestandsgebiet OLD	Wicke et al 2021 Bestandsgebiet NEW
		Mean (Min-Max)	Mean (Min-Max)	Mean (Max)	Mean (Max)
CSB	mg/l	36,69 (9,97-72,20)	32,45 (6,23-85,70)	123 (532)	89 (354)
AFS	mg/l	29,13 (0,04-238,34)	407,61 (2,40-4466,90)	86 (293)	68 (352)
Ges-P	mg P/l	1,13 (0,14-5,00)	0,59 (0,11-4,61)	0,55 (2,2)	0,32 (0,92)
PO ₄ -P	mg P/l	0,70 (0,09-4,54)	0,15 (0,01-0,80)	0,10 (0,50)	0,038 (0,15)
NO ₃	mg N/l	3,86 (0,79-11,06)	0,47 (0,10-1,27)	N/A	N/A
NH ₄	mg N/l	0,92 (0,04-2,67)	0,29 (0,08-1,23)	0,58 (1,0)	0,47 (1,1)

Ergänzend zu den abwassertechnisch üblichen Parametern wurden in **TransMiT** für einige Regenereignisse Konzentrationsverläufe der Biozide Carbendazim, Diuron und Terbutryn im Niederschlagswasserabfluss bestimmt. Hintergrund für diese Untersuchung war die konzeptionelle Überlegung, bei ggf. erhöhten Ablaufwerten in Neubaugebieten, der z. B. aus Fassadenauswaschungen resultieren kann, eine Entlastung des Gewässereintrags zu erreichen. Dieses Ziel könnte durch eine zeitlich gestaffelte Abkopplung des Oberflächenabflusses in Neubaugebieten erreicht werden, da ein Großteil der Biozidwirkstoffe in- der Kläranlage abbaubar ist. Abbildung 16 zeigt beispielhaft die Konzentrationsverläufe der Biozide Diuron und Terbutryn inklusive Transformationsprodukte im Verlauf des Niederschlagswasserabflusses eines Neubaugebietes.

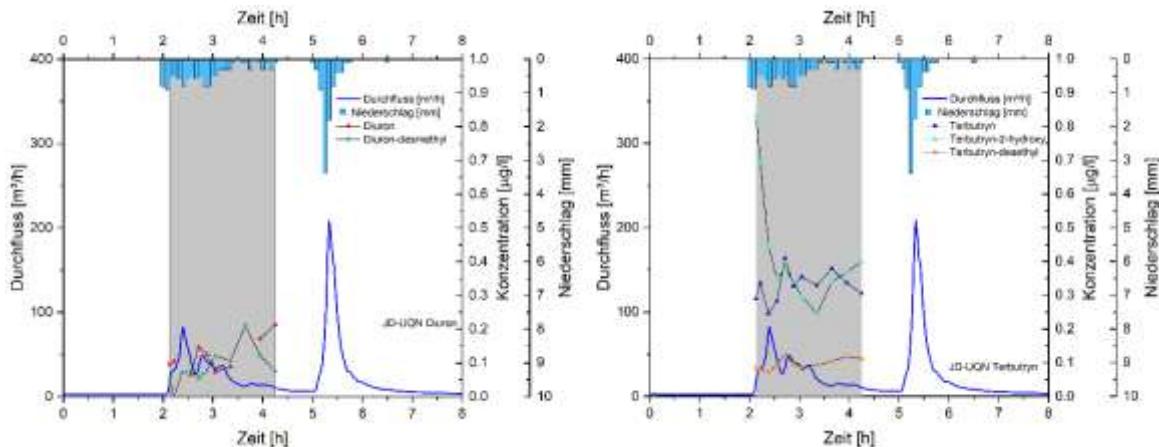


Abbildung 16: Beispielhafter Konzentrationsverlauf der Biozide Diuron (links) und Terbutryn (rechts) inklusive Transformationsprodukte im Niederschlagswasserabfluss eines Neubaugebietes [Quelle: Eigene Darstellung, ISWW]

Abbildung 17 zeigt die gesamte Bandbreite gemessener Biozid-Konzentrationen im Niederschlagswasserabfluss des gleichen Neubaugebietes. Am Beispiel des Biozids Terbutryn ist erkennbar, dass Niederschlagswasser durch Biozide hochbelastet sein kann. Vergleichbare Messungen anderer Autoren in Bestandsgebieten zeigten für einzelne Wirkstoffe allerdings ebenfalls erhebliche Biozidkonzentrationen (z.B. Wicke et al. 2015 zeigen im Projekt OgRe hohe Konzentrationen von Carbendazim und Diuron in Bestandsgebieten mit

Altbau aus der Gründerzeit und Wohnblöcken aus den 30er Jahren aus nachträglichen Fassadendämmungen, Urbanes Niederschlagswasser – Emissionen, Belastungen und wirksame Maßnahmen findet in einem Bestandsgebiet 3 Jahre nach Fertigstellung der Gebäude erhöhte Konzentrationen für Diuron und Terbutryn aus der Renovierung von Dachziegeln). Die Befunde können in Folge von Maßnahmen zur Gebäudesanierung (z. B. Carbendazim und Diuron aus nachträglichen Fassadendämmungen (Wicke et al. 2015) und Terbutryn aus der Renovierung von Dachziegeln (Burkhardt et al. 2021). Biozide sollten folglich bei einer Beurteilung der Niederschlagswasserqualität in jedem Fall berücksichtigt werden. Inwieweit die rechnerisch darstellbare Reduzierung der Emission in den Neubaugebieten nach den ersten Jahren tatsächlich auch in der Praxis stattfindet, konnte im Rahmen des Projektes nicht weiter untersucht werden.

Niederschlagsabflüsse von befestigten Flächen, insbesondere im Straßenraum, können zudem mit Mikroplastik verunreinigt sein. Bereits in frühen Studien zur Einschätzung der Mikroplastikbelastung im Oberflächenabfluss, die noch auf der Auswertung von Metadaten beruhten, wurde neben Rückständen konventioneller Verpackungsmaterialien (v.a. basierend auf den Polymeren PE und PP) auch dem Reifenabrieb eine tragende Rolle am Emissionspotential zugeschrieben (Gehrke und Bertling, 2019). Erste orientierende Messungen im Regenwasserabfluss, die v. a. in der „Plastik in der Umwelt“ Fördermaßnahme des BMBF zwischen 2018 und 2022 umgesetzt werden konnten, bestätigen diese Annahmen und können sich auf Mikroplastikmassekonzentrationen bis in den Größenordnungsbereich des Zulaufs kommunaler Kläranlagen summieren (BMBF 2022; Scheer et al. 2022). Grundsätzlich kann somit der unbehandelte Niederschlagsabfluss zu einer signifikanten Mikroplastikbelastung aufnehmender Umweltkompartimente beitragen. Die Mikroplastikbelastung sollte daher ebenso wie die Biozidbelastung in die Beurteilung der NW-Qualität künftig stärker einbezogen werden. Im Rahmen von TransMiT wurden orientierende Messdaten im Ablauf einer vielbefahrenen Straße in Braunschweig sowie im Zulauf zu einem Retentionsbodenfilter (Bestandsgebiet) erhoben und eingeordnet (Teil B 2.14).

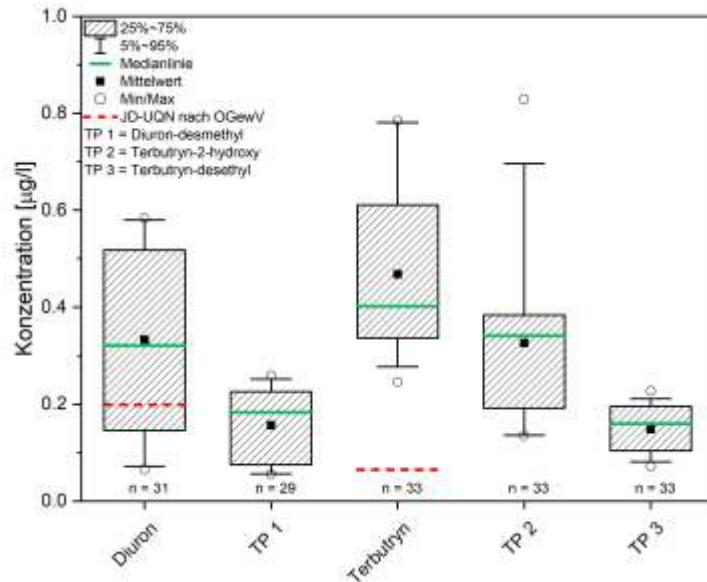


Abbildung 17: Bandbreite gemessener Konzentrationen der Biozide Diuron und Terbutryn inklusive Transformationsprodukte im Niederschlagswasserabfluss eines Neubaugebietes [Quelle: Eigene Darstellung, ISWW]

Neben der jährlichen Schmutzfracht (Frachtregelelung) und der spezifischen Konzentration (Einhalten der UQN) spielt die Kenntnis des Konzentrationsverlaufs während eines Regenereignisses eine wichtige Rolle für die Regelung einer hydraulischen NW-Weiche, wie sie bei der qbTE eingesetzt werden soll. Seit mehreren Jahrzehnten werden verschiedene Verschmutzungsquellen untersucht (Müller et al. 2020). Zu den wichtigsten Verschmutzungskategorien des urbanen Niederschlagswassers zählen nach Müller et al. (2020):

- Die atmosphärische Deposition
- Entwässernde Flächen wie Straßen, Fassaden und Grünflächen
- Anthropogene Aktivitäten
- Das Entwässerungssystem selbst

Darüber hinaus können wetterbedingte Randbedingungen wie beispielsweise die Niederschlagscharakteristik (Art, Intensität, Dauer) oder die Dauer einer vorherigen Trockenperiode Einfluss auf die Niederschlagswasserqualität haben. Das Kapitel 5.5 im Abschlussbericht Teil B zeigt eine weiterführende Darstellung der Verschmutzungsquellen und wetterbedingten Randbedingungen auf die Niederschlagswasserqualität.

Aufgrund der vielen Einflussfaktoren kann die Konzentration einzelner Verschmutzungsparameter innerhalb eines Regenereignisses relativ große Dynamiken aufzeigen wie in Abbildung 18 beispielhaft für CSB und AFS dargestellt ist.

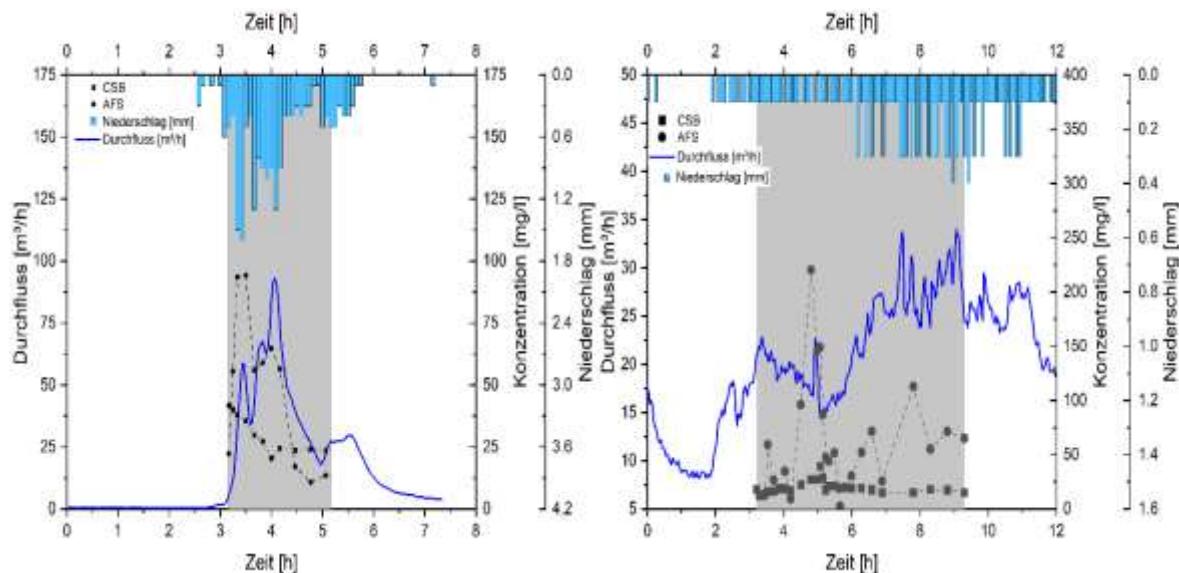


Abbildung 18: Beispielhafter Verlauf der Konzentrationen an CSB und AFS im Bestandsgebiet (links) und Neubaugebiet (rechts), verschiedene Regenereignisse [Quelle: Eigene Darstellung, ISWW]

Die für die Umsetzung der qualitätsbasierten Trennentwässerung benötigte Einordnung der Niederschlagswasserdyamik erfolgt mit Hilfe des sogenannten Spülstoßeffektes (engl. *first flush effect*). Allgemein beschreibt der Spülstoßeffekt das frühe Auftreten hoher Schmutzfrachten im Niederschlagswasser im Vergleich zum gesamten abgeflossenen Volumen. Um den Spülstoß hydraulisch, stofflich und zeitlich zu quantifizieren wurden in der Fachliteratur bereits verschiedene statistische Verfahren vorgestellt (Geiger 1984, 1987; Gupta und Saul 1996; Saget et al. 1996). Eine Methode ist die Darstellung sogenannter M-V-Kurven, bei denen die relative kumulierte Fracht gegen das relative kumulierte Volumen aufgetragen werden (vgl. Abbildung 19), mit der auch in TransMiT zur Charakterisierung der Qualitätsverläufe gearbeitet wurde.

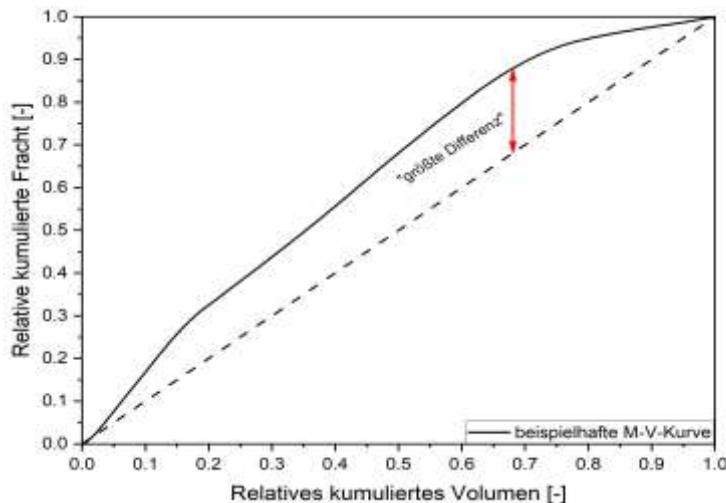


Abbildung 19: Beispielhafte M-V-Kurve [Quelle: Eigene Darstellung, ISWW]

Liegt die gemessene Kurve über einer Geraden mit der Steigung = 1, liegt tendenziell ein Spülstoß vor. Für das statistische Auftreten und die Intensität eines Spülstoßes können darüber hinaus mehrere Parameter oder Faktoren herangezogen werden. Mehrere Ergebnisse dieser Auswertungsmethoden führen dann zu einer dynamisierten Beschreibung der Niederschlagswasserqualität, die als charakteristisch für das jeweilige Einzugsgebiet angesehen werden kann. Die Implementierung einer Abflussdifferenzierung erfordert Kenntnisse über die räumliche und zeitliche Variation von Schadstoffkonzentrationen, die mit Hilfe des Spülstoßeffektes in einem ersten Schritt erfolgreich charakterisiert werden konnten.

2.2 Ansätze zur Prognose der Niederschlagswasserqualität

Für das Konzept der qualitätsbasierten Entwässerung ist eine weitergehende Differenzierung der Niederschlagswasserqualität unter Berücksichtigung der Verschmutzungsart sowie räumlichen und zeitlichen Verteilung von entscheidender Bedeutung. Dynamische Veränderungen von Städten inklusive Flächennutzungen, menschliche Aktivitäten und Zielen der Stadtentwicklung in Verbindung mit Phänomenen des Klimawandels wie beispielsweise Veränderungen der Niederschlagshäufigkeiten und -intensitäten oder Hitzeperioden machen es sehr kompliziert Niederschlagswasserqualitäten zu prognostizieren. Folglich ist es ebenso komplex optimale Praktiken für die Siedlungswasserwirtschaft zu formulieren, besonders in Bestandsgebieten, die in der Regel eine große Inhomogenität der Oberflächen und Einbauten in den Straßenraum aufweisen, ebenso wie bei den verwendeten Materialien und dem Materialalter. Abgesehen von einfachen Instrumenten zur Kartierung potenzieller Gefahren durch diffuse Verschmutzung (vgl. A.I, Kap. 1.4 und Teil B 4.5) gibt es derzeit keine Modelle mit denen die Auswirkungen von Stadtplanungsstrategien auf die Oberflächenabflussverschmutzung auf verschiedenen räumlichen und zeitlichen Ebenen untersucht werden können (Prodanovic et al. 2022). Die zunehmende Komplexität der zukünftigen Stadtplanung erfordert die Berücksichtigung einer Vielzahl von Interessensgruppen mit unterschiedlichen Prioritäten. Entsprechende Instrumente, die sich mit der Szenarienanalyse befassen, müssen folglich ein hohes Maß an Flexibilität aufweisen und eine Vielzahl an vorgegebenen Kriterien anbieten können. In TransMiT wurde im UP 7 im Entwässe-

rungsgebiet der Stadt Braunschweig für einen ersten Schritt hin zu einer möglichen Prognose der Niederschlagswasserqualität in insgesamt drei verschiedenen Einzugsgebieten (Bestandsgebiet, Neubaugebiet und Straßenabfluss) mit vergleichsweise hoher Homogenität hinsichtlich der Flächennutzung die Niederschlagswasserverschmutzung in hoher zeitlicher Auflösung aufgenommen. Anhand des Bestandgebiets wurden aufgezeichneten Verläufe der Niederschlagswasserverschmutzung mit verschiedenen Methoden zur Bestimmung des Spülstoßeffektes ausgewertet und die Verschmutzungsdynamik quantifiziert. Mit zusätzlichen Parametern zur Beschreibung der Randbedingungen wie z. B. der vorherigen Trockenperiode und Niederschlagscharakteristika konnte eine Korrelationsanalyse durchgeführt werden. Ziel dieser Korrelationsanalyse war es Randbedingungen zu identifizieren, die eine Prognose der Niederschlagswasserqualität erlauben. Die generelle Methodik zur Auswertung der Verschmutzungsdynamik für eine qbTE ist in Abbildung 20 konzeptionell dargestellt. Eine weiterführende Beschreibung der untersuchten Einzugsgebiete, eingesetzter Probenahmetechniken, analysierter Parameter und genutzten statistischen Methoden befindet sich im Teil B 5.5.

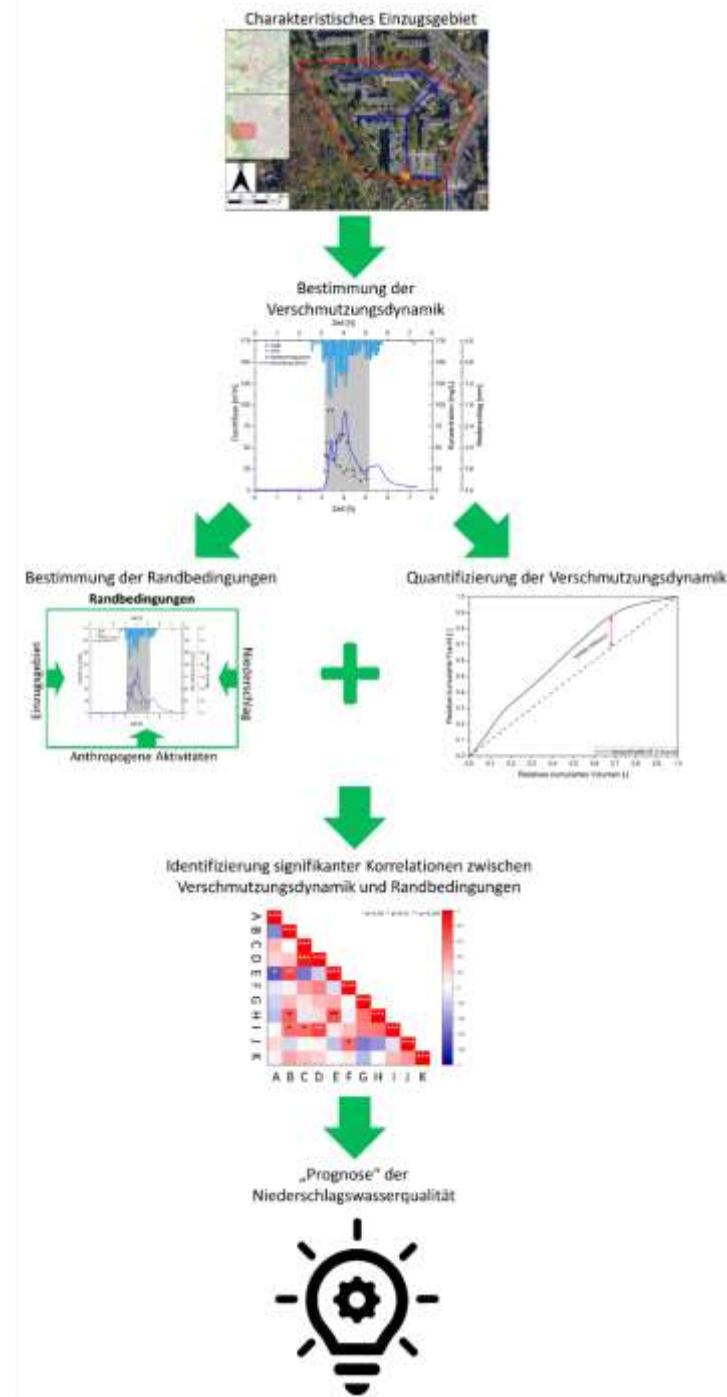


Abbildung 20: Konzeptionelle Darstellung der Methodik zur Auswertung der Verschmutzungsdynamik für eine qualitätsbasierte Trennentwässerung [Quelle: Eigene Darstellung, ISWW]

Mittels der Korrelationsanalyse konnten erste Trends und Randbedingungen identifiziert werden, die potentiell für eine Prognose der Niederschlagswasserqualität für den jeweiligen Parameter genutzt werden könnten und folglich eine Priorisierung des Abflussweges im Rahmen einer qualitätsbasierten Entwässerung ermöglichen.

Die Korrelationsanalyse zwischen Spülstoß-Verhalten und weiterer beschreibender Parameter (Niederschlagscharakteristika, Trockenperiode, mittlere Konzentrationen, Gesamtfachraten) zeigt aber eine große Heterogenität sowohl bei der Betrachtung einzelner Parameter als auch bei einer Einteilung in gelöste und ungelöste Parameter. Erste Tendenzen

sind erkennbar. Aufgrund der relativ geringen Anzahl untersuchter Regenereignisse für die einzelnen Einzugsgebiete bei der Vielzahl an Einflussfaktoren ist eine Prognose des dynamischen Verlaufs der Niederschlagswasserverschmutzung für die Regelung einer qualitätsbasierten Entwässerung zum jetzigen Zeitpunkt allerdings allein auf Basis der Untersuchungsergebnisse bei der Heterogenität der Analyseergebnisse noch nicht möglich. Mit Hilfe statistischer Auswertungsmethoden zum Spülstoßeffekt und potentiellen Korrelationen konnte aber das prinzipielle Vorgehen aufgezeigt werden. Auch können durch die Kombination bekannter charakteristischer Verschmutzungsverläufe definierter Flächen und einer flächengewichteten Einzugsgebietscharakterisierung tendenziell Verschmutzungsschwerpunkte identifiziert werden, ohne dass eine Messung der Niederschlagswasserqualität notwendig ist (vgl. Teil B 4.5). Für eine zukünftige (verbesserte) Prognose der Niederschlagswasserqualität müssen folgende Punkte berücksichtigt werden:

- Langzeit-Analyse der Niederschlagswasserqualität charakteristischer Einzugsgebiete um saisonale Einflüsse und eine größere Bandbreite an Regenereignissen zu berücksichtigen
- Mögliche Identifizierung von Leitparametern für die Niederschlagswasserqualität, um den Aufwand der Analytik zu vermindern
- Identifikation und Berücksichtigung von möglichen Interaktionen verschiedener Randbedingungen für eine robustere Prognose durch maschinelles Lernen
- Berücksichtigung der Interaktionen verschiedener Verschmutzungsparameter miteinander (z. B. feststoffassozierter Transport von Bioziden)

Neben einer Prognose der NW-Verschmutzung kann das Wissen über eine dynamisierte Niederschlagswasserqualität charakteristischer Einzugsgebiete zur Verschmutzungsidentifikation von gemischten Einzugsgebieten mit unbekannter Niederschlagswasserqualität eingesetzt werden. Das Ergebnis sind Teileinzugsgebiete, die hinsichtlich ihres Verschmutzungspotentials bewertet wurden. Auf Basis dieser Einordnung kann z. B. für den Abfluss aus Teilgebieten mit hohem Verschmutzungspotential ein priorisierter Abflussweg unter Berücksichtigung der Randbedingungen vorgegeben werden. Dabei kann zusätzliches Wissen über charakteristische zeitliche Verläufe von Konzentrationen (sogenannte Konzentrationszeiten) für eine weitere Differenzierung der Abflusswege innerhalb eines Regenereignisses und folglich zu einer weiter-differenzierten Teilstromtrennung herangezogen werden (vgl. A.I, Kap. 1.4).

3. Potential qbTE hinsichtlich eines ressourcenoptimierten Stoffstrommanagement im Quartier

¹Dirk Weichgrebe, ¹Sara Zahedi Nezhad, ¹Leo Fuhrmann, ²Julius Boeckmann, ²Erwin Voss

¹Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Leibniz Universität Hannover,

Forschungsfeld Abfall und Kreislaufwirtschaft

²SEHi – Stadtentwässerung Hildesheim

Das in TransMiT entwickelte Konzept der qualitätsbasierten Trennentwässerung hat bei erfolgreicher Umsetzung zusätzliche Nutzen, zu denen auch der Beitrag zu einem ressourcenoptimierten Stoffstrommanagement im Quartier gehört. Dies beinhaltet die Erweiterung der Nutzung der Kanalisation zur Ableitung von Bioabfall (Einbau von Küchenabfall-Zerkleinerern (KAZ) in Bereichen ohne MW-Überläufe), um damit die Ausbeute (Energiegewinnung) im innerstädtischen Bereich bei gleichzeitiger Verkehrsentlastung und Reduzierung von Abfall-Hotspots zu erhöhen. Das Konzept der qbTE ermöglicht bei einer umfassenden Integration eine erhebliche Reduktion der Mischwasserabschläge. Der Einsatz von KAZ hätte in einem dahingegen transformierten System kaum mehr einen Einfluss auf die Entlastungsfracht. Damit wäre ein wesentliches wasserwirtschaftliches Ausschlusskriterium systematisch bewältigt und entkräftet.

Dieses Kapitel enthält neben dem Aufzeigen des resultierenden Potentials auch eine Übersicht über bestehende Randbedingungen, wie dem rechtlichen Rahmen und infrastrukturellen Voraussetzungen für eine Umsetzung im Quartier.

Kernaussagen

- Der Einsatz von Küchenabfall-Zerkleinerern (KAZ) eröffnet folgende Potentiale: (1) gesteigerter Primärschlammfall und damit ein höherer Gasanfall in der anaeroben Behandlung, (2) Nutzung stofflicher Ressourcen im Kläranlagenbetrieb, (3) geringere Treibhausgasemissionen bei der Bioabfallsammlung, (4) Vermeidung von den Kanalbetrieb schädigenden Fehlwürfen
- Durch das Konzept der qualitätsbasierten Trennentwässerung mit erheblich verringerten Mischwasserabschlägen wäre ein wesentliches wasserwirtschaftliches Ausschlusskriterium für den Einsatz von KAZ systematisch bewältigt oder nahezu vollständig entkräftet.
- Der Einsatz von KAZ bewegt sich an einer Schnittstelle von Abfallrecht und Wasser-Abwasserrecht und ist unter definierten rechtlichen Voraussetzungen im Einvernehmen mit den zuständigen Behörden/Beteiligten als Verwertungsweg möglich.
- Der Einsatz ist den gegebenen infrastrukturellen und kommunalen Randbedingungen unterworfen und nicht per se als sinnvoll einzuordnen, jedoch wird für den Innenstadtbereich (Blockbauung) ein erhebliches Potential für den Einsatz von KAZ gesehen durch erhöhte Rückführungsquoten von Bioabfällen und reduzierte Belastung des Quartiers durch Sammelfahrzeuge.

3.1 Küchenabfall-Zerkleinerer in Synergie mit qbTE

Im Sinne der Nachhaltigkeit gilt es verstärkt den Verbrauch der natürlichen Ressourcen und die Umweltverschmutzung insbesondere die Produktion von Treibhausgasen zu reduzieren. Das vielenorts praktizierte/gegenwärtige System der Sammlung und Behandlung kommunaler Stoffströme birgt Potentiale der Ressourcenoptimierung insbesondere von Kohlenstoff, Stickstoff und Phosphor. Hinzu kommt, dass die Getrenntsammlung von Bioabfall im hochverdichteten urbanen Raum vor verschiedenen Herausforderungen steht:

- Wenig Platz für Biotonnen, welche zum Teil in Kellern und Fluren Stellplätze haben und zu hygienischen Beanstandungen (Gerüche, Schimmelsporen, etc.) führen.
- Beschränke Platzverhältnisse im Straßenraum für die Abholung per LKW.
- Großes Potential für Fehlwurfwürfe im Bioabfall, hervorgerufen durch den im urbanen Raum vorherrschenden Strukturen: Große Wohnanlagen, Anonymität, Soziale Struktur (Hüttner, A., Richter, F., Kern, M., Raussen, T., Turk, T., & Koj, U. 2019; LUBW 2020).
- Unkontrollierte Entsorgung von Bioabfall (Speisereste, Fette etc.) über die Toilette (den Kanalbetrieb beeinträchtigenden Fehlwürfe).

Der in Deutschland umstrittene und in der Vergangenheit in der Fachwelt der Abwasserbehandlung stark diskutierte Einsatz von Küchenabfall-Zerkleinerern (Merkel 1951; Hörler 1995; Thaler 1996, 2003; Wendler und Rosenwinkel 2003; StGB NRW 1997) bietet eine Möglichkeit für ein ressourcenoptimiertes Stoffstrommanagement im hochverdichteten urbanen Quartier (Kegebein 2006; Habernickel 2022). Deren Einsatz ermöglicht eine hochwertige Entsorgung von Nahrungs- und Küchenabfällen (NuK) über die Schwemmkanalisation und eröffnet die Nutzung energetischer und stofflicher Potentiale auf der Kläranlage. Ein wesentliches Gegenargument zur Nutzung von KAZ in Gebieten mit einer Entwässerung in einer Mischwasserkanalisation ist die möglicherweise erhöhte Entlastungsfracht bei Starkregenereignissen über die Regenüberlaufsysteme. Hinzu kommt, dass ein Großteil der bestehenden Innenstadtbereiche historisch bedingt im Mischsystem entwässert werden und auch nur selten eine Transformation zur Trennentwässerung erfahren. Das Konzept der qbTE ermöglicht bei einer umfassenden Integration eine erhebliche Reduktion der Mischwasserabschläge. Der Einsatz von KAZ hätte in einem dahingegen transformierten System kaum einen Einfluss auf die Entlastungsfracht. Damit wäre ein wesentliches wasserwirtschaftliches Ausschlusskriterium systematisch bewältigt und entkräftet.

Für eine Integration des KAZ im urbanen Raum sind unter Berücksichtigung bisheriger Forschungen folgende Untersuchungsgegenstände zu adressieren:

- die Bioabfallstruktur in Gebieten für einen potentiellen KAZ-Einsatz
- die Auswirkung des KAZ-Einsatzes auf Kanalbetrieb und -netz: Mögliche Ablagerungen, Einfluss auf die Rattenpopulation und Sulfidbildung infolge von Sielhautprozessen,
- die Auswirkung des KAZ-Einsatzes auf die Kläranlage als Ressourcennutzungs- bzw. Verwertungsanlage
- die rechtlichen Voraussetzungen für die Umsetzung
- die bilanziellen Betrachtungen der Stoff- und Energieströme im Hinblick auf die ökologische Bewertung

In **TransMiT** lag der Fokus auf der Durchführung stoffstrombilanzieller Untersuchungen im Modellquartier der Hildesheimer Neustadt. Ergänzend erfolgte eine Betrachtung der rechtlichen Rahmenbedingungen als Grundlage für die Integration. Auf beide Schwerpunkte wird im folgenden Kapitel eingegangen.

3.2 Potentialabschätzung KAZ im Untersuchungsgebiet Hildesheimer Neustadt

Um das Potential des Küchenabfalls im Untersuchungsgebiet (Hildesheimer Neustadt) zu qualifizieren und zu quantifizieren, wurden zwei Sortieranalysen des angedienten Bioabfalls durchgeführt. Dabei wurden die einzelnen Fraktionen der Biotonnenninhalte, insbesondere der KAZ-relevanten organischen Stoffe sowie der Fehlwürfe, die durch den Einsatz von KAZ vermieden werden (können), ermittelt. Die Bioabfälle aus dem Untersuchungsgebiet sind jedoch so stark mit Störstoffen durchsetzt, dass sie nicht als Bioabfall zu Kompostierung akzeptiert und zugelassen werden, sondern direkt der Restmüllentsorgung (hier thermische Behandlung) zugeführt werden (Ressourcenverlust). Deswegen wurde die Sortieranalyse mit Bioabfällen aus einem anderen innenstädtischen Gebiet durchgeführt, welches die gleichen Parameter (Siedlungsstruktur, Einwohnerwerte, Anzahl und Größe der Biotonnen, etc.) im Hinblick auf den Einsatz eines KAZ aufweist.

Die Sortieranalysen erfolgten für definierte Teilmengen. Erläuterungen zu dem Versuch und der Auswertung können im Teil B 4.10 eingesehen werden. Als Ergebnis wurden die folgenden Anteile im Durchschnitt identifiziert:

- **Grünschnitt:** **49 Vol.-%**,
- **Küchenabfall:** **22 Vol.-%**,
- **Restmüll:** **6 Vol.-%**
- **KAZ-Fehlwürfen:** **23 Vol.-%** (*mögliche Fehlwürfe, die durch KAZ vermieden werden könnten*)

Im Untersuchungsgebiet mit etwa 1.800 Einwohnern werden folgenden Anteile entsorgt, siehe dazu auch die detaillierten Ergebnisse in Teil B 4.10:

- **Gartenabfälle** **63,7 kg/(E·a)**
- **Küchenabfälle** **51 kg/(E·a)**
- **Restmüll** **4,3 kg/(E·a)**
- **KAZ-Fehlwürfe** **10,6 kg/(E·a)**

Daraus lässt sich ableiten, dass durch den Einsatz von KAZ die Menge an Bioabfall (einschließlich KAZ-Fehlwürfen) um die Hälfte reduziert werden könnte, was zu einer Verlängerung der Abholintervalle und damit zu weniger Verkehr im Quartier führen würde. Hierdurch würden z. B. die CO₂-Emissionen direkt reduziert. Ferner könnte durch den Einsatz von KAZ die getrennte Sammlung von Bioabfall und Restmüll optimiert werden. Dadurch würde ein erhebliches Stoff- und Energiepotenzial zurückgewonnen, das derzeit mit den NuK im Restabfall verloren geht.

Zur Evaluation der Stoff- und Ressourcennutzung sowie -lenkung wurde ein statisches Stoffstrombilanzmodell „KOSSMA“ in MS-Excel entwickelt. KOSSMA steht für „**kommunales Stoffstrommanagement**“ wobei die Prozesse der Stadtentwässerung mit denen der Abfallwirtschaft verknüpft betrachtet werden. Mit KOSSMA lassen sich die Auswirkungen der KAZ-Nutzung in Privathaushalten auf die kommunalen Stoffströme der Abwasser- und Abfallwirtschaft beleuchten. Hierbei können Simulationsergebnisse unterschiedlicher Verbreitungsgrade vergleichend betrachtet werden. Bei der Modellierung wurde angenommen, dass das Potential der relevanten NuK zunächst der Bioabfalltonne entstammt und über

den KAZ in das Abwassernetz der Kläranlage eingespeist wird. Der Nuk-Anteil aus dem Restabfall wird erst dann angerechnet, wenn das Potenzial aus der Bioabfalltonne erschöpft ist. Bei der Modellbildung wurde der Fokus der Detaillierung auf die Abwasserbeseitigung gelegt.

Zum Vergleich wurden die folgenden vier Szenarien der Stoffstromanalyse verglichen: 0 % (Status-Quo), 10 %, 30 %, und 100 % KAZ-Verbreitungsgrad:

- Das Szenario **10 % KAZ-Verbreitungsgrad** repräsentiert das innerstädtische Gebiet mit geringem KAZ-Einsatz aber weiterhin hoher Fehlwurfquote, d. h. unrechtmäßige Entsorgung insbesondere von NuK über die Toilette.
- Mit Hilfe der beiden Szenarien **30 %- und 100 % KAZ-Verbreitungsgrad** wurde zusätzlich der Einfluss des KAZ-Einsatzes auf die Bioabfallsammlung untersucht. Das Szenario „**30 % KAZ-Verbreitungsgrad**“ wurde komplementär zum durchschnittlichen Biotonnenanschlussgrad im Untersuchungsgebiet (70 % Biotonnenanschluss) gewählt.
- **100 % KAZ-Verbreitungsgrad** repräsentiert dabei das gesamte stoffliche und energetische Potenzial von NuK in der Abwasserreinigung inkl. der Schlammfaulung.

Der KAZ-Verbreitungsgrad beeinflusst proportional das Abfall-, Abwasser- und Klärschlammaufkommen sowie die Energiebilanz und die Treibhausgasemissionen (CO₂-equivalent). Mit zunehmendem KAZ-Verbreitungsgrad steigt der Wasser- und Stromverbrauch der Haushalte und zeigt steigende Treibhausgasemissionen. Ferner steigt die Rohschlammrate und damit die Faulgasproduktion welches insgesamt durch die Substitution des Erdgases zu einer negativen THG-Bilanz führt (vgl. Abbildung 21). Weitere Emissionsgutschriften ergeben sich durch die Reduktion der Bioabfalltransporte als Folge des KAZ-Einsatzes. Im Hinblick auf die kommunale Klimabilanz erscheint der KAZ-Einsatz als vorteilhaft und Treibhausgas mindernde Maßnahme.

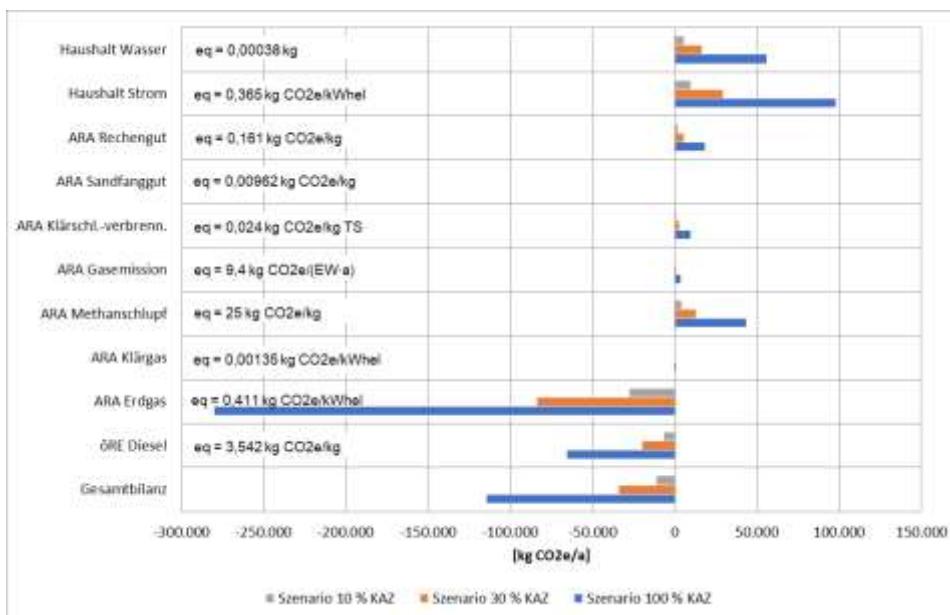


Abbildung 21: Klimabilanz für das Untersuchungsbiet Hildesheimer Neustadt [Quelle: Habernickel 2022]

Ausgehend von den Modellergebnissen und unter Berücksichtigung der vorhandenen Verfahrenstechniken der SEHi können die gebietsspezifischen Randbedingungen für eine mögliche KAZ-Anwendung in Hildesheim als "gut" bewertet werden. Aufgrund der hohen

Trenngebietsdichte und des hohen Anschlussgrades an die Biotonne wäre ein KAZ-Verbreitungsgrad von bis zu 30 % zu empfehlen.

Die Integration von KAZ im Sinne eines ressourcenoptimierten Stoffstrommanagements in einem spezifischen Gebiet wird bestimmt von den gebietsspezifischen Randbedingungen, dem Fremdwasseranteil im Kanal, der in der Kläranlage eingesetzten Verfahrenstechnik, dem Anschlussgrad der Biotonne sowie der sozioökonomischen Struktur und deren Auswirkungen auf das Abfalltrenn- und -entsorgungsverhalten der Anwohner. Daher kann der Einsatz von KAZ weder als Pauschallösung empfohlen noch abgelehnt werden. Insgesamt lässt sich schlussfolgern, dass die Integration des KAZ im Untersuchungsgebiet das Potenzial hat, die bestehenden Entsorgungspraktiken im Hinblick auf Ressourcenschonung und Klimabilanz zu verbessern.

3.3 Randbedingungen für KAZ-Integration

Im Folgenden werden der rechtliche Hintergrund, die Notwendigkeit der Erprobung in einem Pilotprojekt sowie infrastrukturelle Voraussetzungen als Randbedingungen für die KAZ-Integration in Quartieren beleuchtet:

Rechtlicher Hintergrund

Der Küchenabfall-Zerkleinerer (KAZ) befindet sich an einer Schnittstelle von Abfallrecht und Wasser-/Abwasserrecht und ist per Gesetz nicht verboten. Jedoch existieren gesetzliche Regelungen auf verschiedenen Ebenen, sowie technische Normen, die einen Einsatz ausschließen. Dieser Zusammenhang von Regelungen ist in Abbildung 22 in einem systematischen Fließbild für NuK dargestellt. Parallel ist der Ansatz einer möglichen Ausnahmeregelung in grün eingefügt. Im Folgenden wird zusammenfassend auf den Sachverhalt eingegangen, vertiefende Erläuterungen können im Teil B 4.10 nachgelesen werden.

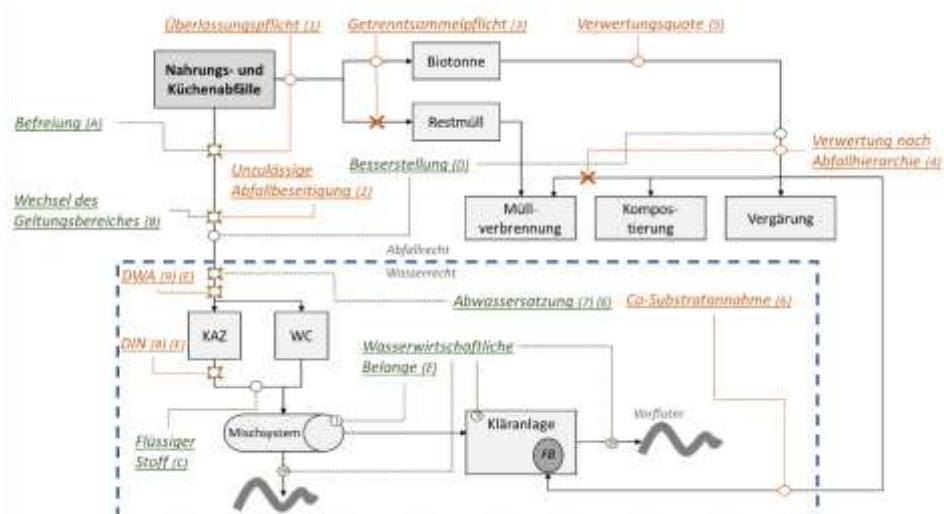


Abbildung 22: Fließbild Verwertung NuK – Ausnahmeregelung [Quelle: Eigene Darstellung]

Ein genereller Einsatz von KAZ in Deutschland ist vorrangig durch Vorgaben aus dem Abfallrecht nicht möglich. Die Überlassungspflicht nach § 17 Abs. 1 Satz 1 KrWG und Getrenntsammlungspflicht nach § 20 Abs. 2 KrWG, verbieten eine Entsorgung über den Abwasserweg und geben dem Abfallerzeuger die Pflicht der Abgabe des Bioabfalls an den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (örE) (siehe Nummer 1, 3 in Abbildung 22).

Würde es dennoch zu einer Entsorgung von Bioabfall (mit oder ohne KAZ) über die Abwasseranlage kommen, handelte es sich um eine unzulässige Abfallentsorgung. Nach

§ 2 Abs. 2 Nr. 9 KrWG gilt dann nicht mehr das Abfall, sondern das Wasser-/Abwasserrecht und der Abfall gilt als beseitigt und nicht als verwertet. Es gilt nach § 6 Abs. 1 KrWG die fünfstufige Abfallhierarchie, welche eine Verwertung vor einer Beseitigung stellt (siehe Nummer 2, 4 in Abbildung 22).

Für den örE würde eine Abfallbeseitigung Auswirkung auf die in § 14 Abs. 1 KrWG vorgegeben Verwertungsquoten haben, weil diese Stoffe in der Bilanz unberücksichtigt wären und in großem Umfang diese Quote negativ beeinflussen können (siehe Nummer 5 in Abbildung 22). Auf Seiten des Wasserrechts wird - durch Abwassersatzungen und technische Normen - der Einsatz von KAZ direkt oder indirekt verboten oder es wird davon abgeraten (siehe Nummer 7, 8, 9 in Abbildung 22).

Eine Ausnahmeregelung in der bestehenden Rechtslage wird nur über den § 55 Abs. 3 WHG in Kombination mit definierten rechtlichen Sichtweisen eröffnet. „*Flüssige Stoffe, die kein Abwasser sind, können mit Abwasser beseitigt werden, wenn eine solche Entsorgung der Stoffe umweltverträglicher ist als eine Entsorgung als Abfall und wasserwirtschaftliche Belange nicht entgegenstehen*“

- (A) Aus dem Abfallrecht heraus, muss der örE, im Einvernehmen mit der zuständigen Abfallbehörde, für ein definiertes Gebiet eine Befreiung von der Überlassungspflicht gewähren.
- (B) Der § 2 Abs. 2 Nr. 9 KrWG regelt den Wechsel des Geltungsbereiches vom Abfallrecht zum Wasserrecht, welcher im Einvernehmen mit den zuständigen Behörden erfolgen muss.
- (C) Die im KAZ zerkleinerten NuK müssen für eine Anwendung des § 55 Abs. 3 WHG als flüssige Stoffe unter Zustimmung der zuständigen Wasserbehörde charakterisiert werden.
- (D) Im Rahmen einer Ökobilanz muss der Nachweis der Besserstellung des Entsorgungsweges mit dem KAZ im Vergleich mit der bisherigen Entsorgung als Abfall erbracht werden.
- (E) Es darf zu keiner Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit des Kanals und/oder Kläranlage kommen, wofür in Absprache mit der zuständigen Behörde ein Nachweis zu erbringen ist.

Somit ist unter definierten rechtlichen Voraussetzungen und im Einvernehmen mit den zuständigen Behörden/Beteiligten die Möglichkeit gegeben, den KAZ als alternativen Verwertungsweg einzusetzen. Grundvoraussetzung bleibt ein positives Interesse des örE, des Abwasserbeseitigungspflichtigen und der beteiligten Behörden, denn ein Recht auf den Einsatz besteht nicht. Damit dieser Verwertungsweg generell als Alternative im Bioabfall-Entsorgungskonzept verwandt werden kann, bedarf es einer Änderung des Abfall- sowie des Wasser-/Abwasserrecht, damit es einen konkreten Rechtsrahmen für diesen Entsorgungsweg gibt. Eine mögliche Umsetzung, basierend auf den beschriebenen Randbedingungen, ist als ein grober Leitfaden im Teil B 4.10 beschrieben. Folgend wird auf die Notwendigkeit der Erprobung in einem Pilotprojekt eingegangen um, weitere Erkenntnisse für eine solche Umsetzung zu erzielen.

Infrastrukturelle Voraussetzung

Für einen den Einsatz eines KAZ müssen bestimmte infrastrukturelle Voraussetzung geben sein, die nicht in jeder Kommune gegeben sind.

Für das bestehende Abfall- und Kreislaufwirtschaftskonzept

Voraussetzung:

- Getrennte Bio- und Grüngutsammlung

Mögliche Auswirkung

- Wird der Restabfall einer thermischen Abfallbehandlung zugeführt, ist davon auszugehen, dass durch den KAZ-Einsatz weniger Bioabfall im Restmüll als Fehlwurf landet und damit den Heizwert vermindern würde.
- Wird der Restabfall einer Mechanisch Biologischen Abfallbehandlung (MBA) zugeführt, würde der Einsatz eines KAZ keinen Vorteil bieten, da der organische Anteil in der biologischen Behandlungsstufe entsprechend den für die Deponierung notwendigen Grenzwerten abgebaut werden würde.
- Betreibt die Kommune eine Bioabfallkompostierung, würden durch den KAZ-Einsatz zum Teil weniger eher vergärbare Küchenabfälle zugeführt und der Kompostierungsprozess könnte weniger negativ beeinträchtigt werden.
- Außerdem würden bei der Kompostierung weniger behandlungsträchtige Emissionen bei der Bioabfallbehandlung (NMVOC, NH₃) entstehen, so dass Einsparungen bei der Abluftbehandlung und auch ggf. des Prozesswasseranfalls zu erwarten sind

Zu beachten in der Abwasserableitung und -reinigung

Entwässerungssituation

- Vorzugsweise Trennsystem oder Entwässerung nach qbTE mit gegen Null reduzierten Mischwasserabschlägen
- Verweilzeit im Kanalnetz (Einfluss auf Ablagerung und anaerobe Prozesse)
- Druckentwässerungssystem kann vorteilhaft sein

Abwasserreinigungskonzept

- vorgeschaltete Deni und/oder Anaerobbecken (Bio-P)
- Anaerobe Stabilisierung (Schlammfaulung und Klärschlammbehandlung)
- vorteilhaft sind frei Kapazitäten (unterbelastete Anlage)

Notwendigkeit der Erprobung im Pilotprojekt

Die bisherigen Erkenntnisse zum KAZ-Einsatz in Deutschland entstammen aus geschlossenen Quartieren (DEUS21 (Zech et al. 2008), Flintenbreite (Zech 2009)) oder aus Forschungsarbeiten (Kegebein 2006; Wendler und Rosenwinkel 2003). Daher besteht weiterhin der Bedarf für eine praktische Erprobung in einem Bestandsquartier. Ein solches Pilotprojekt sollte in einem begrenzten Bereich stattfinden, wobei der wesentliche Fokus der Untersuchung auf die Auswirkungen des Kanalbetriebes und auf die Abfallzusammensetzung auszurichten ist. Damit können auch Erkenntnisse zum Nutzungsverhalten und der konkrete Einfluss auf die Bioabfallsammlung und -verwertung gewonnen werden.

Vor dem Hintergrund der gewonnenen Erkenntnisse im Hinblick auf die qbTE in Hildesheim sowie der vorhandenen Infrastruktur mit dynamischer Kanalnetzsteuerung und der vorhandenen Mischwasserentwässerung im innerstädtischen Bereich ist Hildesheim besonders geeignet für ein solches Pilotprojekt. Eine nahezu abschlagsfreie Entwässerung im vorhandenen Mischgebiet muss die Voraussetzung dafür sein. Eine solche Anpassung erscheint auf Basis einer qbTE möglich und wurde in dem vorherigen Kapitel an verschiedenen Elementen beispielhaft vorgestellt. Im Rahmen der angestrebten praktischen Erprobung wurde von Seiten des ZAH, der UWB und UAB eine Zustimmung für ein begrenztes Pilotprojekt gegeben. Die Zustimmung der maßgebenden Akteure lag aber leider erst so spät vor, dass sich das Projektteam zuvor bereits auf einen Abbruch der praktischen Umsetzung verständigt hatte.

A.II Strategiekomponente 2:

Synergien und Einbindung von blau-grünen Infrastrukturelementen

Der weitgehende Rückhalt in der Fläche bzw. die Abkopplung vom Entwässerungssystem ist eine grundsätzliche Anforderung an das urbane Wassermanagement. Die hierfür benötigten Flächen und Räume stehen aufgrund der erheblichen Flächennutzungskonkurrenz insbesondere im urbanen Kontext und hier gerade im Innenstadtbereich nur sehr begrenzt zur Verfügung, da die mit einer qualitativen und lokalen Bereitstellung der Ressource Wasser verbundenen Vorteile und Synergien häufig noch nicht ausreichend gesehen und damit auch planerisch-konzeptionell nicht im wünschenswerten Maß aufgegriffen werden (vgl. auch A.III „Integrale Planung“).

Mit der Umsetzung des Konzepts der qualitätsbasierten Trennentwässerung ergeben sich neben der Anforderung des vermehrten Rückhalts für den städtischen Raum sektorübergreifende Synergien insbesondere im Hinblick auf die Verbesserung des lokalen Kleinklimas bzw. die Reduzierung der Hitzebelastung, die Wasser-Versorgung der grünen Infrastruktur sowie Naherholungsmöglichkeiten und Überflutungsschutz. Für eine gezielte Integration von blau-grünen Infrastrukturelementen in die Quartiersentwicklung ist es erforderlich, die integrale Stadtplanung mit Kenndaten zu quartiersdifferenzierten Wirkungen verschiedener BGI-Maßnahmen zu unterstützen. Hier setzt das Forschungsprojekt **TransMiT** an, indem im Rahmen des Projektes eine Vielzahl von innovativen Einzelumsetzungen und Verfahrensbewertungen in den verschiedensten Umsetzungspiloten betrachtet werden (vgl. Abbildung 1). Technisch/wissenschaftliches Ziel war hierbei immer die Ermittlung von Kennzahlen und Planungsdaten sowie die Bewertung der Einflüsse auf andere Strategiekomponenten.

Für den Bericht wurden die Ergebnisse aus den meist elementbezogenen Untersuchungen der Verbundpartner den in **TransMiT** im Schwerpunkt betrachteten Quartiers-Leistungen „Abkopplung und Stärkung des lokalen Wasserhaushalts“, „lokales Klima/reduzierte Hitzebelastung“ und „Wasserbedarf und –bereitstellung“ zugeordnet. In **Kapitel 1** erfolgt hierzu eine allgemeine Einordnung der blau-grünen Infrastruktur im urbanen Wassermanagement. **Kapitel 2** beschäftigt sich beispielhaft für das architektonische Element „Hinterhof“ mit der Frage, wie BGI zur Reduzierung der Hitzebelastung bzw. zur Verbesserung des lokalen Kleinklimas gezielt eingesetzt werden können und wie eine methodische Einbindung in die Quartiersplanung erfolgen kann. **Kapitel 3** zeigt am Beispiel Urban Gardening den ggf. zusätzlichen Wasserbedarf von BGI auf und mögliche Konzepte der Bereitstellung von lokalem Niederschlagswasser zur Aufrechterhaltung der Funktionen der BGI.

Für die Einbindung gerade blauer Infrastrukturelemente in den öffentlichen Raum spielt die Einordnung des mikrobiellen Risikos eine besondere Rolle für Planung und Betrieb. Mit der

in **Kapitel 4** beschriebenen quantitativen mikrobiellen Risikoanalyse (QMRA) steht ein methodischer Ansatz zur Verfügung, mit dem Hygieneaspekte von BGI bewertet werden können. Exemplarisch wurde die Methodik für die BGI-Typen „Brunnen“, „Teiche“ und „Zisternen“ im Modellquartier Hannover erprobt und weiterentwickelt, so dass hier auch Kennwerte zur Übertragung zur Verfügung stehen. Der Berichtsteil A.II zur „Synergetischen Einbindung von BGI“ endet mit einer kurzen Einordnung und Definition von Bewertungskriterien als Grundlage einer Maßnahmenbewertung im Kontext der integralen Quartiers-Planung (**Kapitel 5**). Im Rahmen der Strategiekomponente A.III „Institutionalisierung“ wurde das Zusammenwirken von unterschiedlichen Wirkweisen und die methodische Integration dieser Multifunktionalität in die bisherige Stadtplanung auf strategischer Ebene bearbeitet (siehe auch Strategiekomponente 3 „Institutionalisierung“).

1. Einsatz und Wirkung blau-grüner Infrastruktur im urbanen Wassermanagement

Uwe Klaus¹, Katrin Bauerfeld², Sören Hornig², Aslan Belli³, Andreas Hartmann³, Mathias Kaiser⁴

¹ aquaplaner Ingenieurgesellschaft für Wasserwirtschaft, Umwelt, Abwasser, Hannover

² Institut für Siedlungswasserwirtschaft der Technischen Universität Braunschweig

³ Stadtentwässerung Braunschweig GmbH

⁴ Lehrstuhl Ressourcen- und Energiesysteme, Technische Universität Dortmund

Neben der Trennung der Teilströme nach Qualität sind weitere maßgebende Konzeptcharakteristika der qualitätsbasierten Trennentwässerung i) die erhöhte Bereitstellung von Niederschlagswasser im Quartier ii) die multifunktionale Nutzung der Infrastrukturelemente sowie in diesem Kontext die iii) sektorübergreifende Bewertung einzelner Maßnahmen zur Identifizierung des quartiersspezifischen Optimums. Die Umsetzung des Paradigmenwechsels in der Regenwasserbewirtschaftung von einer rein herkunftsisierten Unterscheidung von Schmutz- und Niederschlagswasser hin zu einem qualitätsbasierten Ableitungs- und Behandlungsweg wird durch den Einsatz von blau-grünen Infrastrukturelementen (BGI) auf Quartierebene erreicht. Durch blau-grüne Infrastruktur wird im Konzept der qualitätsbasierten Trennentwässerung der Rückhalt und die Nutzung von qualitativ hochwertigen Niederschlagswasser vor der Ableitung ermöglicht bei gleichzeitiger Nutzung von Synergieeffekten u. a. im Bereich des Erhalts grüner Infrastruktur, Abkopplung von Abflussflächen sowie Reduzierung von Hitzestress in Quartieren. Die Auswahl der, unter den jeweiligen Rahmenbedingungen optimal wirkenden blau-grünen Infrastrukturelementen erfordert die Kenntnis von quartiersdifferenzierter und multifunktionalen Wirkungen lokaler BGI-Maßnahmen, so dass die Maßnahmenplanung gleichwertig auf Hitzereduzierung und das Niederschlagswassermanagement ausgerichtet werden kann. Hierzu liefern die nachfolgenden Kapitel beispielhafte Hinweise zu einzelnen BGI bzw. zu Strategien der multifunktionalen quartiersspezifischen Maßnahmenauswahl.

Kernaussagen

- Im Konzept der qualitätsbasierten Trennentwässerung spielen die multifunktionalen Aspekte blau-grüner Infrastruktur im Quartier eine wichtige Rolle.
- Blau-Grüne-Infrastruktur (BGI) ist mehr als dezentrale naturnahe Regenwasserbewirtschaftung, wo der Fokus hauptsächlich auf der reinen Vermeidung der kanalisierten Ableitung gesehen wird. Während bei der dezentralen naturnahen Regenwasserbewirtschaftung zumeist versucht wird die Inanspruchnahme von Flächen und damit auch den Abstimmungsbedarf mit weiteren Planungsbeteiligten zu minimieren, ist der Ansatz von BGI die synergetische (Grün)-Flächenutzung ohne sektorale Flächenzuordnung.
- Durch die erhöhte (synergetische) Flächenutzung kann das übergeordnete Ziel, die Veränderungen des natürlichen Wasserhaushaltes durch Siedlungsaktivitäten in mengenmäßiger und

stofflicher Hinsicht so gering zu halten, wie es technisch, ökologisch und wirtschaftlich vertretbar ist, effizienter erreicht werden.

- *Im Gegensatz zur klassischen Regenwasserableitung und zur dezentralen Regenwasserbewirtschaftung erfordert die Planung blau-grüner Infrastruktur die intensive Abstimmung von Architektur, Landschaftsplanung und Entwässerungsplanung um die angestrebte synergetische Flächennutzung zu erreichen. Der Planungsraum ist das Quartier als Schnittmenge der sektoriellen Bilanzräume.*
- *Mit methodischen, GIS-gestützten Ansätzen gelingt es die Dachflächen in bestehenden Quartieren flächendeckend und differenziert im Hinblick auf ihre Eignung für eine Begrünung zu erfassen, zu bewerten und kartografisch auszuweisen ein quartiersdifferenziertes Potential-Kataster für Dachbegrünungen zu erstellen.*

1.1 Funktion der BGI im urbanen Wassermanagement

Blau-Grüne-Infrastruktur (BGI) ist mehr als dezentrale naturnahe Regenwasserbewirtschaftung, bei der der Fokus hauptsächlich auf der reinen Vermeidung der kanalisierten Ableitung liegt. Während bei der dezentralen naturnahen Regenwasserbewirtschaftung zumeist versucht wird die Inanspruchnahme von Flächen und damit auch den Abstimmungsbedarf mit weiteren Planungsbeteiligten zu minimieren, ist der Ansatz sogenannter blau-grüner-Infrastrukturelemente die synergetische (Grün)-Flächennutzung ohne jedwede spezifische sektorelle Flächeninanspruchnahme.

Durch die erhöhte (synergetische) Flächennutzung kann das übergeordnete Ziel, die Veränderungen des natürlichen Wasserhaushaltes durch Siedlungsaktivitäten in mengenmäßiger und stofflicher Hinsicht so gering zu halten, wie es technisch, ökologisch und wirtschaftlich vertretbar ist, effizienter erreicht werden. Während die Vermeidung der kanalisierten Ableitung (Abkopplung) häufig zu erhöhter Versickerung führt, erlauben BGI meist auch erhöhte Verdunstungsanteile des Niederschlags zu erzielen, gegenüber den Verhältnissen im unbebauten Zustand. Hierdurch werden positive (Synergie-)Effekte auf das Klein-Klima erreicht und Hitzestress reduziert. Über die wasserwirtschaftlichen Wirkungen hinaus ermöglichen BGI zusätzlich durch ansprechende Gestaltung erhöhte Wohlfahrtswirkung durch erhöhte Aufenthaltsqualität für Bewohner*innen.

Allgemein werden als blau-grüne Infrastruktur Elemente aber auch Flächen bezeichnet, die so angelegt und bewirtschaftet werden, dass der Regenabfluss der grauen Infrastruktur (Häuser, Straßen) bewirtschaftet werden kann, wobei die Einzelemente, Flächen zusätzlich für andere Nutzungen zur Verfügung stehen. Tabelle 5 zeigt eine Gegenüberstellung der verschiedenen Regenwasserbewirtschaftungsstrategien nach den übergeordneten Planungszielen der Stadtentwässerung und Stadt- und Grünflächenplanung.

Tabelle 5: Gegenüberstellung der Planungsziele der Stadtentwässerung bei den verschiedenen Strategien der Regenwasserbewirtschaftung

	Stadtentwässerung	Architektur und Grünflächenplanung
Blau-Graue Infrastruktur	„unsichtbare“ Entwässerung minimale oberirdische Flächennutzung, schnellstmögliche Ableitung	Vermeidung
Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung	Vermeidung der Ableitung, meist Versickerung Minimierung des Flächenbedarfs	Möglichst gering
Blau-Grüne Infrastruktur	Synergetische Flächennutzung ohne explizite sektorale Flächenzuordnung	Intensiv

Blau-Grüne Infrastruktur definiert sich damit also nicht über die eingesetzten Techniken, die denen der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung ähneln, sondern durch die multifunktionale Ausrichtung und Bewertung der BGI. Grüne Infrastruktur ist dabei definiert als „ein geplantes Netzwerk wertvoller natürlicher und naturnaher Flächen, das so angelegt und bewirtschaftet wird, dass sowohl im urbanen als auch im ländlichen Raum ein breites Spektrum an unterschiedlichen Ökosystemdienstleistungen gewährleistet und die biologische Vielfalt geschützt ist.“ (Europäische Kommission 2014). Darüber trägt dieses Netz an Grün-

und Freiflächen zu einer hohen Lebensqualität (Naherholung, Regulation des Wasser- und Wärmehaushalts) bei und fördert die Gesundheit und das Wohlbefinden der Bevölkerung.

Die Integration von BGI-Elementen im Rahmen der qualitätsbasierten Trennentwässerung auf Quartiersebene erfordert die Kenntnis über Wirkweisen und Multifunktionalitäten der Elemente. Folgende Wirkweisen von BGI ergeben sich im Kontext der integralen Quartiersplanung, wobei einzelne Elemente auch mehrere Wirkweisen aufweisen:

- **Abkopplung; Hydraulisch hinsichtlich des Bemessungsregens**
Die Wirkweise Abkopplung bedeutet, dass das Regenwasser nicht kanalisiert abgeleitet wird.
- **Überflutungsschutz bei Extremereignissen**
Unter Überflutungsschutz wird verstanden, dass auch bei extremen Regenereignissen das Wasser auf begrünten oder befestigten Flächen schadfrei zurückgehalten werden kann-
- **Verbesserung des Kleinklimas zur Reduktion von Hitzestress**
Verbesserung des Kleinklimas bedeutet, dass durch geeignete Maßnahmen gezielt die Verdunstung erhöht wird.
- **Stadtplanung: Erhöhter Aufenthaltswert**
Hierunter wird verstanden, dass BGI gestalterisch so in die Freiflächenplanung integriert werden, dass der Aufenthaltswert erhöht wird.
- **Bereitstellung bzw. Nutzung von Niederschlagswasser**
Zur Aufrechterhaltung der Wirkung „Verbesserung des Kleinklimas“ müssen Begrünungen ausreichend bewässert werden, so dass sie ihren Effekt beibehalten. Hierzu soll Niederschlagswasser bereitgestellt werden.

Als höchstes Synergiepotential und Treiber einer integralen Planung wurde in TransMiT die Verknüpfung des Wassermanagements mit der Vermeidung bzw. der Reduzierung der Hitzebelastung identifiziert sowie die Bereitstellung von Wasser im städtischen Raum.

1.2 BGI zur hydraulischen Abkopplung

Maßgebliche Elemente einer blau-Grünen Infrastruktur im Sinne des dezentralen Regenwassermanagements sind Kurzzeit- und Langzeit-Speicherelemente, die zum einen insbesondere bei Starkregen, in kurzer Zeit anfallende Wassermenge aufnehmen können und verzögert (z. B. ans Grundwasser) abgeben und zum anderen über längere regenfreie Zeiten Pflanzen zur Bewässerung zur Verfügung stehen können. In Anlehnung an die wasserwirtschaftlichen Verhältnisse im natürlichen Zustand kann bei BGI ausgerichteter Planung der Kurzzeitspeicher in Form von Mulden (natürlich 20 mm auf 100 % der Fläche und geplant z. B. 200 mm auf 10 % der Fläche) und der Langzeitspeicher über das Porenvolumen im Boden erfolgen. Für beide Speichervolumina fallen dabei keine zusätzlichen Kosten an. Für Extremereignisse, die im natürlichen Zustand zum oberflächigen Abfluss in Gewässer führen, wird im bebauten Zustand bei BGI ausgerichteter Planung angestrebt, den Abfluss über Notwasserwege (z. B. Straßen) einem Fließgewässer zuzuführen und/oder an Geländetiefpunkten (Grün- oder Verkehrsflächen) schadfrei zwischenzuspeichern (vgl. auch A.I, Kap. 1.1).

Beim Neubau von Siedlungen werden BGI vorzugsweise so ausgelegt, dass auf eine kanalisierte Ableitung vollständig verzichtet werden kann. Durch die Einsparung der Baukosten für die öffentliche Regenwasserkanalisation und die Regenwasserkanäle auf privatem Grund stellen BGI hierdurch häufig die wirtschaftlichste Variante der Regenwasserbewirt-

schaftung dar. Zur Umsetzung von BGI im Neubau liegen bereits umfangreiche Praxiserfahrungen vor und in zahlreichen Forschungsprojekten wurden die verfügbaren Maßnahmen und deren Wirkungen umfangreich beschrieben (Riechel et al. 2017; UBA 2021).

Bei der Umsetzung von BGI im Bestand kann die Refinanzierung von Maßnahmen meist ausschließlich über Einsparungen der Regenwassergebühr erfolgen, da die öffentliche und private Regenwasserkanalisation bereits vorhanden ist. Auch spielt bei einer Vielzahl von BGI durch die multifunktionale Nutzung die Abkopplungseffizienz nur eine untergeordnete Rolle (Beispiel Dachbegrünung oder Urban Gardening, die beide meist nur eine Abflussverzögerung bewirken, aber unter Klimaanpassungs- und Quartiersentwicklungsperpektive einen wichtigen Beitrag z. B. im Hinblick auf die Verbesserung des Mikroklimas oder der Wohlfahrtsleistung liefern können). Unter Würdigung dieser Aspekte wurde in **TransMiT** daher bei den Untersuchungen zu BGI der Schwerpunkt nicht auf den Aspekt der Abkopplung von der Kanalisation gelegt, sondern auf die Identifikation von Kennwerten zur qualitativen oder quantitativen Beschreibung von Synergien zu anderen Nutzeffekten. Vor dem Hintergrund des Klimawandels ist dies insbesondere die Reduzierung der Hitzebelastung sowie die Bereitstellung von Bewässerungswasser für innerstädtische grüne Infrastruktur, mit der gleichzeitig die Funktionalität der grünen Elemente erhalten wird. Der Speicherfunktion von BGI für von versiegelten Flächen abfließenden Niederschlag zur Wasserversorgung der Begrünung kommt dabei eine besonders wichtige Aufgabe zu.

Aufgrund des geringen Anteils der zu bewässernden Flächen im Verhältnis zu den befestigten Flächen im innerstädtischen Bestand werden durch Bewässerungsmaßnahmen zurzeit im Jahresmittel unter 10 % des Jahresniederschlags von der Kanalisation abgekoppelt. Bezogen auf die Bemessungsregen liegt der Effekt noch deutlich darunter. BGI im Bestand mit dem Ziel weitergehender Abkopplung müssen folglich immer Komponenten mit einem Versickerungsschwerpunkt aufweisen. Vielfach sind Grünflächen vorhanden, die von der Größe her etwa 20 bis 30 % der versiegelten Fläche ausmachen. Diese Grünflächen können oft mit wenig Aufwand zu Versickerungsmulden umgebaut werden. In diesem Fall kann bei gut und mittel durchlässigen Böden eine vollständige Abkopplung von der Kanalisation erreicht werden. Für Gebiete mit undurchlässigen Böden oder für eine vollständige Abkopplung durch Flächenversickerung stehen im Bestand meist nicht ausreichend Grünflächen zur Verfügung. Hier kann durch Anschluss der Flächenversickerung an die Kanalisation über einen Überlauf (bei 20 bis 30 % Sickerfläche je versiegelter Fläche) bei gut durchlässigem Boden 90 % des Jahresniederschlags von der Kanalisation abgekoppelt werden (etwa 50 % bei mittel durchlässigem Boden). Eine Bereitstellung zur Nutzung ist bei diesen Anlagen jedoch nicht vorgesehen. Sogenannte Speicherrigolen zeigen hier Perspektiven beide Ansprüche miteinander zu verbinden und den „Boden“-Raum synergetisch zu nutzen. Durch eine geregelte Abnahme z. B. durch Bereitstellung von Betriebswasser (Toilettenspülung, Waschmaschine, Bewässerung) kann die in die Kanalisation abgeführte Regenmenge um über 60 % reduziert werden (Riechel et al. 2017). Aufgrund der Teilfüllung der hierbei angeordneten Speicher werden häufig Abkopplungsgrade von 30 bis 40 % bezogen auf die Bemessungsregen erreicht.

Der Abkopplungseffekt durch die Begrünung von Dachflächen beträgt etwa 50 % bei extensiver Begrünung und 75 bis 90 % bei intensiver Dachbegrünung (Hermann, T. und Schmid, U. 1999).

1.3 BGI als Elemente der dezentralen Reinigung von Niederschlagswasser (am Beispiel Retentionsbodenfiltern)

Katrin Bauerfeld¹, Sören Hornig¹, Aslan Bell², Andreas Hartmann²

¹Institut für Siedlungswasserwirtschaft der Technischen Universität Braunschweig

²SEBS

Mittlerweile ist unbestritten, dass die Qualität der Oberflächengewässer in hohem Maße auch von Abflüssen aus Niederschlagsereignissen beeinflusst ist. Zur Einleitung von Abschlägen in Oberflächengewässer sind sowohl emissions- als auch immissionsorientierte Anforderungen zu erfüllen, die Maßnahmen zur Rückhaltung und Behandlung erfordern (DWA, 2017). Das Regelwerk DWA-A 102 unterteilt die Behandlungsmöglichkeiten hinsichtlich Regenwasserverschmutzung in dezentrale und zentrale Anlagen. Dezentrale Anlagen werden in direkter Nähe der Flächen angeordnet, an denen das verschmutzte Regenwasser anfällt um dieses direkt zu reinigen. Sie können als Anlagen mit Bodenpassage ausgeführt werden, werden jedoch häufig als industriell gefertigte Anlagen eingebaut. Diese verwenden oftmals spezielles Filtermaterial und benötigen eine anerkannte Zulassung. Alternative Optionen bieten zentrale Reinigungsanlagen. Diese werden so angeordnet, dass sie das Regenwasser eines gesamten Einzugsgebiets oder Teileinzugsgebiets behandeln können. Unter anderem können Regenklärbecken (sowohl als Fang- als auch als Durchlaufbecken), Schrägklärer und Retentionsbodenfilteranlagen (RBF) eingesetzt werden. Auch wenn diese Bauwerke als zentrale Reinigungsanlagen eingeordnet werden, handelt es sich mit Blick auf das gesamte Stadtentwässerungssystem um eine dezentrale oder semizentrale Anlage – ein meist auf Quartiersebene angeordnetes Reinigungssystem, das je nach Ausgestaltung auch weitere Funktionen auf Quartiersebene übernehmen kann.

Im Rahmen von **TransMiT** sollte beispielhaft für die Implementierung einer Retentionsbodenfilteranlage (RBF) als multifunktionales BGI ein potentieller Mehrwert im Hinblick auf die Regenwasserreinigungsleistung untersucht, die technische Ausgestaltung und der Betrieb optimiert und eine großtechnische Umsetzung von der Planung bis zur Bewertung im Quartierskontext begleitet werden. Der Fokus lag hierbei neben der Erhebung von Basiskennwerten (Feststoffe, Nährstoffe) zur Charakterisierung der Leistungsfähigkeit auch auf orientierenden Messungen zu den bisher bei der Auslegung und Bewertung von NW-Behandlungsanlagen wenig berücksichtigten Parametern Biozide und Mikroplastik.

1.3.1 Technischer Aufbau und Kennwerte zur Reinigungsleistung für Biozide

Wichtiges Werkzeug einer integralen Planung der Quartiersentwicklung ist insbesondere in der Phase der Alternativendefinition und -analyse eine verfügbare Maßnahmenbibliothek. Dieser können - auch ohne besondere fachspezifische Kenntnisse - die für die Einbindung eines Elements bewertungsrelevanten Kenndaten entnommen werden (vgl. auch A.III, Kap. 3 - 3.3 - Interaktive Maßnahmentabelle/Steckbriefe). Neben technischen Daten und Daten zur Auslegung sollten hierbei für BGI mit einer erwartbaren Reinigungsleistung die in Abhängigkeit der Ausführung möglichen Eliminationsgrade nach Schmutzstoff differenziert aufgeführt sein. Alternative Ausführungen oder Reinigungsverfahren ergänzen den Steckbrief ebenso wie skalierbare Verbrauchszahlen und Angaben zum Betriebsaufwand.

Die Untersuchungsergebnisse die im Rahmen von **TransMiT** bezüglich der (Leistungs-) Kennwerte von RBF können ein integraler Baustein für eine solche Maßnahmenbibliothek sein. In Bezug auf die Überwachungsparameter (CSB, N, P und AFS) wird eine gute Reinigungsleistung durch den Retentionsbodenfilter (RBF) erwartet. Planung, Bau und Betrieb von RBF entsprechen heute bereits in weiten Bereichen den allgemein anerkannten Regeln der Technik zur Reinigung des Niederschlagswassers (DWA, 2005a und 2005b; MKULNV, 2015). Wenig bis gar nicht untersucht ist jedoch die Leistungsfähigkeit von RBF im Hinblick auf Mikroschadstoffparameter wie Biozide.

In Bezug auf die Belastung von Niederschlagswasser durch Biozide sind derzeit nur wenige Informationen und Daten verfügbar (vgl. auch A.I, Kap. 2), sodass ein belastbarer Überblick fehlt, während orientierende Daten in vereinzelten Vorhaben bereits erhoben und veröffentlicht worden sind (WICKE ET AL., 2017). Vor allem die Wirkstoffauswaschung aus hydrophoben Fassadenbeschichtungen beeinflusst die Biozidbelastung deutlich (BOLLMANN ET AL., 2014; BURKHARDT ET AL., 2012; DWA, 2011). Hierbei muss im Hinblick auf die Wirkstofffreisetzung unterschieden werden, inwieweit es sich bei den jeweiligen Materialien um verkapselte oder unverkapselte Biozidsysteme handelt und welchen Einfluss eben diese auf den zeitlichen Verlauf der Wirkstoffauswaschung bzw. des Wirkstoffauftrages aufweisen (BREUER ET AL., 2012). Darüber hinaus zeigen Modellierungen zur Auswaschung von Bioziden, dass der Standort bzw. das standorttypische Wetter sowie die Gebäudeausrichtung und -geometrie einen wesentlichen Einfluss auf das Auswaschverhalten von Bioziden haben.

Konventionelle RBF in einem Regenwasserentwässerungssystem können aus den Behandlungsstufen Sandfang (optional) und dem anschließenden Retentionsbodenfilterbecken bestehen. Das Filterbecken gliedert sich in der Regel in einen Einstaubereich und den bewachsenen Filterkörper. Das Wasser durchströmt die Filterschichten des Filterkörpers und wird hierbei gereinigt. Der Filterkörper kann aus mehreren Filterschichten bestehen, die meistens Materialien unterschiedlicher Größen und Eigenschaften aufweisen. Details zum Aufbau und zum Betrieb konventioneller RBFs sind (MUNLV 2015) zu entnehmen.

Im Rahmen der **TransMiT** Untersuchungen wurden im halbtechnischen Maßstab gezielte Untersuchungen zur Leistungscharakterisierung von Retentionsbodenfiltern in VersuchsfILTERANLAGEN mit und ohne Schilfbewuchs und unterschiedlichem Aufbau des Filterkörpers durchgeführt. Die Anlagen wurden im Rahmen der Projektarbeiten geplant, auf dem Werkgelände der Kläranlage Braunschweig errichtet und während der Vegetationsperiode im Jahr 2021 und 2022 betrieben. Die VersuchsfILTERANLAGEN ermöglichen eine Bewertung des Einflusses des Schilfbewuchses, des Filteraufbaus und der Einstauzeit auf abwassertechnisch relevante Parameter und ließen zusätzlich gezielte Dotierungsversuche mit Terbutryn als Modellwirkstoff für Biozide zu.

Die Ergebnisse der Detailuntersuchungen zeigen eine hohe Eliminationsleistung für Kohlenstoff- und Phosphorverbindungen, wobei eine Erhöhung der Einstauzeit im Allgemeinen einen Anstieg der Eliminationsleistung bewirkte. Auch die Bepflanzung mit Schilf sowie eine Melioration des Filterkörpers mit Aktivkohle lässt die Leistungsfähigkeit der Nährstoffelimination deutlich ansteigen. Für Stickstoffverbindungen zeigt sich dieses Bild nicht so eindeutig. So wurden für den Parameter Ammonium bei langen Einstauzeiten stark reduzierte Eliminationsraten ermittelt. Erhöhte Nitratkonzentrationen ließen sich zudem im Ablauf des konventionell aufgebauten Sandfilters feststellen, unabhängig von den betrieblichen Randbedingungen. Dieser Befund lässt auf oxidierende Verhältnisse im Sandfilterkörper schließen. In den Filterkörpern mit Aktivkohle fand hingegen eine Adsorption des Nitrats statt, so

dass hier mit zunehmender Einstauzeit und positivem Effekt durch die Bepflanzung ebenfalls hohe Eliminationsraten erzielt wurden. Die hohe Leistungsfähigkeit der Aktivkohle-melierten Filter zeigte sich auch für das in einer Untersuchungsphase gezielt dotierte Biozid Terbutryn, dass in keinem Ablauf dieser Filter, unabhängig von den betrieblichen Randbedingungen, nachgewiesen wurde. Im Sandfilter hingegen wurde ein Transformationsprodukt vergleichbar mit der Zulaufkonzentration an Terbutryn detektiert.

Die in Labor- und Halbtechnik ermittelten Leistungsdaten konnten für die Großtechnik im Rahmen der **TransMiT** Arbeiten bestätigt werden. Auch für den großtechnischen Filter wurden dabei orientierend Biozid-Eliminationsleistungen ermittelt. Hier wurde ein, gegenüber den halbtechnischen Versuchen erweitertes, Wirkstoffspektrum erfasst und es zeigte sich für alle untersuchten Wirkstoffe aber auch Transformationsprodukte eine deutliche Reduktion (z. T. bis unter die Bestimmungsgrenze). Die Eliminationsraten des großtechnischen aber auch der halbtechnischen Filtereinheiten liegen damit in einem vergleichbaren Bereich zu Untersuchungen anderer Autoren. Die für längerfristig etablierte Retentionsbodenfilter festgestellte verringerte Phosphorretention wird vereinzelt auch für Biozide angezeigt. Aufgrund der verkürzten Laufzeit des RBF konnten im Rahmen von **TransMiT** keine Aussagen über das Langzeitverhalten gemacht werden. Hier wären am Retentionsbodenfilter im Quartier Braunschweig weitergehende Untersuchungen notwendig, um kausale Zusammenhänge für eine mögliche Entwicklung der Ablaufkonzentrationen abzuleiten. Im Hinblick auf die N-Elimination zeigte sich der bereits in den halbtechnischen Untersuchungen mit Sandfilterkörper beobachtete Anstieg des Nitratgehaltes im Ablauf auch in der Großtechnik. Vermutlich ist der Anstieg des Nitratgehaltes auf phasenweise reduzierte Denitrifikationsaktivität oder durch oxidierende Prozesse im Filterkörper (Nitrifikation) durch aerobe Verhältnisse zurückzuführen.

Bezüglich des Betriebs des RBF haben die Projektarbeiten gezeigt, dass die Reduktion von abwasserrelevanten Schmutzfrachten, abgebildet durch Standardparameter, deutlich von der Ausgestaltung der Drainageschicht (Höhe des Adsorptionspotentials) aber auch den Betriebsbedingungen (hier v.a. der Einstauzeit) beeinflusst werden. Damit wurden erste Ergebnisse in Bezug auf einen optimierten Einsatz als BGI, der über die bisher im Einsatzfeld dieser Bauwerke fokussierten Effekte auf Wasserretention und Feststoffreduktion hinausgeht, erbracht. Ein Retentionsbodenfilter kann damit als Baustein innerstädtischer Entwässerungskonzepte, sofern der Platzbedarf es zulässt, einen wichtigen Beitrag zur Emissionsminderung leisten. Im Spurenstoffkontext (gelöst oder partikulär) sind aber zwingend weitere längerfristige Untersuchungen notwendig, um hier die ersten erarbeiteten übergeordneten Kennzahlen zu stützen und ggf. auch in Variation von Anströmszenarien noch eine breitere Basis für entsprechende Handlungsempfehlungen zu erarbeiten.

1.3.2 Einbindung des Retentionsbodenfilters im Quartier

Im Rahmen der Projektvorarbeiten konnte in Kooperation mit der Stadt Braunschweig und der SE|BS ein Teilvolumen des in der Braunschweiger Weststadt vorgesehenen Regenrückhaltebeckens als 2-Kammer Retentionsbodenfilter geplant und für die Untersuchungen in **TransMiT** eingebunden werden. In Abbildung 23 ist der Aufbau des im Untersuchungsgebiet Braunschweig Weststadt verbauten RBFs zu sehen. Das Einzugsgebiet des RBFs hat eine Größe von etwa 50 ha. Die Bebauung besteht im Wesentlichen aus Mehrfamilien-, Einfamilien- und Reihenhäusern aus den 1970er Jahren. Das Regenwasserkanalnetz des EZG hat eine Gesamtlänge von ca. 7400 m. Die Gesamtlänge des RW-Kanals beträgt etwa 7,4 km und verfügt über Vermischungen zu Nachbargebieten. Im EZG gibt es neben den Erschließungsstraßen auch eine vielbefahrene Hauptstraße.

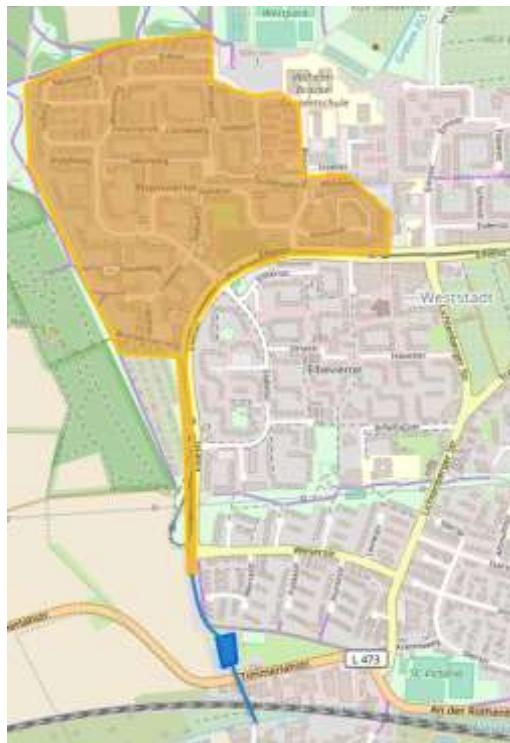


Abbildung 23: Einzugsgebiet (orange) des Regenrückhaltebeckens bzw. der Retentionsbodenfilteranlage (blau) in Braunschweig/Weststadt; bearbeitet; Quelle © OpenStreetMap-Mitwirkende (Stand Mai 2019), Lizenz www.openstreetmap.org/copyright

Der RBF ist mit einem Regenrückhaltebecken (RRB) gekoppelt. Im Regenfall wird zuerst der RBF und erst bei Erreichen des maximalen Drosselabflusses das RRB beschickt. Die Anlage hat einen Spitzenufluss von ca. $2,1 \text{ m}^3/\text{s}$ (Lastfall KOSTRA-2010R, $T = 3 \text{ a}$). Das RRB hat ein Speichervolumen von ca. 3100 m^3 und eine Grundfläche von ca. 5000 m^2 .

Der RBF reinigt mit einer Grundfläche von 350 m^2 einen Teilstrom des Gesamtzuflaufs und verfügt über eine konventionelle Kies-Sand-Drainage und Schilfbewuchs. Der Zulauf des RBFs ist auf 33 l/s und der Ablauf auf 18 l/s gedrosselt. Da jedoch kleinere Niederschlags-Abfluss-Ereignisse komplett und große Ereignisse zum Teil dem RBF zugeführt werden, können laut Berechnungen mit der Anlage rund 26 % der anfallenden AFS63 Frachten zurückgehalten werden. Der RBF besitzt zwei Kammern die iterierend beschickt werden. Hiermit soll sichergestellt werden, dass die Filter zeitweise trockenfallen können und eine Kolmation verhindert wird.

Für eine eingehende Darstellung von Planung, Aufbau, Funktions- und Betriebsweise von Retentionsbodenfiltern wird auf folgende Literatur verwiesen:

- MUNLV (2015) – Retentionsbodenfilter: Handbuch für Planung, Bau und Betrieb [6]
- DWA-Regelwerk Arbeitsblatt DWA-A 178 Retentionsbodenfilteranlagen [7]
- DWA-Regelwerk Merkblatt DWA-M 176 Hinweise zur konstruktiven Gestaltung und Ausrüstung von Bauwerken der zentralen Regenwasserbehandlung [9]

Neben der Funktion des RBF/RRB als technisches Bauwerk zur Reinigung und zum Rückhalt bietet diese Ausführung zusätzliche positive Effekte im Quartier (Freizeitwert Teich, Verdunstung, Biodiversität ...) die bei einer Maßnahmenauswahl im Rahmen der integralen Planung berücksichtigt werden können und sollen.

1.4 BGI-Integration in Bestandsquartieren am Beispiel Dachbegrünung

Stand und Perspektiven

Die Dachbegrünung wird in der Fachdiskussion um die Anpassung urbaner Siedlungsstrukturen an den Klimawandel als ein entscheidendes und auf eine Vielzahl von Bereichen positiv wirkendes Element gehandelt.

Die positiven Wirkungen begrünter Dächer sind im Hinblick auf die wasserwirtschaftlichen Aspekte:

- Die Reduzierung der Niederschlagswasser-Abflussspitzen durch die Rückhaltung auf den Dachflächen
- Die Verringerung des Niederschlagswasser-Abflussvolumens, hydraulische Teilabkopplung neu begrünte Dachflächen
- Die weitreichende Verdunstung des Niederschlagswassers direkt von den Dachflächen (Stabilisierung der urbanen Wasserbilanz)

Darüber hinaus werden durch die Begrünung in anderen Sektoren die folgenden synergetischen Effekte erreicht:

- Die Minderung sommerlicher Hitzebelastung (durch Reduzierung der Albedo und Erhöhung der Verdunstung)
- Die Erhöhung der Gestaltqualität verdichteter Quartiere (Neuschaffung begrünter Oberflächen)
- Die Erhöhung der Biodiversität (Neuschaffung begrünter Oberflächen)

Aus diesen Gründen wird von Seiten der urbanen Klimawandelanpassung eine signifikante Erhöhung des Anteils begrünter Dachflächen bis hin zu einer großflächigen Transformation möglichst aller Dachflächen gefordert.



Abbildung 24: Beispielhafter Status Quo, mögliche zukünftige Dachbegrünung bei Sonne und Starkregen (von links nach rechts) (Freie Hansestadt Bremen 2020)

Im Neubau werden aktuell rd. 8 % aller Dachflächen begrünt (Mann et al. 2021, S. 18f.). Das heißt 92 % aller neu entstehenden Dachflächen bleiben ohne Begrünung. Im TransMiT-Modellgebiet Hannover-Linden erreicht der Anteil begrünter Dachflächen inzwischen eine Größenordnung von rd. 5 %. Dieser ist zum weit überwiegenden Teil in den vergangenen Jahren im Neubau realisiert worden. Mit Hilfe der bereits über viele Jahre bestehenden Beratungs- und Förderprogramme für die Dachbegrünung im Bestand im o. a. Modellgebiet ist es gelungen einen Anteil von 0,20 % aller Dachflächen zu begrünen. Damit kann der Zuwachs an unbegrünten neuen Dachflächen (im Neubau) nicht annähernd kompensiert werden. Es kommt weiterhin zu einem nur wenig gebremsten Anstieg unbegrünter Dachflächen in urbanen Quartieren und Städten insgesamt.

Die heute verfügbaren Dachbegrünungslösungen sind vorrangig für den Einsatz im Neubau entwickelt worden. Von diesen eignen sich für den Einsatz im Bestand aus statischen Gründen (fehlende freie Lastreserven bestehender Tragwerke), wenn überhaupt, ausschließlich solche mit geringmächtigem Substrataufbau von 4 bis 12 cm Stärke (Ausnahmen bilden hier die vor allem in Großstädten vorhandenen Tiefgaragen). Zwar erreichen solche Dachbegrünungen im Jahresverlauf durchaus hohe Verdunstungsleistungen, zur Minderung sommerlicher Hitzebelastungen können sie jedoch alleine keinen relevanten Beitrag leisten. Gründe dafür sind:

- Substrat verfügt nur über eng begrenzte Wasserspeicherkapazität
- es trocknet bei höheren Temperaturen und/oder direkter Sonneneinstrahlung schnell aus
- die dort ansässigen Pflanzen (i. d. R. Sedum) weisen keine Verdunstungsleistung auf

Perspektivisch ergibt sich jedoch die Möglichkeit Dächer gezielt mit gespeichertem Regenwasser oder Grauwasser zu speisen. Intelligente temperatur- und radargestützte Pumpensteuerungen eröffnen hier die Option einer aktiven Vernässung mit entsprechender Verdunstungsleistung zur Kühlung. Die Industrie bietet für diesen Zweck erste konfektionierte Lösungen an. Als Klimaanpassungsmaßnahmen könnten solche Lösungen, die die Wirkleistung der installierten und ggf. geförderten BGI „sicherstellt“ oder sogar erweitert, zukünftig ggf. auch Gegenstand verbindlicher Forderungen in einer „Gründachsatzung“ sein.

Förderung der Dachbegrünung im Bestand

In einer qualitativen Erhebung wurde der Stand der in deutschen Kommunen praktizierten Beratung und Förderung von Dachbegrünungen erhoben und ausgewertet. Die quantitativen Erfolge der bisher durchgeföhrten Beratungs- und Förderprogramme in den Kommunen sind vor dem Hintergrund der durch den Klimawandel gegebenen Herausforderungen und des nur wenig gebremsten Zuwachses unbegrünter Dachflächen im Neubau als unzureichend zu bewerten. Trotzdem kommt den Aktivitäten eine wichtige Schrittmacherfunktion zu. Mit dem gewählten Vorgehen für die „Dachbegrünung im Bestand“ eine finanzielle Förderung anzubieten und anfragende interessierte Eigentümer*innen zu beraten, können die gestellten Herausforderungen allein jedoch nicht bewältigt werden. Wichtig für eine Erhöhung der Dachbegrünungsquote im Bestand ist eine proaktive Information und Beratung derjenigen Eigentümer*innen:

- deren Dächer sich für eine Dachbegrünung eignen
- deren Begrünung am Standort eine möglichst weitreichende positive Wirkung entfaltet und
- die sich mit Ihrem Gebäude im Vorfeld einer zyklischen, im Rahmen der Instandhaltung erforderlichen Erneuerung der Dachhaut befinden, um sie für eine Dachbegrünung zu gewinnen.

Voraussetzung für eine proaktive und umsetzungsorientierte Strategie zur „Dachbegrünung im Bestand“ ist neben einer verbesserten personellen (qualifiziertes Beratungspersonal) und finanziellen (Fördermittel) Ausstattung, eine Verbesserung der Informationsgrundlagen (Weiterentwicklung Dachbegrünungs-Potenzialkataster) sowie eine Fortschreibung des satzungsrechtlichen Rahmens (Gründachsatzung).

Weiterentwicklung „Gründachpotenzialkataster“

Vor diesem Hintergrund wurde die Leistungsfähigkeit von „Dachbegrünungs-Potenzialkatastern“ (DBPK) für eine flächendeckende Bewertung der Eignung von Bestandsdachflächen als auch der damit zu erreichenden positiven Wirkungen konzeptionell weiterentwickelt, an Beispielen erprobt, mit Praxis und Wissenschaft diskutiert und zur Anwendungsreife gebracht. Im Zuge der Befragung der kommunalen Beratungsstellen (s. Teil B 2.5, Kap. 3) wurden dabei explizit Fragen zur Brauchbarkeit und zu eventuellen Defiziten der DBPK sowie zu der Relevanz der verwendeten Bewertungskriterien gestellt. Dabei hat sich gezeigt, dass die Mehrzahl der befragten Kommunen die heute verfügbaren DBPK nicht für ein brauchbares Hilfsmittel zur Identifikation von Dachbegrünungen im Bestand hält. Zwar geben die DBPK eine allererste Orientierung, für eine praxisrelevante Ersteinschätzung der Eignungsbewertung reichen die enthaltenen Angaben jedoch nicht aus. Bezüglich der Weiterentwicklung der DBPK empfehlen einzelne Kommunen die Dachflächen mit zusätzlichen Informationen zu Statik, Alter der Dachhaut (Rückschluss auf voraussichtlichen Zeitpunkt eines anstehenden zyklischen Erneuerungsbedarfs der Dachhaut), zu voraussichtlichen Umsetzungsaufwand bzw. Kosten anzureichern. Einer einfachen Bedienbarkeit sowie der Erfassung bereits begrünter Dachflächen (auch als gezielt auffindbares Anschauungsobjekt für die interessierten Eigentümer*innen) wird dabei ein hoher Stellenwert beigemessen.

Gründachsatzung

In einer weiteren qualitativen Erhebung wurde der in deutschen Kommunen praktizierte Einsatz des Instruments „Gründachsatzung“ erhoben und ausgewertet. Auf Grundlage der Ergebnisse wurde eine „Mustergründachsatzung“ entwickelt, mit der der Rahmen für die verstärkte Umsetzung der Dachbegrünung in den Kommunen rechtlich abgesichert und fortciert werden kann (Teil B 2, Kap. 2.5).

Fazit

Die im Zuge von **TransMiT** neu gewonnenen Erkenntnisse, entwickelten Hilfsmittel und Instrumente in den drei Bereichen:

- Förderung der Dachbegrünung im Bestand
- Weiterentwicklung „Dachbegrünungs-Potenzialkataster“
- Gründachsatzung

verbessern die Möglichkeiten einer zielgerichteten Forderung, Initiierung und Förderung von Dachbegrünungen im Bestand. Sie eröffnen die Option einen höheren Anteil der Vorhabenträger*innen, die eine zyklische Dachhauterneuerung im Gebäudebestand planen und durchführen für eine Dachbegrünung zu gewinnen. Damit wird ein wichtiger Beitrag zur Erschließung des dachflächenbezogenen Potenzials für die hydraulische Teilabkopplung in urbanen Bestandgebieten geleistet. Die Analyseergebnisse und Empfehlungen zu den Förderaktivitäten wurden und werden weiter auf kurzem Wege über Beiträge in einschlägigen Periodika (siehe S. 184: Kaiser 2023; Kaiser & Hilgers 2023) sowie Vorträge in einschlägigen Städtenetzwerken (siehe S. 185: Kaiser 2022) in der Fachöffentlichkeit bekannt gemacht. Über die digitale Bereitstellung des Forschungsberichtes in den Internetportalen des BMBF sind die Inhalte in hoher Detailschärfe für Interessierte einsehbar.

Mit der konzeptionellen Weiterentwicklung des Dachbegrünungspotenzialkatasters (s. Teil B 2.5, Kap. 3) liegt ein methodischer, GIS-technischer und arbeitspraktischer Ansatz für die Fortschreibung kommunaler und regionaler Dachbegrünungspotenzialkataster (DBPK) vor. Dieser kann, bedingt durch den für Ergänzungen offenen Ansatz von Kommunen und Dienstleister*innen der Geoinformatik aufgegriffen und auf örtliche Spezifika und Anforderungen zugeschnitten, angewendet und weiterentwickelt werden.

2. Wirkweise blau-grüner Infrastruktur zur Abminde- rung von Wärmeinseleffekten in Städten

Maike Beier¹, Jessica Gerstendorfer¹, Kristina Barton^{1*}⁵, Ina Kaiser², Ylva Lund-Weiß²,
Günter Haese³, Max Krause³

¹ Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Leibniz Universität Hannover,
Forschungsfeld Abwasser und Wassermanagement

² Landeshauptstadt Hannover - Fachbereich 67, Hannover

³Wohnungsgenossenschaft Gartenheim eG

Zukünftig wird der Klimawandel die Dauer und Intensität von Hitzewellen weiter erhöhen. Insbesondere in Städten ist das Problem der Ausbildung von Hitzeinseln und hohen nächtlichen Lufttemperaturen aufgrund der versiegelten Flächen, dem häufigen Einsatz von glatten, dunklen Oberflächen, die zur Absorption von Sonnenstrahlung führen, der kompakten und hoch verdichteten Bauweise, dem wenigen Grün und einer schlechten Luftzirkulation verschärft (Federal Office for the Environment (Bundesamt für Umwelt/BAFU) 2018). Diese als „städtische Wärmeinsel“ bezeichneten Effekte (Federal Office for the Environment (Bundesamt für Umwelt/BAFU) 2018; Patryk et al. 2020; Bin et al. 2013; Oke 1982; Stewart und Oke 2012) sollte im Rahmen einer städtischen Klimaanpassung durch entsprechende infrastrukturelle Maßnahmen, wie dem Einsatz von BGI begegnet werden.

Während Einvernehmen über die Notwendigkeit einer grünen Infrastruktur besteht, wird der blauen Infrastruktur und dem Wassermanagement bei der städtischen Hitzevorsorge bisher wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Neben der Wasserversorgung der grünen Elemente und damit ihrer Wirksamkeit (vgl. auch A.II, Kap.3), ist die direkte lokale Klimawirkung der BGI auf Quartierebene bisher nicht in einer „bilanzierbaren Weise“ beschrieben, sodass aktuell der Beitrag einer Integration des Wassersektors bei der Stadtplanung zur Resilienzstärkung urbaner Quartiere in sommerlichen Hitzeperioden häufig nicht ausreichend erkannt und genutzt wird. Vor diesem Hintergrund wurde in TransMiT der methodische Rahmen zur Integration der Klimawirkungen von BGI-Maßnahmen in ein quartiersspezifisches Bewertungssystem entwickelt und beispielhaft unterschiedliche Oberflächengestaltungen hinsichtlich ihrer Wirkung auf das lokale Kleinklima untersucht.

Kernaussagen

- Begrünungen in urbanen Gebieten müssen für einen positiven Einfluss auf das lokale Kleinklima in niederschlagsarmen Monaten ausreichend bewässert werden, da sie nur so ihre Funktion beibehalten.

⁵ Frau Kristina Barton (geb. Elsner) war vom 1.4.2019 bis 28.2.2020 im Projekt TransMiT mit dem Schwerpunkt BGI am Standort Hannover beschäftigt (UP 3 und 5). Vorbereitende Planungsarbeiten zur Innenhofgestaltung GH, die Betreuung der studentischen Arbeiten sowie die koordinative Begleitung der Arbeiten zu Musterplanungen von aquaplaner (UA) vielen in diesen Zeitraum.

- Der Einsatz von Moosfassaden hat einen positiven Einfluss auf das Umgebungsklima (Lufttemperatur & relative Luftfeuchtigkeit), was insbesondere an Hitzetagen zu einem positiven Empfinden bei Aufenthalt in direkter Umgebung der Fassaden führen kann.
- Verglichen mit einem gering begrünten Innenhof kann ein stark begrünter und mit Wasserelementen ausgestatteter Innenhof eine Inversion des Temperaturprofils zur Folge haben. Dies führt bei autochthonem Wetter (Hochdruckwetter, geringe Bewölkung, mäßiger Wind) zu einer niedrigeren bodennahen Temperatur im Hof im Vergleich zur Temperatur in Gebäudehöhe, was insbesondere an Hitzetagen positiv von den Bewohner*innen bewertet wird.
- Für eine quartierspezifische Integration von BGI mit Fokus „Optimierung Kleinklima“ sollte für eine höhere Genauigkeit die Lufttemperatur lokal vor Ort bestimmt werden, hier ist eine stadtübergreifende Temperaturmessung nicht ausreichend zur Identifizierung von Kenndaten.
- Die direkte lokale Klimawirkung von BGI auf Quartiersebene ist bisher nicht in einer „bilanzierbaren Weise“ beschrieben, sodass aktuell ihr Beitrag zur Resilienzstärkung urbaner Quartiere in sommerlichen Hitzeperioden bei der Stadtplanung häufig nicht ausreichend erkannt und zielgerichtet genutzt wird.
- Die Fassaden- und Dachbegrünungen sowie die Innenhofgestaltung mit Wasser- und Grünelementen können das Stadtbild positiv prägen.

2.1 Quartierspezifisches Bewertungssystem zum Einsatz BGI

Die Einordnung von Hitzestress als erhebliche Gesundheitsbelastung ist inzwischen allseits anerkannt. Selbst in Deutschland sind Todesfälle während der immer häufiger auftretender Hitzewellen zu verzeichnen (Hajat et al. 2006, Zacharias et. al, 2015, DWD 2021, Castiglia et al. 2015). Insbesondere sommerliche Hitzewellen mit mehreren aufeinanderfolgenden Tropennächten stellen dabei eine zusätzliche Belastung für ältere Menschen, Kinder und chronisch Kranke dar (Hajat et al. 2006, Zacharias et. al 2015), aber auch hohe Temperaturen im öffentlichen Raum tagsüber (z. B. in Innenstadtgebieten) an denen sich viele Menschen bewegen, stellen einen hitzekritischen Ort dar.

Während Klimamodelle üblicherweise zur Bewertung ganzer Stadtgebiete eingesetzt werden (vgl. Czorny et al. 2020), konzentrierte sich der entwickelte methodische Ansatz in **TransMiT** auf die Unterstützung der Planung auf Quartiersebene – also die ergänzende Maßnahmenbewertung in Hinsicht auf die Vermeidung von Hitzebelastungen. Um diesen Aspekt neben anderen Zielen der Stadtentwicklung, wie die Barrierefreiheit oder die Aufnahme/Ableitung von Niederschlag bei der Bewertung einer BGI-Maßnahme berücksichtigen zu können, müssen zunächst elementbezogene Wirkungen in ihrer Größe unter unterschiedlichen Rahmenbedingungen definiert werden. Aufgrund der vielfältigen Interferenzen bei der Klimaberechnung (Dreidimensionalität, Luftströmung, Strahlung, Beschattung, Verdunstung, Bodenfeuchte, ...) ist es schwierig die Wirkung eines Elements auf die Temperatur vorherzusagen. Hinzu kommt, dass es bisher keinen Ansatz zur Berechnung einer über das Jahr quantifizierten „Klima-Leistung“ gibt und damit die Wirkungen der Maßnahmen auf Einzelsituationen wie die tropischen Hitzenächte o. ä. reduziert.

Mit dem in **TransMiT** gesetzten Fokus auf die Planungsunterstützung wird ein methodisches Vorgehen entwickelt und erprobt bei dem das Thema Hitzeanpassung und Siedlungswasserwirtschaft integrativ betrachtet werden kann und das gleichzeitig auch für den strategischen Planungsprozess also die Variantenauswahl und quartierspezifische Bewertung der BGI eingesetzt werden kann. Im Rahmen des Forschungsprojekts **TransMiT**, das auf eine langfristig klimangepasste Stadtentwicklung und Wasserwirtschaft ausgerichtet ist, werden methodische und inhaltliche Ansätze adressiert, mit denen die Klimawirkung von BGI ermittelt und bewertet werden kann.

Abbildung 25 beschreibt den methodischen Ansatz einer modellgestützten Entscheidungsunterstützung auf der Ebene der strategischen Planung von Stadtquartieren. Basis des Ansatzes bildet die These, dass es möglich ist, für bestimmte stadtarchitektonische Strukturen (z. B. ein geschlossener Hinterhof, eine Straße oder ein Platz) ein standardisiertes Modell aufzubauen, dass die für diese Struktur relevanten Rahmenbedingungen über ausgewählte Kenndaten ausreichend genau individualisiert, sodass dann die Effekte von verschiedenen BGI in der spezifischen Umgebung in einer Szenarienanalyse in ihrer Wirkung beschrieben und bewertet werden können. Die BGI werden dafür als Element-Module ebenfalls in ihrer Ausprägung und typischen Kenndaten die relevant für die Klimaberechnung sind, charakterisiert. Typische Kenndaten wären z. B. für einen Teich die Oberfläche (Verdunstung und Strahlung) sowie das Wasservolumen (Wärmespeicherung).

Während Klimamodelle üblicherweise zur Bewertung ganzer Stadtgebiete eingesetzt werden, konzentriert sich die Arbeit in **TransMiT** damit auf eine kleinere Auflösung „Innenhof“ und unternimmt den Versuch Gesamteffekte (Begrünung plus Wasserelemente im Sinne einer Beispielplanung) zu modellieren, anstatt kleine Einzeleffekte zu berücksichtigen. Perspektivisch werden auf diese Weise zukünftig Modulbibliotheken erarbeitet, mit denen für die Planung und Variantenauswahl auch Klimaeffekte für unterschiedliche Maßnahmen auf

Quartierebene dargestellt werden können. Kapitel 2.3 zeigt beispielhaft die ersten Schritte für die Erstellung einer Musterplanung eines klimaoptimierten Hinterhofs. Neben der Analyse bestehender Strukturen können die Auswirkungen geplanter Maßnahmen durch Simulationen quantifiziert werden.

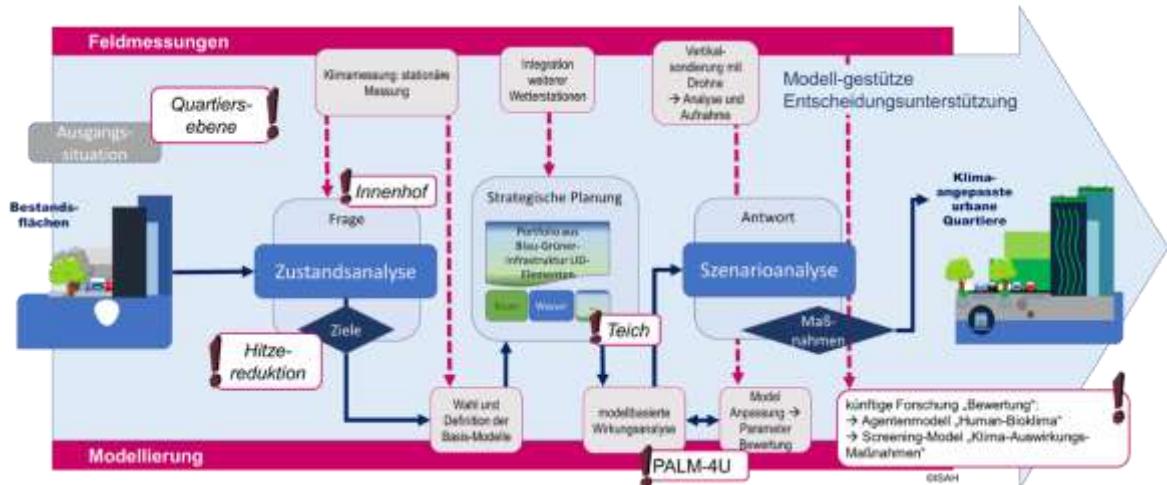


Abbildung 25: Schematische Darstellung des Zusammenspiels von Messungen und Modellierung bei der modellbasierten Planung - einschließlich der verschiedenen in TransMiT verwendeten Methoden (grauer Hintergrund) und spezifischer Forschungsgegenstände, die zur Veranschaulichung der Methoden ausgewählt wurden (rosa eingerahmte Felder mit Ausrufezeichen).

Auch wenn man mit diesem Vorgehen einen ersten wichtigen Schritt zur integralen Planung und Maßnahmenbewertung gegangen ist, bleibt die Frage nach der Bewertung der Simulationsergebnisse. Für die Entscheidungsunterstützung sind Standardindikatoren wie die Anzahl der Tropennächte und heißen Tage nicht differenziert genug, um den spezifischen Klimastress der Stadtbewohner zu quantifizieren oder um die Auswirkungen in kleinen Bereichen wie Innenhöfen oder Plätzen zu bewerten. Es wird vorgeschlagen, zusätzlich Sommertage zu berücksichtigen, Perzentile anstelle von festen Schwellenwerten zu verwenden und den gesamten Jahresverlauf in die Bewertung der Elemente und der Stadtgestaltung einzubeziehen. Hierdurch wäre es dann auch möglich, die sich aus der Modellierung der Entwässerungssituation ergebenden wasserwirtschaftlichen Kennwerte wie sich im Jahresverlauf verändernde Wasseroberflächen oder -volumen für bestimmte Zeiträume oder Auftretungsperioden differenziert bei der Simulation zu berücksichtigen. Ebenso könnten auch Zeiträume niedriger Temperaturen auf ihre klimatische Belastung hin geprüft und mit in die Bewertung der Maßnahmen einbezogen werden. Wie in (Ferner et al. 2014) beschrieben, können "urbane Kühlinsel-Effekte" z. B. durch Beschattung und Transpiration von Blätterdächern auftreten. Diese Effekte können nur untersucht werden, wenn Beginn und das Ende der Wachstumsperiode bei der Simulation unterschieden wird. Für die Bewertung der Aufenthaltsqualität und der Entlastungswirkung des Außenraums wurden bisher auch i. d. R. statische Felder der Klimaparameter betrachtet. Gerade für die Tagessituation ist jedoch entscheidend, wie Bewegungsräume und Erholungsflächen von den Bewohnern des Quartiers genutzt werden. Durch die Vorgabe verschiedener Bewegungsmuster (z. B. Schulweg, Weg zur ÖPNV-Haltestelle, Spaziergang im Park) kann für den Bevölkerungsquerschnitt ein dynamisches Bild für eine quartiersrepräsentative Wärmebelastungssituation abgebildet werden. Es eröffnet die Möglichkeit für einen realistischen Bewertungsansatz für die Entlastungswirkung der BGI-Maßnahmen. Die Erprobung dieses Ansatzes ist ein zentraler Bestandteil für die kommende Projektphase **TransKOM AP. 2.5**.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass für die Szenarienanalyse und ein beseres Prozessverständnis Modellsimulationen ein nützliches Instrument sind, um die Auswirkungen von BGI auf das Mikroklima aufzuzeigen. Sie bieten neben der Analyse bestehender Strukturen auch die Möglichkeit, die Auswirkungen geplanter, aber noch nicht umgesetzter Maßnahmen zu quantifizieren. Die in **TransMiT** verwendete Software PALM-4U ist dabei ein komplexes und leistungsfähiges Werkzeug zur Analyse des Mikroklimas in städtischen Gebieten und eignet sich für die Bewertung und Analyse von BGI, da Strukturen wie Gebäude und Vegetation explizit aufgelöst werden und die Energiebilanz ihrer Oberflächen mitberechnet wird (vgl. auch Teil B 2.10).

Die intensive Diskussion mit den kommunalen Einrichtungen im bisherigen Projektverlauf hat jedoch gezeigt, dass diese sehr komplexen und arbeitsintensiven Modellansätze in der täglichen Planungspraxis zu anspruchsvoll sind. Hier setzt der oben beschriebene modulare Wirkungs-Ansatz an. Hierzu werden im Verstetigungsprojekt **TransKOM** über weitere Mess- und Modellierungsstudien charakteristische Kennwerte einzelner Maßnahmen aufgenommen und zu Klima-Modellmodulen zusammengefasst. Ebenfalls dürften einfachere, schnell anwendbare und leicht zu interpretierende Screening-Ansätze effektiver sein, die in der kommenden Projektphase auf der Basis von hochauflösenden räumlichen Klimamodellläufen und Messungen auf Basis der Neuronalen Netztechnik weiterentwickelt werden. Dieser Screening-Ansatz soll ebenfalls eine schnelle und effiziente Erstbewertung der Auswirkungen von Wärmetaßnahmen auch für unerfahrene und nicht professionelle Anwender meteorologischer Modelle ermöglichen.

2.2 Einfluss von Moosfassaden auf das lokale Kleinklima

In Ergänzung zu bekannten Klima-Leistungen unterschiedlicher Vegetationstypen wurden in **TransMiT** mit dem Fokus auf gebäudenaher Elemente und Planungen (Aktivierung Privater über die Beteiligung der Wohnungsgenossenschaften), die Potentiale einer Fassadenbegrünung auf das lokale Kleinklima untersucht. Untersuchungsgegenstand war hierbei das grüne Element Moosfassaden und zwar in Form des durch die Wohnungsgenossenschaft Gartenheim eG (GH) entwickelten Kombisystems „Fassadenelemente + Bewässerung“ (genannt „Moosmaschine“). Nach einer Einordnung des Pflanzentyps Moos im Vergleich zu anderen Begrünungstypen wurde anhand von Laborversuchen und Feldstudien die Effekte der bemoosten Fassaden auf das Kleinklima (ausgewählte Parameter: Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit) ermittelt und Kennzahlen zu Bau- und Betriebskosten sowie der Wasserbedarf erfasst. Moose nehmen ihr Wasser im Unterschied zu anderen Pflanzen nicht über die Wurzeln auf, sondern bedürfen einer „Bewässerung von oben“ was eine besondere Herausforderung für eine Fassadenbegrünung darstellt. Entsprechend wurde in **TransMiT** das Bewässerungskonzept der Moosmaschine neben der technischen Ausführung (Bahnen und Kassetten) besonders in den Fokus gestellt. Zur Aufnahme der Erfahrungen von Nutzern/privaten Eigentümern mit Fassadenbegrünung wurde im Rahmen von TransMiT eine Umfrage bei Grün-Fassadenbesitzern in Hannover durchgeführt, deren Ergebnisse im Abschlussbericht Teil B 2.12 zusammengefasst ist.

2.2.1 Besonderheiten von Moos als Fassadenbegrünung

Vorteilhaft bei einer Vertikalbegrünung mit immergrünem Moos wird gewertet, dass die Fassade ganzjährig bewachsen und grün ist (VDI 3957-17). Damit Moos in der Vertikale gedei-

hen kann, ist erstens eine Fixierung des Mooses und zweitens eine Bewässerungsmöglichkeit erforderlich. Für die Fixierung werden häufig sogenannte Moosmatten eingesetzt, bestehend aus einem Trägermaterial und speziell für die Anwendung in der Vertikalen gezüchteten Moosen (Siemsen & Lasak 2019; NIRA 2019). Das Trägermaterial kann bspw. aus Vliesstoff und darauf aufgebrachtem 3-D-Schlingengewebe aus Polyamid bestehen. Neben der Fixierung des Mooses erhöhen die Moosmatten die Wasserspeicherkapazität und können unterschiedlich ausgeführt werden (Frahm 2008a). Für die Bewässerung gibt es verschiedene Möglichkeiten. In **TransMiT** wurde eine vollautomatisierte patentierte technische Bewässerung der Wohnungsgenossenschaft Gartenheim betrachtet (Gartenheim 2019) in der großtechnischen Umsetzung bewertet und weiterentwickelt.

Trockenheit und Temperaturempfindlichkeit:

Moos besitzt die Eigenschaft vollständig trockenfallen zu können ohne Schaden zu nehmen. Es fällt dann in einen Zustand „latenten Lebens“, der sogenannten Dormanz. Nach Wiederbefeuuchtung wird das Moos reaktiviert (Frahm 2018; Pfoser 2016). Nur im turgeszenten Zustand, d. h. wenn seine Zellen mit Flüssigkeit gefüllt sind, kann Moos Stoffwechsel betreiben. Bei einer relativen Luftfeuchte von mehr als 80 % können Moose ihre Verdunstungsverluste über die Aufnahme von Wasserdampf decken. Bei geringerer Luftfeuchte trocknen sie aus (Frahm 2018). Die Resistenz von Moosen gegenüber Austrocknung ist je nach Art unterschiedlich ausgeprägt. Für austrocknungsresistente Moose gilt, je trockener sie gehalten werden, desto besser können sie überleben. Weiterhin gilt, dass die Toleranz gegenüber trockenen Perioden saisonal unterschiedlich ausgeprägt ist: Während das Moos in den trockenen Sommerperioden in einer Wachstumsstillstandsphase ist und besser gegen Trockenfallen abgehärtet, ist die Toleranz in den Wachstumsphasen im Frühjahr und Herbst herabgesetzt. Pfoser (2016) beschreibt, dass die Übernässung begrünter Fassaden kritisch zu bewerten ist. Für Moose gilt: Die Toleranz gegenüber Nässe hängt wesentlich von den eingesetzten Moosarten ab. Während es für den Innenraum dauerfeuchte Arten gibt (Siemsen & Lasak 2018), werden für die Moosmaschinen der Wohnungsgenossenschaft Gartenheim trockenresistente Moose eingesetzt, um gerade in den zunehmend trockenen Sommermonaten einen Vorteil gegenüber alternativen Begrünungen zu haben.

Betriebserfahrungen:

Bisherige Erfahrungen mit den Moosmaschinen zeigen, dass eine zu häufige Bewässerung zu Schadensbildungen an den Moosfassaden führt, da die Frostresistenz und Hitzeresistenz von Moosen in Abhängigkeit des Wassergehalts der Moose variieren. So können feuchte Moose nur Temperaturen bis ca. – 10 °C tolerieren und sind gegenüber Hitze weniger resistent. Moose scheinen im befeuchteten Zustand bei Temperaturen von 30 bis 35 °C aufgrund zu starker Atmungsverluste abzusterben (Frahm 2018). Direkte Sonneneinstrahlung ist daher weniger problematisch als z. B. Anordnung von gläsernem Schutz (zur Vermeidung von Schäden durch Anfassen) mit Extremtemperaturen bei gleichzeitig verbleibender Feuchtigkeit im Moos. Die optimale Temperatur für die Netto-Photosyntheserate liegt für die in gemäßigten Breiten heimischen Arten bei 15 bis 20 °C.

2.2.2 Effekte auf das Kleinklima (Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Verdunstungsleistung)

Die Ergebnisse der Versuche im Labormaßstab (s. Abschlussbericht Teil B 2.12) zeigen, dass die Umgebungsfeuchte- und Temperatur durch das Moos und seine Bewässerung

positiv beeinflusst wird. Unmittelbar nach einer Bewässerung verringerte sich die Lufttemperatur nahe der Begrünung im Labor im Mittel um 0,4 °C, die Luftfeuchtigkeit erhöhte sich durchschnittlich um 11 %.

Der Effekt der Begrenzung von Kühlungseffekten auf den Nahbereich der Begrünung wurden in Felduntersuchungen bestätigt. Bei geringerer Entfernung zur Moosfassade (0,2 m) lagen die Temperaturen bis zu 0,56 °C niedriger als im Abstand von 2,8 m Entfernung. Ebenso zeigte sich ein Einfluss der Ausrichtung der Fassaden und damit die der Grad der direkten Sonnenbestrahlung (Lüker 2021). Wichtig ist, noch einmal darauf hinzuweisen, dass die positiven Effekte nur im turgeszenten, also feuchten, Zustand des Mooses auftreten. Fällt das Moos trocken (Initialzustand), entsteht ein Ruhe-Zustand, in dem keine positiven Effekte auszumachen sind. In diesem Zustand ist die Pflanze jedoch sehr robust gegenüber Hitze, während sie im feuchten Zustand weniger resistent sind (Frahm 2008b). Fallen Moose in den trockenen Zustand (ohne abzusterben), wechseln sie wieder in die turgeszente Phase, sobald eine Bewässerung stattfindet (Frahm 2018; Pfoser 2016). Zusammenfassend wird deutlich, dass die besonderen Potentiale einer Fassadenbegrünung mit Moos nicht die Erhöhung der Verdunstungsleistung und lokale Abkühlung sind, sondern die besondere Robustheit bei längeren Trockenzeiten. Die Verringerung der Strahlungsaufnahme der Gebäudeoberflächen und ein über das ganze Jahr grüner, wohltuender Anblick kann durch die Moosfassaden erreicht werden.

Kennzahlen zum Wasserbedarf sowie Baukosten, Haltbarkeit und Betriebskosten sind in Teil B 2.11 aufgeführt. Hier werden auch die Optimierung des Betriebs und Kosteneffizienz, sowie das Langzeitverhalten und eine Bewertung zur Nutzung von Trinkwasser gegenüber Regenwasser zur Bewässerung dargestellt. Aufgrund neuer Erkenntnisse zum Einfluss der Bewässerung auf die mögliche Luftschaadstoffreduktion aus Stuttgart (Thielen 2019) sowie Untersuchungen aus Amsterdam zum Einfluss der Moosfassade CityTree der Firma Green City Solutions auf die Stickstoffdioxidbelastung in der Luft (Mack und Duyzer 2019), wurde der Bearbeitungsfokus auf die Optimierung des Bewässerungskonzepts (Verlängerung der Dauer der turgeszenten Phase) gelegt und die im Antrag benannten Fragestellungen zum Einfluss von Moos auf die Luftqualität zurückgestellt und lediglich theoretisch betrachtet.

2.3 Potentiale von BGI-Elementen in Innenhöfen zur Verbesserung des Kleinklimas

Maßnahmen zur Regenwasserbewirtschaftung bieten ein großes Potenzial an Synergieeffekten in Bezug auf das lokale Wärmemanagement mit blau-grünen Infrastrukturen (BGI) in städtischen Gebieten sowie zur Entkopplung und Verzögerung des Abflusses. Während die Wärmeminderung durch begrünte Innenhöfe gut dokumentiert ist (siehe Vuckovic et al. 2020), gibt es Lücken bei den mikroklimatischen Effekten von blauen Elementen, wie offenen Zisternen und Teichen, die aber aufgrund der Relevanz von Speicherelementen im Niederschlagswassermanagement mit dem Ziel einer optimal multifunktionalen Gestaltung geschlossen werden sollten. Ziel der Untersuchung war es, wiederum beispielhaft den Einfluss von BGI zur Abminderung von Wärmeinseleffekten auf Quartierebene zu untersuchen. Hierzu wurde als architektonisches Element der Hinterhof ausgewählt aufgrund seiner eindeutigen räumlichen Abgrenzung aber auch aufgrund seiner meist in privater Hand befindlichen Gestaltungsfreiraume. In **TransMiT** wurde und wird ein besonderes Augenmerk auf die Klima-Leistungen der blauen Elemente gelegt und der Modell-Innenhof mit verschiedenen Zisternen einem flachen nur temporär gefüllten Teich und einem tiefen Teich mit konstantem Niveau ausgestattet neben einer umfangreichen Begrünung, die aber außer dem vorhandenen Baumbestand erst während des Projektes anwachsen musste (Beschreibung Teil B 2.6). Auf Basis der vorhandenen Messungen wurde ein Modell des Hinterhofs erstellt und kalibriert. Neben der Wasserbilanz (siehe Teil B 2.7) wurden die verschiedenen blauen Elemente im Modell-Innenhof auch im Hinblick auf ihre mikrobielle Belastung untersucht (siehe A.II, Kap. 4). Die Frage, ob Teiche geeignet sind, die (nächtliche) Überhitzung in den Quartieren zu reduzieren, wurde in **TransMiT** neben dem methodisch modellbasierten Ansatz ergänzend über die vergleichende Analyse anderer Standorte in der Stadt sowie durch den Vergleich von zwei unterschiedlich ausgestatteten Hinterhöfen diskutiert:

- Innenhof in der hannoverschen Südstadt, in dem im Jahr 2019 blaue Elemente (Teiche und Zisternen) und verschiedene Begrünungsmaßnahmen umgesetzt wurden (sog. "Blauer Hof" oder Modell-Hinterhof).
- Im Vergleich dazu wurden Messungen in einem Innenhof in Hannover Linden durchgeführt, der ausschließlich mit grünen Elementen ausgestattet war (sog. "Grüner Hof" alter Baumbestand und Rasen, kleinere Beete).

Ziel war es, auf der Basis von stationären Klimamessungen im Hinterhof im Vergleich zu den Auswertungen weiterer Klimastationen (DWD) Aussagen über die Wirksamkeit der BGI-Maßnahmen zu erhalten. Diese Vergleiche werden durch vertikale Sondierungen der Temperatursituation mit Hilfe von Drohnenbegehungen ergänzt und erweitert. In einem weiteren Analyseschritt wird das mikroskalige Klimamodell PALM-4U eingesetzt, um die räumlich hoch aufgelösten Temperaturfelder für die Hofsituationen zu simulieren. Vorgehen und Ergebnisse sind in den nachfolgenden Kapiteln für die verschiedenen Datenquellen im Überblick dargestellt. Die Einzelergebnisse finden sich dazu in Teil B 2.10.

2.3.1 Beschreibung der Innenhöfe und Messstationen

In **TransMiT** fanden Untersuchungen hinsichtlich des Wassermanagements und Untersuchungen der Lufttemperaturen für das architektonische Muster „Innenhof“ statt, um das Potential verschiedener BGI-Elemente zur Verbesserung des Kleinklimas einzuschätzen. Ein Innenhof in Hannover-Südstadt der Wohnungsgenossenschaft Gartenheim wurde 2019 als Modell-Hinterhof umgestaltet mit den Maßgaben

- den Hof grüner zu gestalten

- Regenwasser im Innenhof zu speichern und dadurch
 - die Abkopplungspotentiale dieses Gebäudetyps in Bezug auf die angegeschlossenen Dachflächen zu identifizieren
 - die Dachabflusspotentiale dieses Gebäudetyps mit dem Schwerpunkt Nutzung zu identifizieren

Betrachtete Bewertungsgrößen waren die Entlastung der Kanalisation bei Regenereignissen sowie die Verbesserung des Klimas im Hinterhof bei großer Hitze.

Die unterschiedlichen Eigenschaften der Höfe und die durchgeführten Messungen/Simulationen pro Innenhof sind in Tabelle 6 dargestellt. Weitere Details und Bilder sind Abschlussberichtsteil B 6 zu entnehmen.

Tabelle 6: *Eigenschaften der untersuchten Innenhöfe*

Information	Innenhof 1	Innenhof 2	Innenhof 3
Benennung	Blauer Innenhof	Vergleichs-Innenhof	Grüner Innenhof
Eigentümer	Gartenheim eG	Trust GmbH Wedemeier Treuhand	spar + bau eG
Ort	Hannover Südstadt	Hannover Südstadt	Hannover Linden
Größe	~ 3.652 m ²	~ 3.696 m ²	~ 3.700 m ²
BGI Eigenschaften	Blaue Elemente: Teich 1: 140 m ² Oberfläche (nach Plan), tiefster Punkt 45 cm Teich 2: 70 m ² Oberfläche (nach Plan), tiefster Punkt 110 cm Wasservolumen beider Teiche zusammen ca. 50 m ³ 3 Kaskadensysteme mit je 3 offenen Zisternenbecken, 0.64 m ² , 40 cm Tiefe, 235 l	Keine blauen Elemente	Keine blauen Elemente
	Grüne Elemente Büsche, Bäume Wenig Rasenfläche	Grüne Elemente Hecken, Bäume Rasenfläche	Grüne Elemente Hochbeete → in allen 4 Ecken des Hofs je 6 Beete auf befestigtem Untergrund, 160 m ² Hecken, 5 Bäume in der Mitte Große Rasenfläche, dominierend
	Andere Elemente Spielplatz (Sand) Gehwege (feiner Kies)	Andere Elemente Wasserspielplatz (Sand, Gestein)	Andere Elemente Gehwege (Beton und andere Steinmaterialien)
Bewertung	Wetterstation	-	-
	Drohnenmessung	-	Drohnenmessung
	Simulation	Simulation	-

Zum Vergleich der Temperaturtrends wurden Daten mehrerer Wetterstationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) in der Stadt Hannover und im Umland ausgewertet. Dabei wurden Messtationen in der Region, im Stadtgebiet sowie im Innenhof ausgewählt. Dazu gehören die folgenden Standorte (siehe Abbildung 26)

- **Region:** Flughafen (kurz: FH)
- **Region:** Kattenbrookspark (kurz: KP)
- **Stadtgebiet:** Marianne-Baecker-Allee (kurz: MBA)
- **Stadtgebiet:** Weidendamm (kurz: WD)
- **Stadtgebiet:** Messturms in Hannover-Herrenhausen (kurz: IMUK)
- **Innenhof:** In **TransMiT** untersuchter Innenhof Südstadt (kurz: IH)



Abbildung 26: Standorte der betrachteten Wetterstationen, Google Maps Bildschirm-Aufnahme (Kartendaten © 2021 GeoBasis-DE/BKG © 2009, Google). Vertikal beträgt die Länge ca. 18 km und horizontal beträgt die Breite des Ausschnitts ca. 17 km.

Die Wetterstation am Flughafen ist dauerhaft installiert (ID 2014), während die Wetterstationen am Weidendamm (WD), an der Marianne-Baecker-Allee (MBA) und am Kattenbrookspark (KP) mobile Stationen aus einem anderen Forschungsprojekt waren (s. Landeshauptstadt Hannover 2017). Diese Daten wurden dem Projekt vom DWD bereitgestellt (DWD, Regionales Klimabüro Hamburg, Krugmann, G. 2021). Die Daten des Messturms in Hannover-Herrenhausen (IMUK) wurden durch das IMuK bereitgestellt (Institut für Meteorologie und Klimatologie (IMuK), Schilke, H. 2021).

2.3.2 Ergebnisse Wetterstation: Heiße Tage und Tropennächte

Wie in Steger et al. (2020), basierend auf dem Deutschen Klimaatlas, beschrieben, ist der relevante Zeitraum für heiße Tage von Juni bis August. Davon abweichend gab es jedoch in Hannover auch im September 2020 heiße Tage und Nächte, so dass der Betrachtungszeitraum in **TransMiT** von Juni bis September erweitert wurde. Eine tropische Nacht ist definiert als "[...] eine Nacht, in der die minimale Lufttemperatur $\geq 20^{\circ}\text{C}$ beträgt" (DWD n.D.), gemessen von 18 UTC bis 06 UTC.

Abbildung 27 zeigt die Anzahl der heißen Tage und tropischen Nächte im Jahr 2020 für die verschiedenen Stationen. Es zeigt sich, dass der Innenhof die geringste Anzahl heißer Tage, aber eine vergleichsweise hohe Anzahl tropischer Nächte aufweist, die über der von Flughafen, IMuK, KP und MBA liegt. Nur die Station WD weist mehr tropische Nächte auf. Außerdem ist der Unterschied zwischen der Zahl der Tropennächte und der heißen Tage zwischen Innenhof und WD vergleichbar, während die Unterschiede bei Flughafen, IMuK, MBA und KP viel größer sind. Im Durchschnitt gab es 12,3 heiße Tage und 6,7 tropische Nächte. Zum Vergleich: In ganz Deutschland gab es im Durchschnitt 11,4 heiße Tage (Umweltbundesamt 2020). Laut Bundesministerium für Umwelt et al. (2015, S. 56) kühlen Räsen und Wiesen nachts „durch Abgabe langwelliger Strahlung rascher ab als Bäume“.

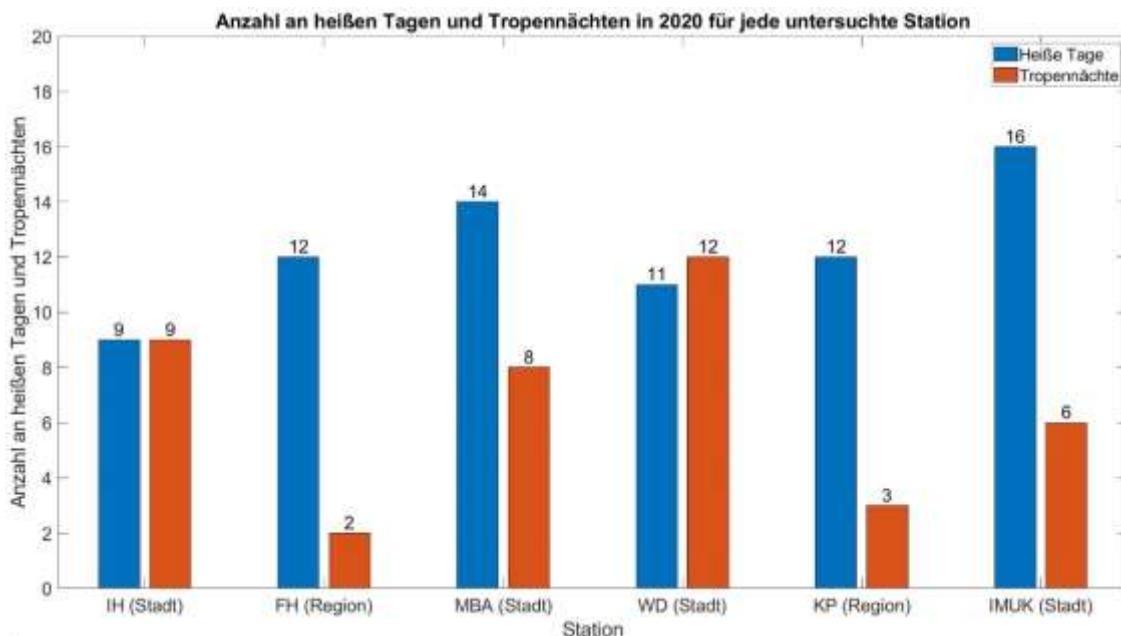


Abbildung 27: Anzahl der heißen Tage (blau) und tropischen Nächte (rot) im Vergleich in Hannover 2020 für die Mobilstationen Marianne-Baecker-Allee, Weidendamm und Kattenbrookspark sowie Flughafen und blauer Innenhof.

Die folgende Abbildung 28 zeigt die maximalen Lufttemperaturen (Höchstwert jeder 10-minütigen Periode) für den 8. August 2020 von 00:00 bis 24:00 Uhr (UTC), da hier die höchsten Temperaturen des Jahres gemessen wurden. Zudem ist der Unterschied zwischen den Höchsttemperaturen der Station MBA im Stadtgebiet und im Innenhof dargestellt. Es zeigt sich, dass der höchste Unterschied ca. 3 °C um 14:00 Uhr beträgt.

Es zeigt sich, dass die Lufttemperaturen im Innenhof vor allem zwischen Sonnenaufgang und Sonnenuntergang am niedrigsten sind. Während der Nacht sind die Temperaturen im Innenhof höher als im KP und im Flughafen, aber niedriger als in WD und MBA. Zwischen 17:30 Uhr und Sonnenuntergang zeigt sich, dass die Lufttemperaturen am KP, am Flughafen und im Innenhof stärker und damit schneller sinken als in der WD und der MBA. Zwischen 20 Uhr und 24 Uhr ähneln sich die Temperaturen des IMUK und des Innenhofs, allerdings sind die Temperaturen von 24 Uhr bis ca. 5 Uhr höher als die des IMUK. Um sicherzustellen, dass die Differenzen nicht auf Messunsicherheiten der Hofstation zurückzuführen sind, sind im Anhang von Teil B 2.10 die Unsicherheiten der verwendeten Sensoren aufgelistet.

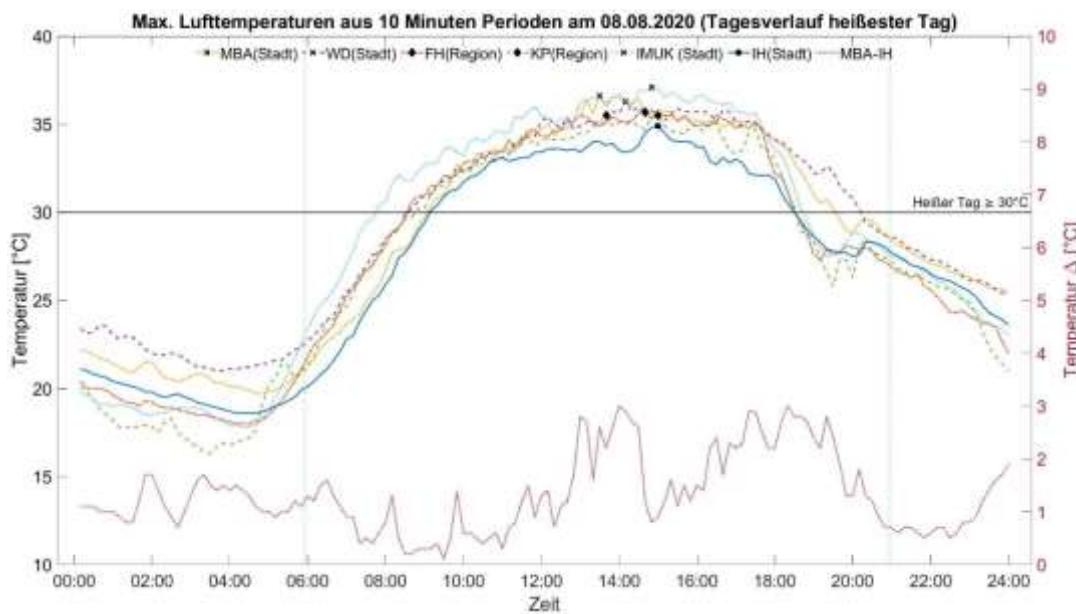


Abbildung 28: Maximale Lufttemperaturen vom 8. August 2020 für die 6 Standorte und Differenz zwischen den Höchsttemperaturen des Innenhofs und der MBA-Station in rot (horizontale Linie = 30 °C-Grenze; vertikale Linien = Sonnenaufgang/ Sonnenuntergang; schwarze Symbole = Höchsttemperatur für jede Station)

Vom 8. auf den 9. August wurden an den Stationen in der Region KP (19,4 °C) und am Flughafen keine Tropennächte registriert (Abbildung 29), da die Temperaturen unter 20 °C fielen, obwohl die Temperaturen nahe an denen der anderen Stationen liegen, die die Grenztemperatur der Definition überschreiten.

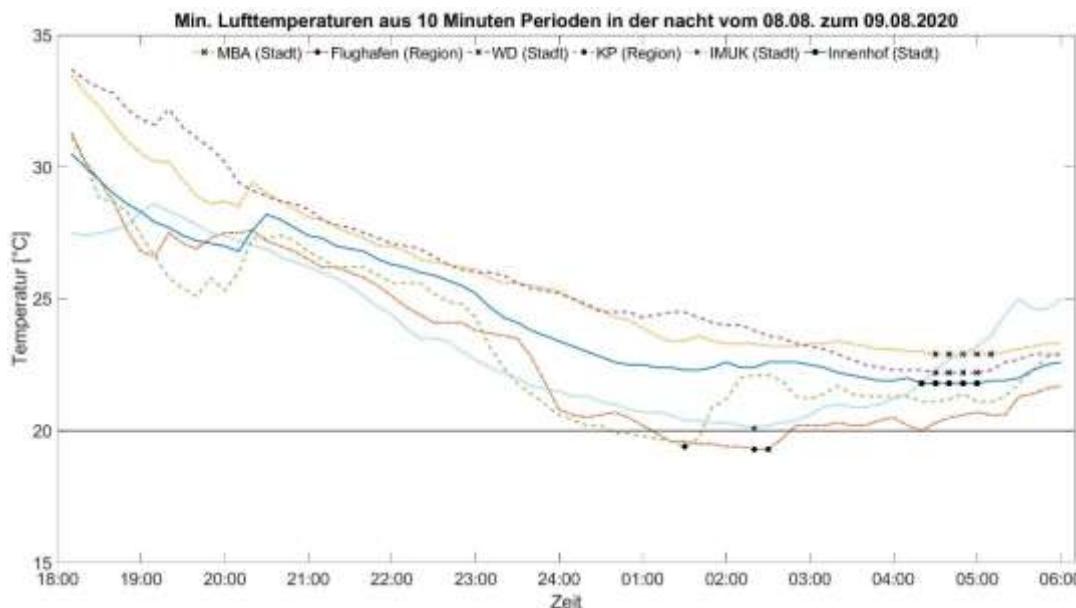


Abbildung 29: Minimale Lufttemperaturen in der Nacht vom 8. auf den 9. August 2020 (horizontale schwarze Linie = 20 °C; schwarzen Sterne = Mindesttemperaturen für jede Station)

Vergleicht man die Maximaltemperaturen sowie die Minimaltemperaturen, so zeigt sich, dass die Lufttemperaturen zwischen den untersuchten Stationen bei den Maximaltemperaturen am Tag wesentlich ähnlicher sind als bei den Minimaltemperaturen in der Nacht, insbesondere die Unterschiede zwischen den DWD-Stationen und dem Innenhof. Ähnliche

Ergebnisse wurden von Fenner et al. (2015) erzielt, die ebenfalls die Unterschiede zwischen innerstädtischen und eher ländlichen Temperaturen während der Nacht hervorheben und erklären, dass der Wärmeinseleffekt ein nächtliches Phänomen ist und sich stärker bemerkbar macht, wenn mehr bebaute oder versiegelte Flächen in der Nähe sind.

Temperatur-Amplitude

Die folgende Abbildung 30 zeigt die Temperaturamplitude für den 8. August 2020 (wärmster Tag). In diesem Fall wurde die Amplitude anhand der 10-Minuten-Maximum-Daten abzüglich der 10-Minuten-Minimum-Daten berechnet.

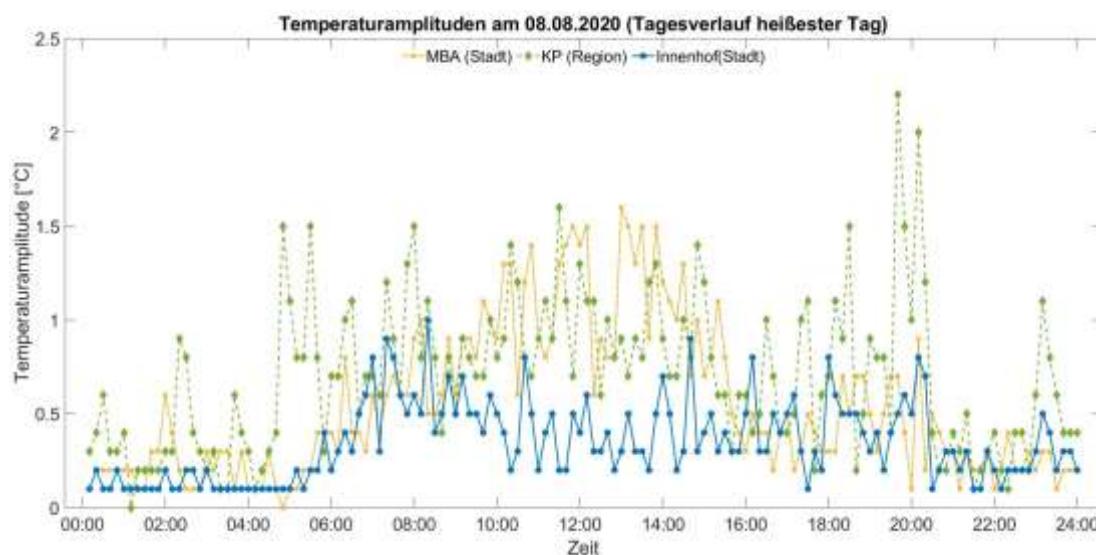


Abbildung 30: Temperaturamplitude am 8. August 2020 für die Stationen Innenhof (blau) verglichen mit den Stationen im Stadtgebiet Kattenbrookspark (KP) und Marianne-Baecker-Allee (MBA).

Das Diagramm verdeutlicht, dass die Unterschiede zwischen Maximal- und Minimaltemperaturen im Innenhof tagsüber (~08:00 bis 16:00 Uhr) nicht so stark variieren wie im Stadtgebiet (KP und MBA). Darüber hinaus zeigt die Abbildung, dass die Temperatur im Innenhof eine flachere Kurve aufweist, während die Amplituden in MBA während der Nacht niedrig und um die Mittagszeit höher sind. Die Werte für KP weisen während des gesamten Messzeitraums einige hohe Spitzenwerte auf. Auch nach Bundesministerium für Umwelt et al. (2015, S. 98) sind „[...] mehrere kleinere über das Stadtgebiet verteilte Grünflächen wirksamer als wenige große Parks“.

2.3.3 Ergebnisse Drohnenmessung: Oberflächentemperaturen blauer und grüner Innenhof

In Abbildung 31 sind für einen blauen und einen grünen Innenhof in Hannover jeweils Luftbilder (a1, a2) und Infrarotbilder (b1, b2) als Ergebnis der Dronenmessungen dargestellt. Es zeigt sich, dass die Dächer eine hohe Oberflächentemperatur von etwa 50 °C (blauer Innenhof) bzw. 68 °C (grüner Innenhof) aufweisen. Im blauen Innenhof schwanken die Temperaturen an der Oberfläche zwischen 22 °C und 28 °C, wobei die schattigen Bereiche im Hinterhof die niedrigsten Temperaturen aufweisen, während die in der Sonne liegenden Flächen höhere Temperaturen aufweisen. Im Vergleich liegt die Oberflächentemperatur der nahegelegenen Straße bei ca. 40 °C auf. Im grünen Innenhof liegen die Temperaturen des Hofbodens zwischen 26 °C und 42 °C. Die Baumoberfläche in der Mitte weist eine Temperatur von 33,6 °C auf, und der schattige Bereich zeigt eine Temperatur von etwa 26 °C. Unerwartet hoch war die Temperatur der Rasenfläche.

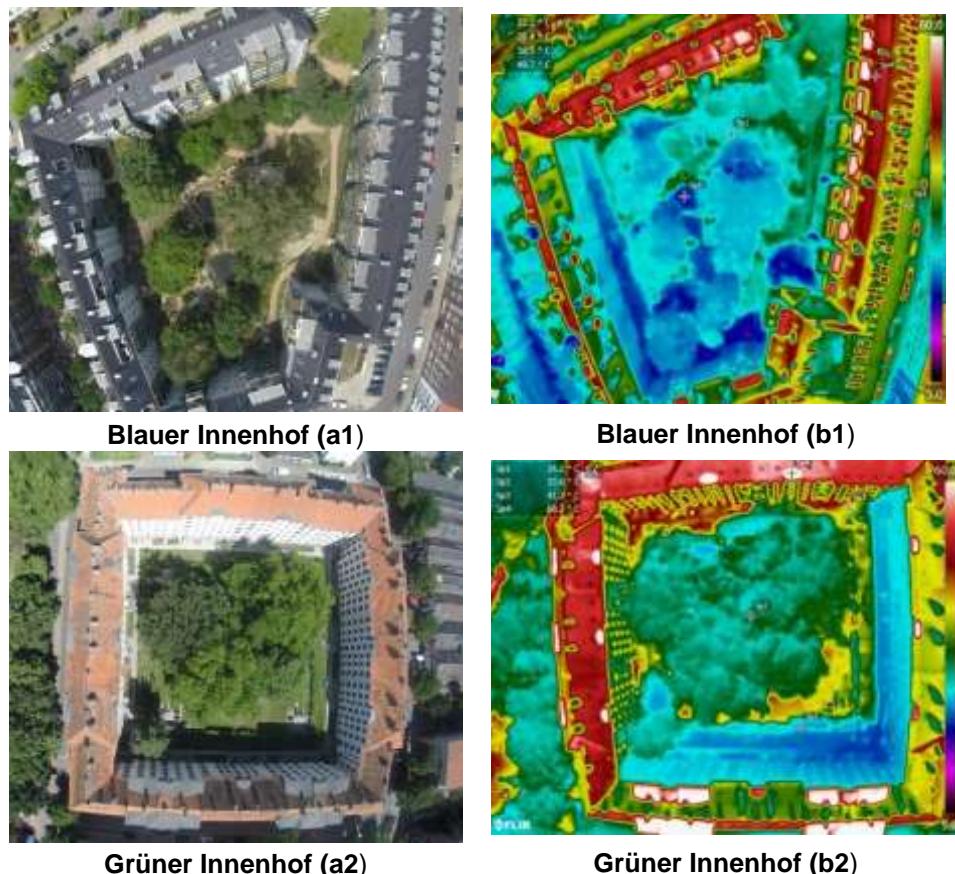


Abbildung 31: Vergleich zwischen Luftbild (a1, a2) und Infrarottbild (b1, b2) für einen blauen und grünen Innenhof (Institut für Meteorologie und Klimatologie (IMuK), Meusel, G. 2020).

Abbildung 32 zeigt für den blauen und grünen Innenhof jeweils die berechnete potenzielle Temperatur ($^{\circ}\text{C}$), die gemessenen Temperaturen ($^{\circ}\text{C}$) und die relative Luftfeuchtigkeit (%) als vertikales Profil.

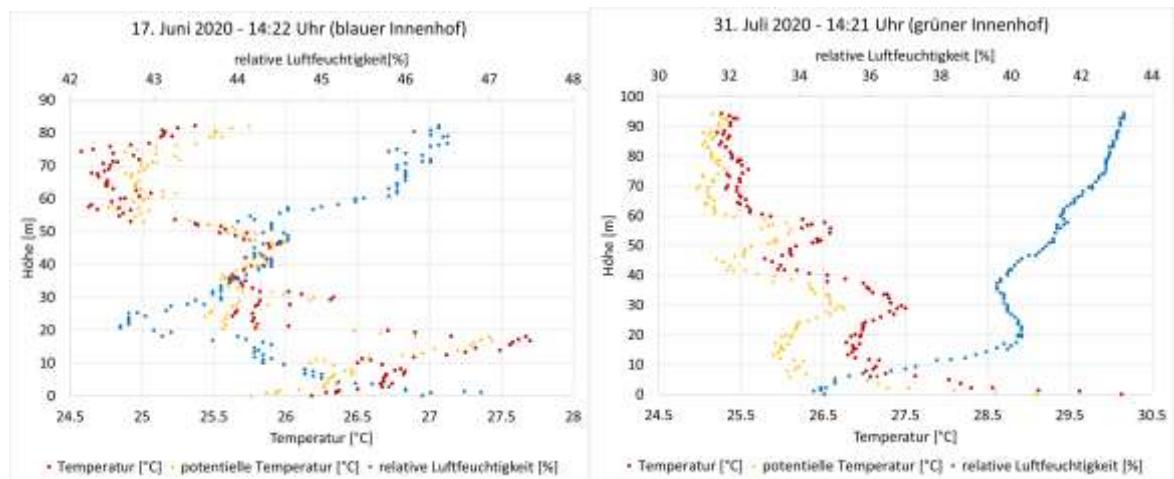


Abbildung 32: Ergebnisse der vertikalen Sondierung im blauen (links) und grünen (rechts) Innenhof (Institut für Meteorologie und Klimatologie (IMuK), Meusel, G. 2020). (gelb = potentielle Temperaturprofil, rot = Temperaturprofil, blau = Feuchtigkeitsprofil).

Bei der relativen Luftfeuchtigkeit zeigt sich bei dem blauen Innenhof ein Rückgang innerhalb von 20 m von 46 % auf 42,6 %. Der Verlauf der Temperatur verläuft dagegen in den ersten 20 m genau umgekehrt, so dass ein Anstieg von ca. 26,2 °auf. 27,2 °C zu verzeichnen ist.

Die potenzielle Temperatur weist ein ähnliches Muster auf. Meteorologen bezeichnen dieses Phänomen der Temperaturumkehr als "Inversion" des Temperaturprofils, die laut DWD nachts auf eine autochthone Wetterlage am Tag folgen kann.

Beim grünen Innenhof zeigt sich innerhalb der ersten 20 m, dass die potenzielle Temperatur von ca. 30 °C auf ca. 27 °C sinkt. Bis zu einer Höhe von 30 m misst die Drohne ein oszillierendes Temperaturprofil mit einem Anstieg auf ca. 27,4 °C, einem Rückgang auf ca. 25,8 °C in 45 m Höhe und einem erneuten Anstieg auf ca. 25,5° in 65 m Höhe, der bei einer Temperatur von 25,6 °C in 70 m Höhe endet. Die relative Luftfeuchtigkeit beginnt bei etwa 34,7 % in Bodennähe, steigt auf ca. 40,2 % in 20 m Höhe und dann auf 42,8 % in 80 m Höhe.

Die Profile zeigen den Unterschied zwischen Gras/trocken (grüner Innenhof) und dem begrünten mit Wasser (blauer Innenhof). Es wird deutlich, dass sich eine konvektive "Wetterlage" einstellt, so dass es unten am Boden kühler als oben ist und damit ein guter Nutzen zur Reduzierung von Hitzebelastungen einstellt. Zudem wird deutlich, dass es einen durch die Bebauung nahezu abgegrenzten Klimaraum gibt, in dem gute Wirkung von kleinen Maßnahmen erreicht werden kann. Der methodische Ansatz zur Integration von BGI in die Stadtplanung über Musterplanungen scheint daher vielversprechend (siehe Abschnitt A.II, Kap. 0 sowie Strategiekomponente A.III „Institutionalisierung“)

2.3.4 Ergebnisse Simulation

Die vorrangige Fragestellung für die Durchführung der PALM-Simulation der Innenhöfe in der Südstadt war, wie sich blaue und grüne Maßnahmen, insbesondere Gewässer, auf die umgebenden Bereiche der Atmosphäre (Kleinklima) auswirken. Für die Analyse wurden zwei Zeitpunkte der 40 simulierten Stunden ausgewählt: 14:00 Uhr MESZ für die Bedingungen am Tag und 04:00 Uhr MESZ für die Bedingungen in der Nacht. Die Tageszeit wurde nach 14 Stunden Simulation und die Nachtzeit nach 28 Stunden Simulation gewählt, weil zu diesem Zeitpunkt der Einfluss der klimatischen Bedingungen des Vortages wirksam wird. Die erste Nacht (nach 4 simulierten Stunden) war noch zu sehr von der Initialisierungs- und Einschwingphase des Modells geprägt.

Abbildung 33 zeigt die Oberflächentemperatur während der Tages- und Nachtzeit und damit wie differenziert dieser Parameter in PALM auf die verschiedenen Landoberflächen reagiert.

Tagsüber sind die heißesten Stellen mit etwa 75 °C bis über 85 °C auf den Dächern zu finden, da diese Flächen direkt der Sonne ausgesetzt sind. Die niedrigsten Oberflächentemperaturen von weniger als 20 °C sind in den schattigen südlichen Teilen der Höfe zu finden. Darüber hinaus weisen die Teiche im untersuchten blauen Hof das Temperaturminimum während des Tages auf, wie es sich aus den Eingabeparametern ergibt. Diese im Vergleich zu den anderen Flächen niedrige Tagestemperatur weist auch auf das Entlastungspotenzial der Gewässer hin. Bäume oder Rasenflächen stellen ebenfalls ein Entlastungspotenzial dar, das tatsächliche Potenzial von Bäumen kann jedoch nicht durch die Oberflächentemperatur dargestellt werden, da der Ausgangsparameter dieser Größe die Oberflächentemperatur von oben gesehen beschreibt, d. h. die Oberflächentemperatur der Baumkrone und nicht die des schattigen Bereichs unter dem Baum.

Im Gegensatz zum Tag sind die Dachflächen in der Nacht die kühlssten Flächen. Die Bürgersteige wirken aufgrund ihrer hohen Wärmekapazität als Wärmequellen. Die Teiche im Innenhof stellen nachts ebenfalls Wärmequellen dar. Die Auswirkungen dieser warmen Oberflächen sowie der entlastenden Elemente auf die meteorologischen Parameter während der Nacht werden im nächsten Projektschritt (Verstetigungsprojekt **TransKOM**) quantifiziert. Weitere Ergebnisse und Grafiken sowie Erläuterungen sind in Abschlussberichtsteil B 2.10 zu finden.

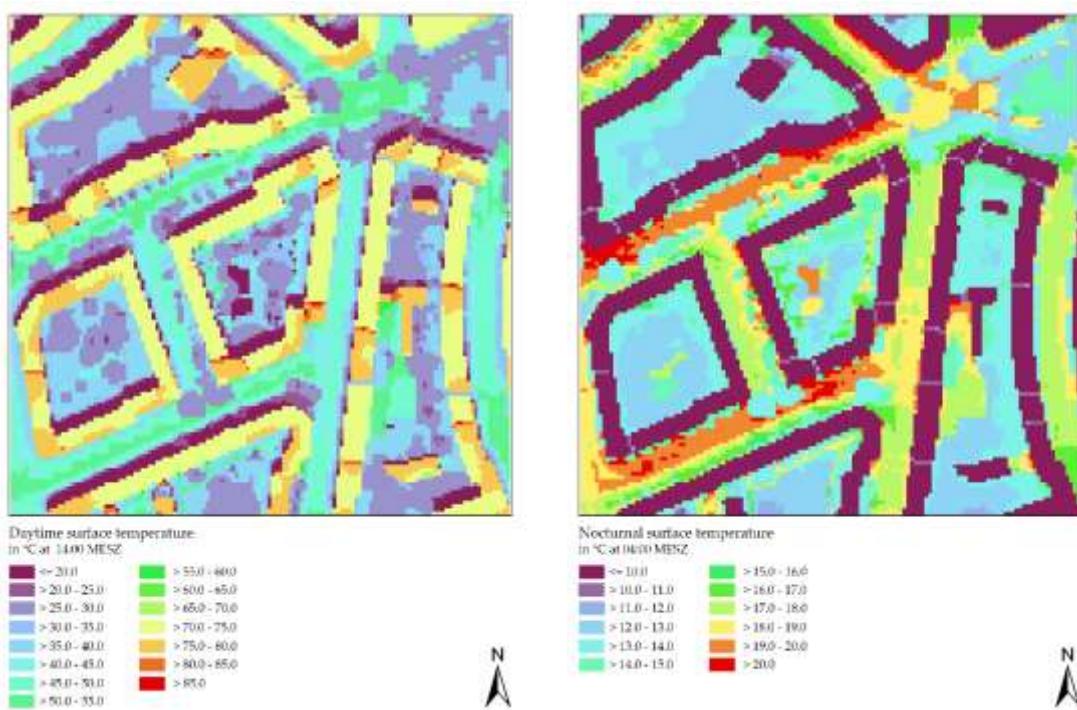


Abbildung 33: In PALM-4U modellierte Oberflächentemperaturen für die verschiedenen Landoberflächenklassifikationen um 14:00 MESZ (links) und während der Nacht um 04:00 MESZ (rechts). Quelle: GEO-NET Umweltconsulting GmbH (2021)

2.3.5 Zusammenfassende technische Bewertung

Um ihre Wirkung voll entfalten zu können ist für nahezu alle BGI-Elemente (Moos, Hinterhofbegrünung, Teiche, Urban Gardening) die Aufrechterhaltung ihrer „Leistung“ durch ausreichende Wasserbereitstellung in den Sommermonaten notwendig. Der Einfluss auf die Verdunstung, verzögerten Abfluss und Versickerungsleistung wurde in Modellstudien als sensitiv identifiziert und sollte zukünftig in Szenarienbetrachtungen über Abminderungsfaktoren berücksichtigt werden. Der Einfluss einer BGI-ausgerichteten Hinterhofgestaltung zeigte, dass insbesondere die Wasserelemente für eine Dämpfung der Temperaturkurve sorgen, mit einer früheren Abkühlung in den Abendstunden, auch wenn das Nachtminimum etwas höher liegt. Maximalen Einfluss auf die Höhe der Tagestemperatur hat aufgrund des geringen Luftaustauschs im Hinterhof die Beschattung und die geringere Strahlungsabsorption durch grüne Elemente. Aber auch für die Tagesstunden wirken die Wasserelemente dämpfend.

3. Wasserbedarf und Bereitstellung von Niederschlagswasser für BGI

Maike Beier¹, Jessica Gerstendörfer¹, Greta Hadler¹, Stefan Köster¹, Imke Sperling², Uwe Klaus³

¹ Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Leibniz Universität Hannover, Forschungsfeld Abwasser und Wassermanagement

² Spar- und Bauverein eG

³ aquaplaner Ingenieurgesellschaft für Wasserwirtschaft | Umwelt | Abwasser, Hannover

Klimaangepasste Stadtplanung heißt im Konzept der qbTE multifunktionale Infrastruktur bereitzustellen, die bei den jahreszeitlich sich stark verändernden Herausforderungen flexibel genutzt werden können. Hierbei reicht es zukünftig nicht mehr, Planungen auf Jahresbilanzen aufzubauen (vgl. auch A.I, Kap. 2). Durch das Konzept der qualitätsbasierten Trennungswässerung wird zwar zusätzliches Wasser in den Städten bereitgestellt, die blau-grünen Infrastrukturen sind aber auch selbst relevante Wasserverbraucher, wenn die blau-grünen Elemente ihre Funktion auch oder gerade im Sommer behalten sollen. In diesem Zusammenhang ist zukünftig mit der Planung konkret zu beschreiben, welchen Funktionsumfang die blau-grünen Infrastrukturen im Quartierskontext aufweisen sollen. Damit ließe sich zum Zwecke der Bestimmung des Wasserbedarfs auch festlegen, bis wohin bspw. die Bewässerung der Elemente der blau-grünen Infrastrukturen gedrosselt werden könnte, ohne deren Bestand zu gefährden bzw. Service- und Funktionseinbußen z. B. bei der Bekämpfung von urbanen Hitzeinseln in Kauf zu nehmen. Im Rahmen von TransMiT wurden zunächst mit Blick auf die Bewertung der Leistung „Bereitstellung der Ressource Wasser“ im Rahmen der strategischen Quartiersplanung die Zielgrößen des Quartiers-Wasserhaushaltes und das Vorgehen einer hierauf ausgerichteten Potentialanalyse untersucht. Ein mögliches Konzept zur Nutzung der Ressource Wasser runden diesen Teilaспект ab. „Urban Gardening“ als aktueller urbaner Stadttrend wurde als grünes Element beispielhaft auf die anzusetzenden Wasserbedarfe hin untersucht im Rahmen einer zweiten grünen Hinterhofgestaltung diesmal bei der Wohnungsgenossenschaft spar&bau. Die für die Erstellung eines klimaangepassten, wasserwirtschaftlichen Leitbilds notwendige Vorbereitung einer quartiers- oder stadtbezogenen Wasserbewirtschaftung (Verteilungs- und Bewirtschaftungskonzept auf Quartiersebene) wird im Folgeprojekt TransKOM in AP 1.4 aufgegriffen.

Kernaussagen

- Zur Bewertung der Leistungsgröße „Bereitstellung von Wasser im Quartier“ sind Zielgrößen aufbauend auf den Quartierspotentialen und dem lokalen Wasserhaushalt zu definieren
- Die lokale Wassernutzung wird im Konzept der qbTE (oder auch der Schwammstadt) als wichtiger Baustein mitgeführt, ist aber bis heute technisch nicht ausreichend ausgestaltet.
- Mit Blick auf zunehmende Trocken- und Hitzeperioden ist es für den Funktionserhalt der blau-grünen Infrastruktur unverzichtbar, eine aus der Schwammstadt selbst generierte komplettäre Wasserversorgungskomponente zu entwickeln und in die Umsetzung zu bringen. Hierfür

muss der Wasserbedarf der BGIs bekannt sowie die zu betrachteten Wasserqualitätsparameter definiert sein.

- *Wenn diese Versorgungskomponente qualitätsgesichert weitere städtische Wasserbedarfe bedient, wird der wasserwirtschaftliche Dienstleistungsumfang der Schwammstadt sogar noch erhöht.*
- *Erst durch die Festlegung des Wasserbedarfs und der Qualitätsanforderungen einzelner BGIs kann ein entsprechendes Bewirtschaftungskonzept für die Nutzung von (Niederschlags-) Wasser im Stadtquartier umgesetzt werden.*
- *Ein qualitätsgesichertes und entgeltfähiges Wasserprodukt stellt ein Upgrade der siedlungswasserwirtschaftlichen Dienstleistungen dar und gestattet perspektivisch eine wahrnehmbare Entlastung des städtischen Haushalts und kann sogar Grundlage eines Geschäftsmodells in der klimaangepassten Stadt werden.*
- *Mit Blick auf die Nutzung sind Vermischungen mit Schmutzwasser ebenso wie Verschmutzungen dieser wichtigen Ressource durch lokale Maßnahmen im Quartier zu verhindern z. B. durch Vorgabe von Baumaterialien mit geringer Emission oder durch Einrichtung von Wasserschutzonen, in denen die Oberflächennutzung im Hinblick auf die Wasserqualität begrenzt wird.*
- *Urban Gardening wird durch die Stadtbewohner positiv angenommen und hat eine deutliche Wohlfahrtswirkung. Der Wasserverbrauch ist im Vergleich zum kommerziellen Anbau höher führt aber parallel auch zu einer erhöhten Verdunstungsleistung vor Ort.*

3.1 Wasserhaushalt und -bedarf im Quartier

Die übergeordnete Zielsetzung der integralen Siedlungsentwässerung muss laut DWA A 100 (2006) sein, „die Veränderungen des natürlichen Wasserhaushaltes durch Siedlungsaktivitäten in mengenmäßiger und stofflicher Hinsicht so gering zu halten, wie es technisch, ökologisch und wirtschaftlich vertretbar ist.“ Auch die Ziele für nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goals, SDGs) der Vereinten Nationen sehen einen nachhaltigeren Umgang mit Ressourcen wie Wasser und Fläche vor (UNRIC - Regionales Informationszentrum der Vereinten Nationen o.D.).

Aus ökologischen Gründen wird daher bei der Erschließung von Flächen angestrebt, hinsichtlich Verdunstung, Versickerung und Abfluss die Verhältnisse im bebauten Zustand an die natürlichen Verhältnisse anzugeleichen. Im natürlichen Zustand kommen etwa 2/3 des Niederschlagswasser zur Verdunstung, bis zu 30 % tragen durch Versickerung zur Grundwasserneubildung bei und etwa 5 % fließen (bei Starkregen) durch oberflächigen Abfluss direkt Gewässern zu (siehe Abbildung 34). Wo eine Bebauung oder Befestigung notwendig ist, muss deshalb - wenn möglich - die Vermeidung oder zumindest die Verminderung von Abflüssen angestrebt werden. Darüber hinaus sollte abfließendes Regenwasser möglichst oberflächennah abgeleitet und dezentral versickert werden.

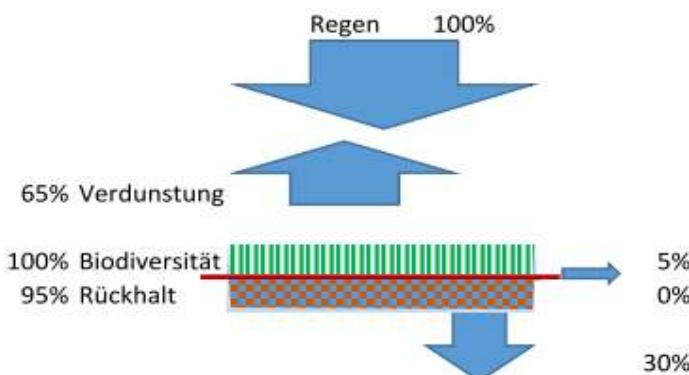


Abbildung 34: Wasserbilanz im natürlichen Zustand [eigene Darstellung, aquaplaner]

Im Rahmen der Bebauung kommt es durch Versiegelung zur Verminderung des Verdunstungsanteils und zur Erhöhung des Abflusses. Die Nutzung von Niederschlagswasser im Rahmen Blau-Grüner Infrastrukturen ist von Bedeutung, um den Anteil verdunsteten Niederschlags – möglichst auf das natürliche Maß - zu erhöhen. Hierzu stehen unterschiedliche Strategien zur Verfügung:

- Reduktion der Versiegelungswirkung; z. B. durch Begrünung von Dächern oder Flächenbefestigung mit Schotterrasen statt Asphalt.
- Schaffung alternativer Verdunstungsflächen, wie z. B. Begrünung von Fassaden, Spalieren oder einer Pergola
- Erhöhung der Verdunstungsleistung von an versiegelte Flächen angrenzenden Grünflächen, indem deren Wasserversorgung verbessert wird, z. B. durch Zuleitung von Niederschlagswasser zu begrünten Versickerungsmulden oder durch Bewässerung von Grünflächen mit gespeichertem Regenwasser.
- Schaffung von Wasserflächen in an versiegelte Flächen angrenzenden Grünflächen, deren Verdunstungshöhe größer ist als die von Grünflächen.

Die Wirksamkeit der Maßnahmen ist dabei jeweils vom Speichervermögen abhängig. Während bei einer extensiven Dachbegrünung mit 2 % Gefälle der Verdunstungsanteil etwa 50 % beträgt, können bei einem begrünten 0 %-Gefälle-Dach mit Einstaumöglichkeit oder bei einer intensiven Dachbegrünung 90 % des Niederschlags verdunsten.

Regenwassernutzungsanlagen werden bisher auf einen Deckungsgrad von 80 % ausgelegt, so dass 80 % des Wasserbedarfs über Regenwasser und 20 % über Trinkwassernachspeisung gedeckt werden. Höhere Deckungsgrade sind nur mit überproportional vergrößertem Speichervolumen realisierbar und daher wirtschaftlich nicht realisierbar. Vor diesem Hintergrund kann mit Regenwassernutzungsanlagen wie sie zurzeit dimensioniert werden zwar der Trinkwasserverbrauch zur Bewässerung deutlich reduziert werden, jedoch keinen Beitrag zur Reduzierung von Hitzestress bei längeren Trockenphasen geleistet werden. Mit Blick auf die Regenwasserbewirtschaftung in einer Schwammstadt ist festzuhalten, dass es Infrastrukturen, die das aufgefangene und gespeicherte Regenwasser wirklich und über größere Räume bzw. einen größeren (Quartiers-)Radius nutzbar machen würden, noch nicht gibt. Ein maßgeblicher Grund hierfür ist, dass „die Schwammstadt zwar konzeptionell und funktional umfassend beschrieben ist, aber ihre Umsetzung durch fehlende Transformationspfade für bestehende Städte und Stadtquartiere sowie durch unzureichend ausformulierte Bewirtschaftungsansätze behindert wird“ (Köster 2022).

Im Rahmen der in **TransMiT** angestrebten smarten Nutzung vorhandener grauer Infrastruktur sollen durch multifunktionale Nutzung weiterer Speicherraum im Stadtraum bereitgestellt werden. Hierzu zählen Rückhalteraum, der im Rahmen der Starkregenvorsorge ausgebaut wird, aber auch Regenwasserkanäle, die durch eine auf Speicherung ergänzte Regelung durch Schieber zwischen den verschiedenen Haltungen zu Speichern umfunktionsiert werden. Konzeptionelle Vision ist die Implementierung und Bewirtschaftung von dezentralen Zisternen/Speichern unter Nutzung der vorhandenen Infrastruktur der Regenwasserkanalisation. Eine bedarfsoorientierte Bewirtschaftung des Niederschlags- und Abwassers erfordert die verstärkte Vernetzung und teilweise gezielte Beeinflussung von hoch dynamischen und komplexen Prozessen (z. B. variabler Anfall und Qualität von Niederschlagswasser verknüpft mit schwankendem Stadtwasserbedarf). Dafür ist eine adäquate Charakterisierung der Einzelsysteme und Identifikation von Prozesszusammenhängen erforderlich. Dabei kann im weiteren Sinn kann z. B. auch die Versickerung von Regenwasser in Kombination mit Brunnen zur Bewässerung als Regenwassernutzung betrachtet werden. Hierbei erfolgt die Speicherung deutlich kostengünstiger im oberflächennahen Grundwasser, indem zunächst die Grundwasserneubildung im Vergleich zum natürlichen Zustand deutlich erhöht und ein Teil davon bei Bedarf im Sommer durch Bewässerung zur Verdunstung gebracht wird.

Der Bedarf an Bewässerungswasser für die grüne Infrastruktur ist abhängig vom Wetter, der Bepflanzung und des Bodens sehr unterschiedlich und muss immer lokal berechnet werden (Ansätze für die Verdunstungsleistung von Grünflächen z. B. 220 mm/a, zusätzlich für Versickerungsmulden 250 mm/a und für Wasserflächen 330 mm/a) und es ist eine nach Monaten differenzierte Betrachtung erforderlich.

Beispiel Hannover (siehe Tabelle 7):

- Im langjährigen Mittel ist von 1990 bis 2021 mit durchschnittlich etwa 115 mm pro Jahr auszugehen. Das entspricht 115 Liter / ($m^2 \cdot a$).
- Die mittlere potentielle Beregnungsbedürftigkeit wird aus Beobachtungsdaten mit 77 induzierte Verdunstung z. B. der Grasflächen ein Defizit von 229 mm und für die zusätzliche Verdunstung der Wasserflächen von 293 mm.

Tabelle 7: Abschätzung des Bewässerungsbedarfs am Beispiel Hannover

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr	Sommer	Winter	Quelle
1 Niederschlag Hannover 1992-2021	53	42	45	36	53	53	68	67	51	57	51	54	630	329	302	wetterkontor.de
2 Verdunstung Grünland über Sand	9	12	28	50	60	66	64	58	41	29	11	8	436	339	97	DWD 2013
3 Verdunstung Gras Prognose 2020-2050	13	15	31	63	97	109	107	112	70	45	18	13	692	558	134	DWD 2013, korrigiert nach LBEG 2022
4 Verdunstung Wasserfläche (penman)	13	19	44	75	114	129	128	110	71	38	19	12	772	627	145	DWD atlas verdunstung 30a bs
5 zusätzliche Verdunstung Mulden	4	3	3	13	37	43	43	54	29	16	7	5	256	219	37	berechnet Zeile 3 - Zeile 2
6 zusätzliche Verdunstung Wasserflächen	4	7	16	25	54	63	64	52	30	9	8	4	336	288	48	berechnet Zeile 4 - Zeile 2

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr	Sommer	Winter	Quelle
Niederschlag Hannover 1992-2021	53	42	45	36	53	53	68	67	51	57	51	54	630	329	302	
Defizit Grünland über Sand				14	7	13						34	34	0		
Defizit Gras [nach Haude]				14	24	34	17	22	5				115	115	0	
Defizit Gras Prognose 2020-2050				27	44	57	38	45	19				229	229	0	

Aus den Abschätzungen zur zukünftigen Verdunstung wird der Bewässerungsbedarf von Grünflächen mit 220 mm/a angesetzt. Im Vergleich zu Grünflächen wird die zusätzliche Verdunstung von Versickerungsmulden mit 250 mm/a und die zusätzliche Verdunstung von Wasserflächen mit 330 mm/a angesetzt.

Die Einbindung von grünen Elementen im Zuge der Hitzevorsorge im urbanen Quartier ist Stand der Technik. Hitzepläne zeigen deutlich die positive Wirkung städtischen Grüns durch Beschattung, Verringerung der Wärmespeicherung sowie Abkühlungseffekte durch Verdunstung und induzierte Kaltluftströme. Beispielsweise durchgrünte Hinterhöfe zeigen ein gegenüber versiegelten Flächen hohes Abkühlungspotential, aber eben nur bei funktionalem Grün, d. h. bei entsprechend guter Wasserversorgung (vgl. A.II, Kap. 2.3). Im Zuge der Transformation zu einer Schwammstadt mit einem wachsenden und zunehmend vernetzten Mosaik blau-grüner Elemente wird damit der Wasserbedarf sukzessive steigen. Beispielsweise sind in der Stadt Hannover die Bewässerungskosten seit 2018 von 50.000 Euro auf mittlerweile über 220.000 Euro im Jahr gestiegen (NuTree).

In **Fehler! Ungültiger Eigenverweis auf Textmarke.** sind zusammenfassend essentielle urbane Wasserbedarfe aufgeführt, deren Deckung keine Trinkwasserqualität erfordert und die daher durch eine Bereitstellung von qualitätsgesichertem Regenwasser abgedeckt werden können. Weitere Hinweise zur Deckung des Wasserbedarfs im Kontext einer klimaangepassten Stadt finden sich in Köster und Beier (2023).

Tabelle 8: Übersicht über Wasserbedarfe, die durch qualitätsgesichertes Regenwasser gedeckt werden können - aus (Köster und Beier 2023)

Maßnahme	Abnehmer
Bewässerungswasser	<ul style="list-style-type: none"> Urbane Nahrungsmittelerzeugung Bewässerung Park-, Grünanlagen und einzelne Bäume Bewässerung von Bepflanzung an und um Straßen Wohngebäude: Gründach-/Fassadenbewässerung/Garten- und Hofbewässerung Versorgung von Kleingartenkolonien
Stadt-/Quartierskühlung	(unter Umständen einhergehend mit Bewässerungsmaßnahmen) Wasserspiele oder temporäre Wasserkörper zur Reduzierung des <i>Urban Heat Island Effect</i>
Städtische Reinigungsmaßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> Straßenreinigung Reinigung Kanalisation Staubkontrolle
Sonstige	<ul style="list-style-type: none"> Bereitstellung von Wasser zur Speisung urbaner Gewässer Alimentierung urbaner Habitate

3.2 Stadtwasser – eine komplementäre Wasserversorgungsinfrastruktur im Kontext qbTE

Zum Schutz der knappen Ressource „Trinkwasser“ und um den Selbst- und Funktionserhalt der blau-grünen Infrastruktur und dies insbesondere während Hitze- und Trockenphasen aus sich selbst heraus gewährleisten zu können (sozusagen das wasserneutrale Stadtquartier), ist eine komplementäre Wasserversorgungskomponente erforderlich, mit der stadtweit qualitativer Oberflächenabfluss (Regenwasser) oder andere lokale Wasserquellen (z. B. Grundwasserhaltung oder Kühlwasser) bei technisch und finanziell vertretbaren Aufwand nutzbar gemacht werden. Ergänzend können auch weitere bzw. steigende urbane Wasserbedarfe gedeckt werden, die eben durch die öffentliche Trinkwasserversorgung nicht in ausreichender Weise bedient werden können.

Um die Option der Regenwassernutzung im Quartier faktisch zu eröffnen, bedarf es einer getrennten Bewirtschaftung je nach Verschmutzungsgrad, wie es das Konzept der qualitätsbasierten Trennwässerung vorsieht. Dabei ist es naheliegend, sich bei einer komplementären Wasserversorgungsinfrastruktur an dem in der Trinkwasserversorgung erfolgreich praktizierten Multibarrieren-Prinzip zu orientieren:

- 1. Barriere:** Konsequenter Schutz der (Regen-)Wasserressource und Niederschläge verschmutzungsabhängig bewirtschaften
- 2. Barriere:** (Niederschlags-)Wasserversorgung: Aufbereitung und Speicherung der Niederschläge sowie Verteilung qualitätsgesicherten Wassers
- 3. Barriere:** Ausschließlich zweckgetreue Verwendung des bereitgestellten Wassers am Ort der Nutzung

Der entwickelte Ansatz zeichnet sich dadurch aus, dass die Niederschlagswasserqualität in das Bewirtschaftungskonzept auch in Hinblick auf die Nutzung und die Aufbereitung stärker eingebunden wird, sowie durch den lokalen Ansatz, das zu nutzende Wasser dort zu speichern und (nach Aufbereitung) bereitzustellen, wo es anfällt (siehe dazu Köster & Beier, 2021). Das Konzept enthält vier Qualitätsstufen über die das bereitgestellte Stadtwasser definiert wird (Abbildung 35).

Nachfolgend wird als Auszug aus der Veröffentlichung die 1. Barriere detaillierter beschrieben, da ihr Konzept unmittelbar auf einer integralen Stadt-/Quartiersplanung beruht:

Es ist festzustellen, dass die der Schwammstadt zugehörigen Elemente im Hinblick auf den Stoffrückhalt bzw. Reinigung von verunreinigtem Regenwasser in ihrer Effizienz begrenzt sind und dies auch bleiben werden. Um die Option einer Regenwassernutzung faktisch zu eröffnen, bedarf es daher der oben eingeführten getrennten Bewirtschaftung verschmutzter und unverschmutzter bzw. nur gering verschmutzter Niederschläge. In einem ersten Schritt ist das Einzugsgebiet umfassend zu analysieren. Quellen von Verunreinigungen sind zu identifizieren und es ist zu klären, ob die diagnostizierten Verunreinigungen grundsätzlich vermeidbar oder unvermeidbar sind. So könnten stark verschmutzte/verschmutzungsanfällige urbane Flächen identifiziert und gezielt aus dem Schwammstadtansatz herausgehalten werden, indem die Niederschläge von diesen Flächen nach separater Erfassung aus dem Gebiet ausgeschleust werden. Das betrifft insbesondere Niederschläge von Verkehrsflächen, die entsprechend wasserundurchlässig auszuführen sind und nach Möglichkeit an eine zentrale Reinigungsanrichtung mit hoher Effizienz angeschlossen werden (z. B. der zentralen Kläranlage).

Die empfohlene Erhebung für das Einzugsgebiet gestattet ergänzend, auf Quartierebene oder größerskalig voneinander abgegrenzte Bewirtschaftungsräume zu definieren, in denen saubere Niederschlagswasserströme anfallen. In einem nächsten Schritt wäre sogar zu erwägen, „Niederschlagswasser-Schutzgebiete“ einzurichten, in denen das gesammelte Niederschlagswasser besonders gute „Rohwasserqualität“ aufweist. Ein solcher Schutzstatus sollte die Möglichkeit umfassen, gewisse Handlung bzw. Einleitungen für nicht oder nur eingeschränkt zulässig zu erklären (z. B. keine Verkehrsflächen, kein motorisierter Verkehr, aber auch die Untersagung der Verwendung von Baumaterialien wie Zinkdächer oder biozidhaltige Fassaden). Kabisch et al. (2021) zeigen am Beispiel der Stadt Hildesheim, welches nennenswerte Mengenpotential an unverschmutzten Niederschlägen im städtischen Kontext gegeben ist und welche positiven Effekte sich durch eine qualitätsorientierte Niederschlagsbewirtschaftung insbesondere im Hinblick auf die Behandlung verschmutzter Niederschläge sowie auf die Häufigkeit von Mischwasserentlastungen ergeben können. Resultierend steht die erste Barriere für ausschließlich gutes „Niederschlags-Rohwasser“.

Wie die jüngsten Starkregen- und Hochwassererfahrungen des Sommers 2021 nachdrücklich zeigten, bedarf es neben der oben beschriebenen Einrichtung, weiterer Schutzkonzepte dieser Schutzzonen mit speziellem Bezug zu Starkregenereignissen. Das Ziel eines sehr robusten Überflutungsschutzes umfasst insbesondere die Ausweisung und Herstellung multifunktionaler Flächen und Einstaugebiete sowie die Schaffung von zusätzlichen Möglichkeiten eines „geordneten“ oberflächigen Abflusses unter Extrembedingungen ohne Vermischung mit bereits gespeicherten, sauberer oder der zentralen Reinigung zugeleiteten starkverschmutzten Teilströmen. Dies können u. a. Notwasserwege an der städtischen Oberfläche sein und sollten in der Starkregenvorsorge berücksichtigt werden.

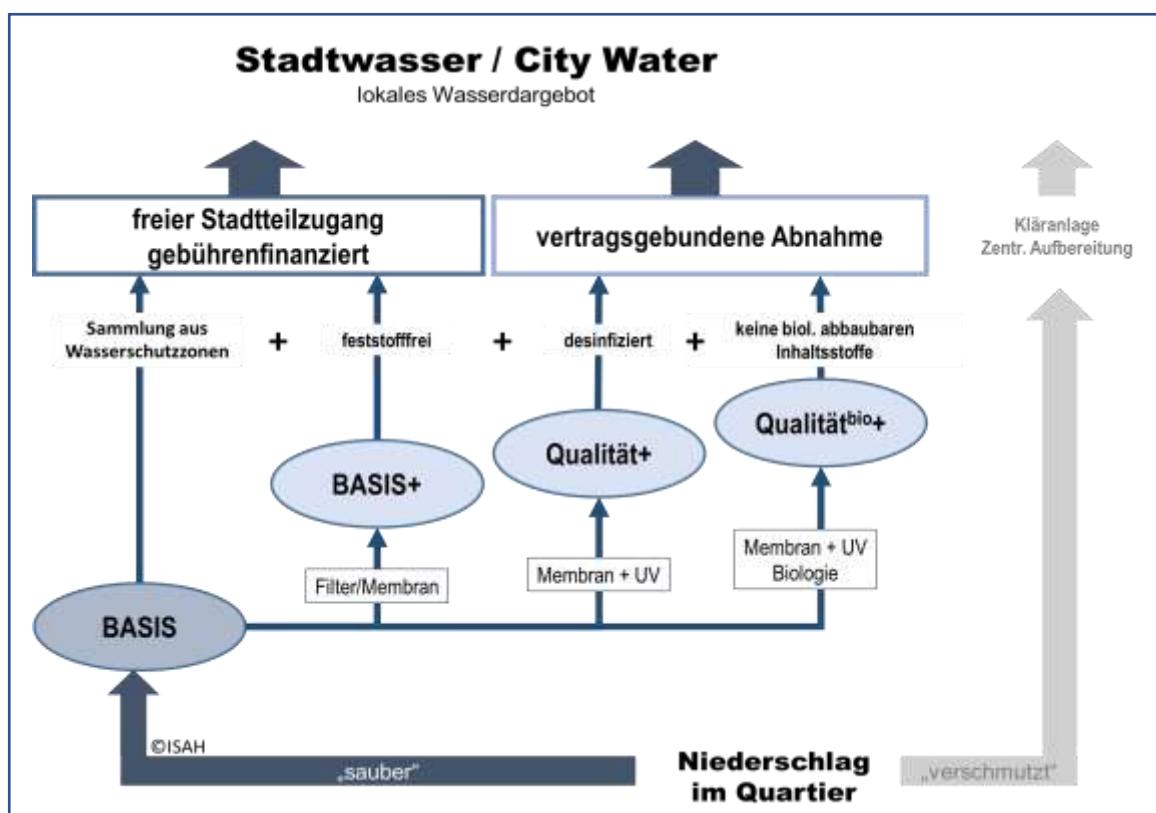


Abbildung 35: Vier Qualitätskategorien für Stadtwasser [Köster und Beier, 2021]

3.3 Wasserbedarf am Beispiel von Urban Gardening Projekten

Die Schaffung von Urban Gardening Flächen in dicht bebauten Quartieren stellt eine mögliche und gerade im Trend liegende Alternative für asphaltierte Flächen und Innenhöfe dar. Jedoch sind die Umsetzungen in dicht bebauten Quartieren flächenmäßig in der Regel so klein, dass es viele dieser Maßnahmen bräuchte, um aus Perspektive der Siedlungswasserwirtschaft einen Mehrwert darstellen zu können. Das Optimierungspotential von unversiegelten Flächen ist gering – der große Bedarf für Wasser in hoher Qualität sowie der hohe Pflegeaufwand der Beete stehen aus siedlungswasserwirtschaftlicher Perspektive einem geringen Mehrwert bei der lokalen Verdunstung entgegen.

Durch die häufig nur für kurze Zeiträume zur Verfügung gestellten Flächen im öffentlichen bzw. für die Mieter*innen gemeinsam nutzbaren Raum wird in aller Regel z. Zt. Leitungswasser für die Bewässerung der Beete genutzt, als die am einfachsten zugängliche Wasserquelle. Die Einrichtung einer Regenwassernutzung kann aus wirtschaftlicher Sicht erst empfohlen und umgesetzt werden, wenn die Länge der Genehmigung für die Errichtung von (temporären) Gebäuden ausreichend ist, um von deren Dächern das abfließende Niederschlagswasser aufzufangen und für zukünftige Bewässerungszwecke zu speichern. Auch in trockenen Jahren sind die Urban Gardening Flächen in der Stadt auf sicher verfügbare Wasserquellen angewiesen, bei temporären Flächen kommt hierbei nur Leitungs- oder aufbereitetes Grauwasser in Frage – qualitative Anforderungen der Pflanzen(-nutzung) an die Bewässerung sind zu beachten.

Im Vergleich zu den auf die Abkopplung/Retention ausgelegten BGIs, wie z. B. Versickerungsmulden, Gebäudebegrünung wie beispielsweise eine Moosfassade oder ein Gründach bietet Urban Gardening als primär genutzte blau-grüne Infrastrukturmaßnahme keine vergleichbare Alternative. Die flächenbezogenen Vorteile wie die Retentionsleistung (Abflussbeiwert) und das klimatische Verhalten (Bestandkoeffizient und Albedo) bei flächenmäßig kleinen Umsetzungen unter Berücksichtigung des finanziellen und zeitlichen Aufwands stehen in keinem Verhältnis. Daher wird empfohlen, Urban Gardening nicht in die Berechnungen für einen verbesserten Niederschlagswasserrückhalt an der Oberfläche einzubeziehen, sondern lediglich als eine blau-grüne Infrastruktur zu beschreiben und zu charakterisieren. Die Stadt hat dann zukünftig die Möglichkeit an versiegelten öffentlichen Plätzen gemeinsam mit bestehenden Urban Gardening Initiativen einen Ausbildungs- und Lernort für blau-grüne Infrastrukturen zu schaffen und lokal das Kleinklima zu verbessern.

Die Datenaufnahme in **TransMiT** erfolgte in einem ersten Schritt mit Hilfe eines umfassenden Fragebogens, der an Urban Gardening Initiativen in Hannover verteilt und mit Bezug auf Wassernutzung (Leitungswasser, Regenwasser, Grundwasser), Wasserbedarf (Herleitung aus der Art der angebauten Pflanzen) sowie potentiellen Regenwasserrückhalt auf Jahresbasis (Bezugsjahr 2019) ausgewertet wurde. Ein Jahr später erfolgte eine weitere Datenerhebung über die Wassernutzung (Bezugsjahr 2020) der bereits befragten Urban Gardening Initiativen in Hannover. Weiterhin wurden betriebliche Aspekte wie Wartung, Nutzungsverhalten und Akzeptanz der Bewohnerschaft aufgenommen. Details hierzu können in Abschlussberichts-Teil B 2.8 nachgelesen werden.

Die Umfragen-Auswertung zeigt, dass alle Projekte in den dicht bebauten Stadtteilen Leitungswasser als Hauptwasserquelle für die zusätzlich erforderliche Bewässerung nutzen. Zwei der fünf urbanen Projekte verwenden zusätzlich in geringem Umfang gespeicherte Regenwasser. Die erhobenen Daten legen nahe, dass der Median des Wasserbedarfs für die Bewässerung von Hochbeeten ($620 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, $n = 3$) mehr als dreifach so hoch ist wie für die Bewässerung von ebenerdigen Beeten ($190 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, $n = 3$). Laut Angaben der Projekte

mit Zusatzbewässerung ohne Leitungswasser konnte in den vergangenen drei Jahren während der Sommermonate der zusätzliche Wasserbedarf mit den vorhandenen Wasservorräten nicht abgedeckt werden.

Der Vergleich der Bewässerungsmengen im Jahr 2020 und 2019 verdeutlicht, dass bei ebenerdigen Beeten im Folgejahr deutlich mehr Wasser verbraucht wurde verglichen mit 2019 (Abbildung 36).



Abbildung 36: Gegenüberstellung des zusätzlichen Wasserbedarfs [in mm bzw. l/m²a] ausgewählter Projekte in den Jahren 2019 und 2020. Grün: Hochbeete mit hauptsächlich mit Leitungswassernutzung, Rot: ebenerdiger Projekte hauptsächlich mit Regen- und Grundwassernutzung, Gelb: Durchschnitt

Folgende Erkenntnisse aus der Untersuchung von Urban Gardening Projekten ergeben sich aus den Untersuchungen in TransMiT (siehe dazu auch Teil B 2.8):

- Regenwasser kann zur Bewässerung von Hochbeeten eingesetzt werden; durch eine Installation von Zisternen wird die Kanalisation entlastet; es findet eine Annäherung an den natürlichen Wasserkreislauf statt.
- Die Regenwassernutzung zur Bewässerung der Nutzpflanzen bietet eine Alternative zum Leitungswasser. Um längere Trockenphasen überbrücken zu können bedarf es jedoch ein ausreichend dimensioniertes Speichervolumen.
- Durch Abdeckungen oder geschlossene Behälterformen können Wasserverluste aufgrund von Verdunstungsprozessen reduziert werden. Zur Vermeidung der Nutzung von kontaminierten Niederschlagswasser als Bewässerung wird empfohlen die Oberflächenmaterialien der umliegenden Auffangflächen bzw. Dachflächen zu prüfen.
- Die Wahl der Nutzpflanzenart ist entscheidend für den Wasserbedarf. Somit ist es empfehlenswert Nutzpflanzen aus der Region anzubauen.
- Das Optimierungspotential von unversiegelten Flächen ist gering – der große Bedarf für Wasser in hoher Qualität sowie der hohe Pflegeaufwand stehen aus siedlungswasserwirtschaftlicher Perspektive einem geringen Mehrwert bei der lokalen Verdunstung entgegen.
- Um ein Bewässerungssystem mit Regenwassernutzung auslegen zu können, ist die Anbaufläche und die Art der Nutzpflanzen zu berücksichtigen. Des Weiteren ist die Regenwassernutzung stark wetterabhängig.

4. Hygieneaspekte bei der Nutzung von Niederschlagswasser im Quartier

Regina Nogueira¹, Urda Düker¹, Estefania Carpio¹, Kirsten Knoop¹, Jessica Gerstendorfer², Maike Beier², Ulrich Berding³

Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Leibniz Universität Hannover

¹*Forschungsfeld Mikrobiologie*

²*Forschungsfeld Abwasser und Wassermanagement*

³*planzwei Stadtplanung und Architektur GbR*

Bei der Implementierung von blau-grünen Infrastrukturelementen in Städten kommt dem Aspekt der Hygiene eine besondere Bedeutung zu. Über den Kontakt mit Oberflächenwasser und damit ggf. mit gesundheitsschädlichen Parasiten, Bakterien und Viren besteht ein anerkanntes Infektionsrisiko. Badegewässer in Deutschland werden aus diesem Grund regelmäßig auf mögliche Gesundheitsgefahren hin untersucht. Hiervon weiß man, dass nach starken Niederschlägen die Keimzahlen kurzfristig stark ansteigen – verursacht durch Mischwasserabschläge bzw. Oberflächeneinträge. Diese Einträge werden durch das Konzept der qbTE deutlich verringert, da zum einen Mischwasserabschläge grundsätzlich nicht mehr vorgesehen sind durch die konsequente Abkopplung nicht und schwach belasteter NW-Anteile und zum anderen letztere weitgehend im Quartier verbleiben und dort einer Aufbereitung zur Nutzung zugeführt werden. Gleichzeitig steigt aber auch das potentielle Risiko durch die gezielte Kreislaufführung und angestrebte Nutzung dieser Wässer durch i) den vermehrten Kontakt der Menschen mit diesen Wässern ii) die gezielte Einrichtung von Verdunstungselementen (freie Oberflächen, ggf. Aerosole) und iii) die im Rahmen der nutzungsorientierten Speicherung längeren Verweilzeiten, die je nach Speicherbedingungen ggf. mit einer zunehmenden Verkeimung einhergehen.

Für die Planung (Gestaltung und Aufstellort der blauen Elemente und Speicher) sowie den Betrieb der BGI (Auswahl der genutzten Teilströme, ggf. notwendige Aufbereitung und Risikoeinordnung/Überwachung) bedarf es einer Methode der Risikoeinordnung die in TransMiT mit der Quantitativen mikrobiellen Risikoanalyse (QMRA) ausformuliert (Kap. 4.1 und 4.2) und für den urbanen Bereich an ausgewählten Fragestellungen angewendet wurde (Kap. 4.3). Kapitel 4.4 zeigt betriebliche und planerische Ansatzpunkte auf.

Kernaussagen

- *Erst durch die Identifikation des Wasserbedarfs und der Festlegung von Qualitätsanforderungen für blau-grüne Infrastrukturelemente kann ein Bewirtschaftungskonzept für die Nutzung von Niederschlagswasser im Stadtquartier umgesetzt werden.*
- *Bei der qbTE wird die Bereitstellung eines großen Wasservolumens für die Nutzung im Quartier angestrebt, wodurch die Nutzenbewertung von blau-grüner Infrastruktur vor die Bewertung der Abkopplungswirkung rückt.*
- *Für die Nutzung von Niederschlagswasser im Quartier ist ein tolerierbares Infektionsrisiko für grüne Wasserelemente in der Stadt vorzugeben, entsprechende Gefährdungsbeurteilungen je BGI zu erstellen und in Gestaltung und Betrieb der Elemente zu berücksichtigen.*
- *Die quantitative mikrobiologische Risikobewertung ist eine geeignete Methode zur Abschätzung des Risikos von BGIs im Stadtquartier.*

4.1 Methodik der quantitativ mikrobiellen Risikoanalyse (QMRA)

An der Oberfläche abfließendes Regenwasser kann durch Tiere und Menschen mikrobiell verunreinigt werden und bei Kontakt mit dem Menschen ein Gesundheitsrisiko durch Infektionskrankheiten darstellen. Das Vorhandensein verschiedener Pathogene einschließlich Escherichia coli, Salmonella spp., Campylobacter spp., Cryptosporidium spp. wurde im gesammelten Regenwasser bereits festgestellt (WASO 2016). Im Allgemeinen kann ein Gesundheitsrisiko durch Krankheitserreger durch Inhalation kontaminiert Wassertropfen sowie Verschlucken oder Hautkontakt entstehen. Zu den Referenzpathogenen, die in Industrieländern bei der Verwendung von Niederschlagswasser zu berücksichtigen sind (LYE 2009, SCHOEN AND GARLAND, 2017) gehören die o. g. Bakterien sowie die Viren Adenovirus, Enteroviruses, Norovirus, Rotavirus. Die Methode der quantitativen mikrobiologischen Risikobewertung dient dem Abschätzen eines Risikos durch unmittelbares Ausgesetztsein gegenüber gefährdenden Bedingungen – z. B. gegenüber Mikroorganismen in Wasser oder Nahrungsmitteln. Der Prozess der QMRA umfasst vier Schritte:

Gefährdungsermittlung:

- Zu Beginn der QMRA werden die Gefährdungen bzw. die Übertragungsrouten für den Menschen bestimmt. In diesem Fall wurde das Hauptaugenmerk auf den Umgang mit dem zu untersuchenden Wasserelement gelegt: z. B Welchen Kontakt haben Menschen mit dem Wasserelement? Trinken sie das Wasser oder ist der Kontakt nur dermal (die Haut betreffend)? Sitzen sie nahe beim Wasser und können vom Wind verwehte Wassertropfchen abbekommen oder einatmen (Aerosole)? Wie ist die Altersstruktur der sich am oder im Wasserelement aufhaltenden Personen. Wie lange verweilen Personen am oder im Wasserelement? Welche Tiere haben welchen Zugang zu dem Element?
- In Bezug auf die Tiere folgt ebenfalls eine erste Einschätzung bezüglich der Analyse der sich in den Wasserelementen befindlichen Mikroorganismen. Anhand der möglichen Mikroorganismen erfolgt eine Charakterisierung potentieller mikrobieller Krankheitserreger, die gesundheitlichen Folgen auf den Menschen wie z. B. Infektionen, Krankheiten oder andere Folgeerscheinungen haben können.

Expositionsschätzung:

- Für die Charakterisierung werden Proben genommen, hinsichtlich der potentiellen mikrobiellen Krankheitserreger untersucht und die Konzentration in den Wasserelementen bestimmt.
- Durch Beobachtungsstudien der Nutzenden an den Wasserelementen können zunächst die verschiedenen Expositionsszenarien identifiziert werden. Des Weiteren können aus diesen Daten die Berechnungen der Expositionszeit und des aufgenommenen Wassers erfolgen.

Gefährdungsbeurteilung:

- Die Bestimmung des Risikos einer Infektion erfolgt mithilfe von Dosis-Wirkungskurven durch eine Monte-Carlo Simulation, bei der pro potentiellen mikrobiellen Krankheitserreger jeweils 10.000 Einzelwerte errechnet werden, um das Erkrankungsrisiko durch z. B. Trinken des Wassers zu simulieren.

Risikocharakterisierung:

- Da nur eine Wahrscheinlichkeit eines Infektionsrisikos bestimmt werden kann, erfolgen anschließend zur Unterstützung der Planer und Betreiber u. a. Sensitivitätsanalysen, mit deren Hilfe die Faktoren identifiziert werden, die den größten Einfluss auf eine mögliche Infektion haben.

4.2 Einordnung der Gefährdungsrisiken

Im Rahmen der TransMiT-Untersuchungen wurden für die BGI-Maßnahmen Brunnen, Innenhöfe und Rigolen beispielhaft eine QMRA durchgeführt (Beschreibung der untersuchten Elemente Teil B 3.3 und Teil B 6.2). Nach der Auswahl der Elemente mit Bezug auf die formulierte Fragestellung des einzuordnenden Risikos wurden im nächsten Schritt erste sondierende Beobachtungen zum Nutzer:innenverhaltens durchgeführt (Beschreibung der Methodik und Beispieldaten siehe Teil B 3.2), da die Übertragungswege für die Auswahl der hygienischen Qualitätsparameter relevant ist. Bei den Brunnen und auch bei den Wasserelementen im Innenhof wurden als Übertragungswege Trinken, Einatmen und Hautkontakt identifiziert, sodass zum einen potentielle Krankheitserreger nach den Empfehlungen der europäischen Richtlinie zur Qualität von Badegewässern (EU, 2006) untersucht wurden, ergänzt hinsichtlich des Risikos eines Atemwegsinfekts um *Legionella pneumophila* und hinsichtlich des Risikos einer dermalen Infektion auf *Pseudomonas aeruginosa*. Um das Risiko einer gastrointestinalen Infektion zu bestimmen, wurde zusätzlich auf *Salmonella non-typhoid*, *Vibrio cholerae*, *Listeria monocytogenes*, *Campylobacter spp.* und Adenoviren untersucht (detaillierte Erläuterung der Analytik und Probenahme siehe Teil B 3.1).

Für die Bewertung und Einordnung des Infektionsrisikos, also eine Skalierung der Risikowerte, ist es notwendig die Infektionsrisiken in Krankheitsgeschehen zu „übersetzen“ bzw. Zielgrößen der tolerierbaren Konzentrationen für die als ggf. kritisch eingestuften mikrobiologischen Belastungen. Da es derzeit keine Richtlinien für ein tolerierbares Infektionsrisiko für grüne Wasserelemente in der Stadt gibt, wurden für die Gefährdungsbeurteilung in TransMiT verschiedene Richtlinien der USEPA herangezogen (USEPA, 2012):

Das tolerierbare Risiko ausgedrückt als HCGI-Wert (Highly credible gastrointestinal illness) wird gemäß der US-EPA-Richtlinien für Wasserqualitätskriterien für Freizeitnutzung (Recreational Water Quality Criteria) definiert. Berücksichtigt werden alle nachfolgend genannten unverkennbaren Symptome oder Kombinationen von Symptomen, die innerhalb von acht bis zehn Tagen nach dem Schwimmen/Kontakt, beobachtet werden: (1) Erbrechen, (2) Durchfall mit Fieber oder einem behindernden Zustand (blieb zu Hause, blieb im Bett oder suchte wegen der Symptome ärztlichen Rat), (3) Bauchschmerzen oder Übelkeit begleitet von „Fieber“. Der Wert für das tolerierbare Infektionsrisiko für die Wassernutzung „Baden“ wird mit acht HCGI pro 1000 primären Badenden festgelegt (US-EPA, 2012).

Fäkale Indikatoren – E. coli und Enterokokken: Neben den Richtlinien der US-EPA gibt es für fäkale Indikatoren die europäische Badegewässerrichtlinie (2006/7/EG). *E. coli* und Enterokokken werden hier als Standardindikatoren für fäkale Verunreinigungen genutzt. In der europäischen Badegewässerrichtlinie (2006/7/EG) ist eine gute Wasserqualität definiert durch eine Konzentration von 5×10^2 MPN/100 ml für *E. coli* und 2×10^2 MPN/100 ml für Enterokokken.

Mikroorganismen, die gastrointestinale Infektionen hervorrufen können: Um das Risiko für gastrointestinale Infektionen zu bestimmen wurden Salmonellen non-typhoid, *Vibrio cholera*, *Campylobacter spp.* und *Listeria monocytogenes* in den verschiedenen blauen Elementen untersucht. Die Vermutung war, dass insbesondere Dachabflüsse durch Vogelkot hier ein besonderes Risiko der Verkeimung haben. Da in der ersten Saison der Probennahme die Konzentration von *Vibrio cholera*, *Campylobacter spp.* und *Listeria monocytogenes* unter dem Detektionslimit war, wurden Salmonellen in

der zweiten Saison nicht weiter untersucht, und das Risiko als vernachlässigbar eingestuft, da die sehr niedrigen Werte mit Blick auf die sehr hohe Verdünnung und hohe UV-Bestrahlung durch Exposition auf dem Dach als plausibel eingestuft wurden.

Adenoviren: Adenoviren wurden für die Bewertung in verschiedene Untergruppen untergliedert und sind für eine Vielzahl von verschiedenen Infektionen verantwortlich. Für den Nachweis von Adenoviren wurden daher verschiedene Ansätze ausgetestet (vgl. Teil B 3.1). Zu Beginn wurde die qPCR etabliert. Da jedoch bei der Messung mit dem ersten ausgewählten Primerset Probleme auftraten, wurde ein weiteres Primerset ausgetestet, um das erste Protokoll zu verifizieren. Jedoch auch mit dem zweiten Protokoll lief die qPCR nicht wie gewünscht. Das Detektionslimit war zu hoch und die Proben mussten stark verdünnt werden, um die Inhibierung zu reduzieren. Dies führte aber auch parallel zu einer starken Verdünnung des genetischen Materials der Adenoviren. Weitere Information zur qPCR ist Teil B 3.1 zu entnehmen. Aufgrund der Zusammenarbeit mit einem anderen Projekt konnten die Messungen mithilfe der ddPCR durchgeführt werden. Die ddPCR ist robuster gegenüber inhibierenden Stoffen in den Proben, weshalb die Proben weniger verdünnt eingesetzt werden können. Zusätzlich wurden zwei kommerzielle Kits (Adenovirusgruppe F und G; Adenovirusgruppe D) zu Messung getestet. Daneben wurden die zwei aus der qPCR bekannten Primersets verwendet, die unspezifisch fast alle Adenoviren detektieren können.

4.3 Screening und Ergebnisse für verschiedene BGI

Mit Bezug auf das Konzept der qbTE und das Vorgehen bei der Bewertung von alternativen Quartiersgestaltungen über die Charakterisierung verschiedener BGI unter spezifischen urbane Randbedingungen (vgl. A.II, Kap. 2.1) wurden für die Anwendung der QMRA beispielhaft die BGI Teich, Zisterne, Brunnen sowie an der Schnittstelle zur Entwässerung Mulden/Rigolen und Regenrückhaltebecken ausgewählt. Die Untersuchungen zu den Mulden/Rigolen und den Rückhaltebecken konnten im Laufe des Projektes nicht abgeschlossen werden (erschwerte Probenahme- und Untersuchungsbedingungen aufgrund von Corona-Beschränkungen). Daher wurde am Beispiel urbaner Elemente der Einfluss der Gestaltung der Elemente sowie ihr Aufstellungsort auf das mikrobielle Risiko in den Fokus genommen. So wurde der Einfluss der örtlichen Rahmenbedingungen über die Fragestellung, ob sich das Risiko bei „abgeschlossenen“ Wasserelementen (Hinterhof, mit beschränktem Zugang) gegenüber öffentlich zugänglichen Elementen im Innenstadtgebiet (hier wurden Brunnen als Beispielelement ausgewählt) evtl. niedriger darstellt oder ausschließlich durch das Element selbst, seinen Betrieb und die Nutzung dominiert wird.

Methodisch wurde in **TransMiT** hierzu eine Risikobewertung der mikrobiologischen Qualität von „begehbar“ stehenden Gewässern entwickelt (QMRA) und für die BGI-Maßnahmen Brunnen, Zisternen und Teiche im Innenhof (private Nutzung) und Mulden/Rigolen (öffentlicher Raum) durchgeführt. Die Befüllung der blauen Elemente erfolgte in der Regel, mit Blick auf das übergeordnete Ziel der Nutzung innerstädtischen Retentionsräume und Schutz der Ressource „Wasser“ beim Betrieb von BGI, mit Regenwasser.

Das Screening umfasste die Erfassung der mikrobiellen Belastung und verschiedener Standard-Parameter (Teil B 3.3), die Aufnahme des Nutzer:innen-Verhaltens und Wasserkontakte (Teil B 3.2) sowie die Berechnung der Risikofaktoren und eine Bewertung des potentiellen Gesundheitsrisikos (Teil B 3.4). Als Besonderheit von **TransMiT** wird hierbei neben den klassischen Hygieneparametern z. B. der Badegewässerverordnung eine Gefährdung der Nutzer durch humanpathogene Viren (beispielhaft Noro- und Rotaviren) mit in das Screening aufgenommen. Noro- und Rotaviren verursachen Magen-Darm-Beschwerden mit z. T. heftigem Erbrechen und starken Durchfällen bei meist ausgeprägtem Krankheitsgefühl. Auf Grund der hohen Ansteckungsfähigkeit (Schmierinfektion) treten Erkrankungen meist gehäuft auf. Gemeinschaftseinrichtungen wie Kindergärten, Schulen, Alten und Pflegeheime sowie Krankenhäuser sind besonders betroffen, sodass überprüft werden sollte, ob ein Vorkommen im gemeinschaftlich genutzten und mit Wasserelementen ausgestalteten Bereichs eines Hinterhofs vermehrt nachzuweisen ist⁶.

4.3.1 Wasserelement „Brunnen“ (öffentlicher Raum)

Für die Untersuchung Brunnen wurden vier Brunnen unterschiedlicher Gestaltung, Aufstellungsort und Betrieb ausgewählt (Abbildung 37 und detaillierte Beschreibung in Teil B 3-3 und Teil B 6.2). Die Brunnen werden zu Beginn einer jeden Saison (Mitte April) mit Trinkwasser gefüllt. Über die Saison hinweg zirkuliert das Wasser in den Brunnen und nur bei Bedarf wird nochmals Trinkwasser aufgefüllt (Freyer und Hanning, persönliche Mitteilung,

⁶ Die eigentlich im Projekt vorgesehenen ergänzenden Untersuchungen an öffentlichen Kinderspielplätzen mit Wasserelementen bzw. auch an öffentlichen Wasserstellen, die häufig durch Kinder „bespielt“ werden (kleinere Gräben, temporäre Wasserflächen), konnten aufgrund des Corona-Lockdowns nicht durchgeführt werden bzw. wurden atypisch genutzt und hätten daher keine Auskunft in der gewünschten Fragestellung ergeben.

2020). Der Eintrag von Schmutzstoffen wird also ausschließlich durch die Situation am Aufstellungsort beeinflusst und erfolgt direkt durch Mensch und Tier sowie durch Windverschleppung und Niederschlag.

Es wurden ausschließlich Brunnen gewählt, die aufgrund ihres Aufstellungsortes hoch frequentiert werden, sodass Aussagen zur Nutzung der Anlage für verschiedene Altersgruppen ableitbar sind (was wiederum relevant ist für die Einordnung des Erkrankungsrisikos und Interaktion mit dem Wasser). Unterstützt wurde der Aspekt durch die Auswahl eines Brunnens der gestalterisch besonders Kinder anspricht. Ein weiteres wichtiges Unterscheidungskriterium ist außerdem, ob ein Sitzangebot in unmittelbarer Nähe zum Wasserkörper zum längeren Verweilen einlädt. Zum einen erhöht sich damit die Expositionszeit und die Art des Wasserkontaktes erfolgt in der Regel zusätzlich auch über Hautkontakt, zum anderen werden diese Sitzplätze wie im Fall des Blätterbrunnens häufig als Platz für einen Imbiss genutzt, mit entsprechendem Verschmutzungspotential durch Essenreste und Verpackung sowie durch Exkreme von den hierdurch angelockten Tieren. Der Barrierefreie Zugang zum Wasser sowie die Gestaltung der Wasserausbringung (Sprühnebel, Fontänen unterschiedlicher Höhe oder überfließen von Oberflächen) haben ebenfalls einen starken Einfluss auf die Exposition also die Kontaktart mit dem Wasser und den darin enthaltenen Keimen. Nachfolgend werden die in Abbildung 37 gezeigten Brunnen kurz beschrieben:

- Der Blätterbrunnen (Abbildung 37 A) befindet sich ein paar Meter entfernt vom Kröpke in einer Fußgängerzone. Er ist frei zugänglich, jedoch durch eine Mauer begrenzt, auf den Personen sich setzen können. Durch vier Öffnungen gelangt das Wasser nach oben auf die eingebaute Skulptur, fließt dann nach unten und wird im Rückhaltebecken gespeichert, bis der Wasserspiegel die Sammelrinne erreicht. Beim Umwälzen des Wassers wird grober Schmutz in einem Gitter zurückgehalten. Bei Bedarf wird Chlor und ein Algizid manuell hinzugefügt.
- Der Klaus-Bahlsen-Brunnen (Abbildung 37 B) ist ein frei zugänglicher Brunnen und befindet sich vor dem Neuen Rathaus und besteht aus zwei Fontänen, die eine Höhe von ca. drei Meter erreichen. Das noch oben gespritzte Wasser fließt, wenn es wieder auf den Boden fällt, über eine Rinne zu einem Gitter und dann in sich im Boden befindlichen Tanks, wo es wieder hoch gepumpt wird. Bei Bedarf wird das Wasser mit Chlor versetzt. Aufgrund der Fontänen treten bei diesem Brunnen Aerosole verstärkt auf.
- Der Körtingbrunnen (Abbildung 37 C) ist ebenfalls frei zugänglich und befindet sich in der List in Hannover in einer Einkaufsstraße und ist umgeben von zahlreichen Geschäften, Cafés und Restaurants. Ebenso befindet sich ein Spielplatz in der Nähe. Er besteht aus fünf rostfreien Stahlkopffiguren, die ständig Wasser ausspeien. Er befindet sich etwas erhöht auf ein paar Backsteintreppen und das Wasser fließt auf diesen hinunter zu einem Gitter und wird unter dem Brunnen gesammelt, um dann wieder in die Stahlkopffiguren gepumpt zu werden. Wenn das Wasser auf den Boden trifft, kann es zu Aerosolbildung kommen.
- Der Marstallbrunnen (Abbildung 37 D) wurde 2019 in Betrieb genommen und besitzt im Vergleich zu den anderen Brunnen eine digitale Überwachung des pH-Werts und eine automatische Überwachung und Dosierung von Chlor. Er ist ebenfalls frei zugänglich und befindet sich auf dem Marstallplatz vor einem Café. Die Fontänen erreichen verschiedenen Höhe, jedoch nicht mehr als 1,5 m. Das Wasser, dass wieder auf den Boden zurückfällt, fließt in einen unterirdischen Tank und wird anschließend wieder nach oben gepumpt.



Abbildung 37: Die vier ausgewählten Brunnen in der Stadt Hannover A) Blätterbrunnen (Wikipedia; Schroeder (2014). CC BY-SA 4.0.) B) Klaus-Bahlsen-Brunnen C) Körtingbrunnen D) Marstallbrunnen (eigene Fotos ISAH)

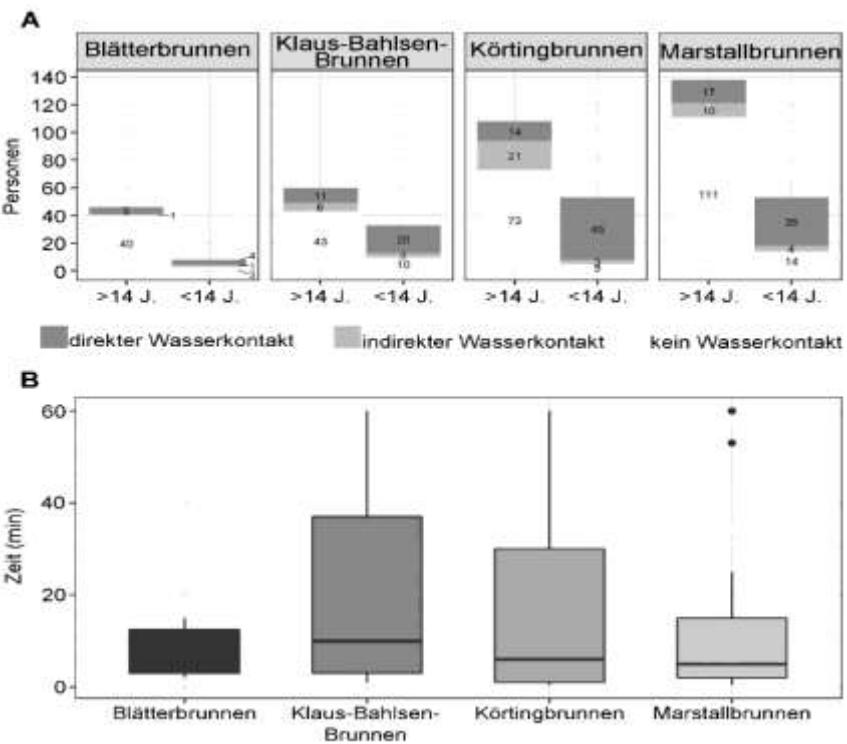


Abbildung 38: Ergebnisse der Beobachtungsstudien an den vier verschiedenen Brunnen A) Anzahl der Personen bei den verschiedenen Brunnen und der Art des Wasserkontakts B) Grafische Darstellung der Expositionszeit für Personen, die direkten Kontakt mit dem Wasser hatten.

Nach der adaptierten Burano-Methode (Teil B 3.2) wurden das Nutzerverhalten aufgenommen und für jeden Brunnen die Expositionszeit der Personen mit direktem Kontakt zusätzlich statistisch die Verteilungsfunktion für die Monte-Carlo-Simulation (Beta oder Gamma)

geprüft (RStudio 2020). Abbildung 38 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der beiden Beobachtungsstudien während der insgesamt 499 Personen beobachtet wurden. Da die Beobachtungsstudien allerdings in den Jahren des Corona-Lockdowns durchgeführt werden mussten, sind die Ergebnisse nicht repräsentativ für die gewünschten Aussagen zwischen Gestaltung, Nutzung und Belastung anhand der o.g. genannten Auswahlkriterien. Insbesondere das Verhalten im Innenstadtbereich war durch die geschlossenen Geschäfte, das Versammlungsverbot sowie das teilweise Verbot von Speisenverkauf stark beeinflusst. Die nachfolgenden Daten zeigen daher im Schwerpunkt das Vorgehen der QMRA auf.

Beispielhaft zeigt Abbildung 39 das Infektionsrisiko für die verschiedenen Brunnen für *E.coli* und *Enterokokken* im Vergleich. Es ist zu erkennen, dass nur der Blätterbrunnen für *E.coli* unter dem Schwellenwert liegt, vermutlich da es hier einen Beckenrand gibt, der als Barriere für Hunde oder kleine Tiere außer Vögeln dient.

Abbildung 39 verdeutlicht, wie sich diese Einordnung allein über die Konzentration verändert, in dem im Rahmen der QMRA die weiteren Faktoren wie Verweildauer oder Volumen an aufgenommenem Wasser mit einfließen. Mit der Ermittlung des QMR zeigt sich, dass das für *E. coli* bei allen Brunnen kein erhöhtes Infektionsrisiko besteht - die Werte unter dem tolerierbaren Risiko liegen (Abbildung 39, links). Jedoch liegt ein erhöhtes Infektionsrisiko für eine Enterokokken-Infektion beim Körtingbrunnen und Klaus-Bahlsen-Brunnen vor (Abbildung 39, rechts). Die in Abbildung 40 dargestellte Sensitivitätsuntersuchung zeigte sich, dass hier neben der Konzentration der Mikroorganismen, die Verweildauer und die aufgenommene Wassermenge eine entscheidende Rolle spielen, ob das Infektionsrisiko steigt.

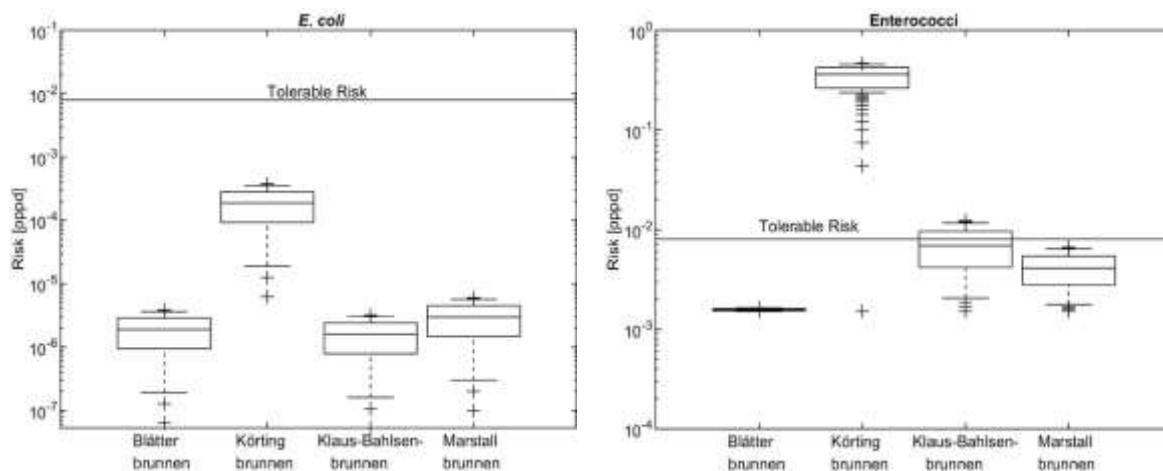


Abbildung 39: Infektionsrisiko einer Person pro Tag (pppd) an den jeweiligen Brunnen für *E. coli* (links) und *Enterokokken* (rechts). Die Linie im weißen Quadrat stellt den Medianwert dar, die weißen Kästchen stellen den Interquartilsbereich dar (25–75%), kleine schwarze Kreuz stellen die Ausreißer dar und die Bereichsleiste zeigt die Höchst- und Mindestwerte.

Ähnliche Ergebnisse wurden auch für die Brunnen bzgl. **Salmonellen non-thyphoid** gefunden: Obwohl Salmonellen nachgewiesen wurden, zeigte die anschließende QMRA kein wesentliches Infektionsrisiko für Personen, die direkten Kontakt mit Wasser hatten. Lediglich für den Körtingbrunnen gab es wieder ein etwas erhöhtes Infektionsrisiko, das sich aber immer noch unter dem tolerierbaren Risiko der US-EPA befindet (detaillierte Aussage siehe Teil B 3.4.).

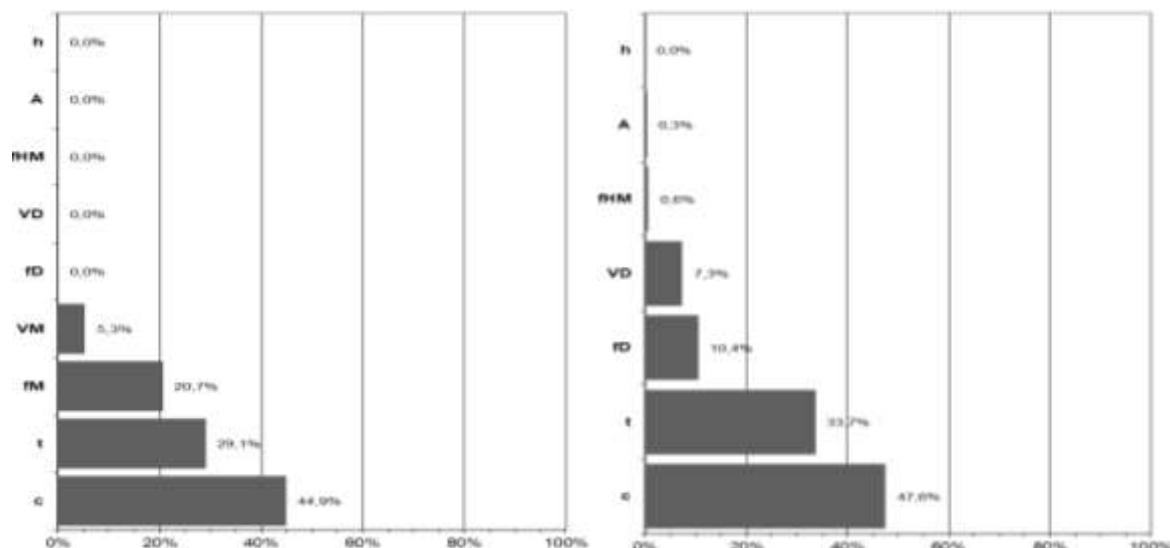


Abbildung 40: Sensitivitätsanalyse für Enterokokken im Körtingbrunnen (links) und im Klaus-Bahlens-Brunnen (rechts) Parameters: h: Wasserfilmdicke auf der Hand, A: Oberfläche die vom Mund auf der Hand bedeckt wird, fHM: Häufigkeit des Hand-Mund-Kontaktes, VD: Volumen der Wassertropfen, fD: Häufigkeit der aufgenommenen Wassertropfen, VM: Wasservolumen in einem Mund, fM: Häufigkeit, wie oft vom Wasser getrunken wird, t: Expositionzeit und C: Konzentration der Mikroorganismen.

4.3.2 Wasserelement „Teich“ und „Zisterne“ (geschützter Bereich – Innenhof)

Im Innenhof wurden zu Beginn der Proben vier Stellen ausgewählt. Es wurden jeweils Proben aus den tiefen und flachen Teichen (Abbildung 41 A und B 2.6 und 6.2) genommen und aus den Zisternen (Anordnung der Zisternen und Probenahmestellen siehe Teil B 2.1 und Teil B 3.3).



Abbildung 41: Die vier Probenahmestellen im Innenhof Südstadt A) tiefer Teich, B) flacher Teich, C) Zisterne im Schatten (die zweite von oben), D) Zisterne in der Sonne (zweite von oben) [Quelle: eigene Fotos, ISAH]

Zu Beginn der Probennahme waren nur zwei der drei Zisternenkaskaden fertiggestellt, weshalb nur von diesen Proben genommen wurden. Die Zisternenkaskaden bestehen aus insgesamt drei Zisternen, wobei das Wasser von einer zur nächsten läuft und anschließend über eine Rinne in einen der beiden Teiche. Für die Probennahme wurde jeweils die mittlere Zisterne der Zisternenkaskade ausgewählt (Abbildung 41 C und D).

Da im Innenhof aufgrund der Corona-Regelung keine Beobachtungsstudien möglich waren, wurde alternativ eine Umfrage bei den Anwohnern durchgeführt, um herauszufinden, wer den Innenhof nutzt und auf welche Weise. Insgesamt gab es eine Rückantwort von 27 Personen. Von diesen 27 Personen leben 20 allein, sechs mit einer weiteren Person und eine Person mit drei weiteren Personen zusammen. In den Haushalten der Personen, die geantwortet haben, leben drei Kinder (ein 6-10-jähriges Kind und zwei 15-16-jährige Kinder). Die Nutzung des Innenhofs in den Frühlings- und Sommermonaten erfolgt von ca. der Hälfte der Personen, die geantwortet haben. Genutzt wird der Innenhof meist zur Entspannung (47 % der Befragten) bzw. zum gemeinschaftlichen Essen und Trinken (21 % der Befragten). Lediglich eine Person hatte bis dahin den Innenhof als Spielplatz für ihr Kind genutzt (3 %). Da der Innenhof seit 2020 erst in seiner jetzigen Form existiert und die Spielflächen für die Kinder erst im Jahr 2020 erbaut wurden, besteht die Möglichkeit, dass diese Umfrage noch nicht wirklich repräsentativ für die Nutzung des Innenhofes ist. Auf die Frage hin, ob sie sich am Wasser aufhalten, haben 80 % dies bestätigt, jedoch haben 91 % einen direkten Kontakt mit dem Wasser verneint. Die meisten Befragten geben eine Verweildauer von 11 – 30 Minuten am Wasser an.

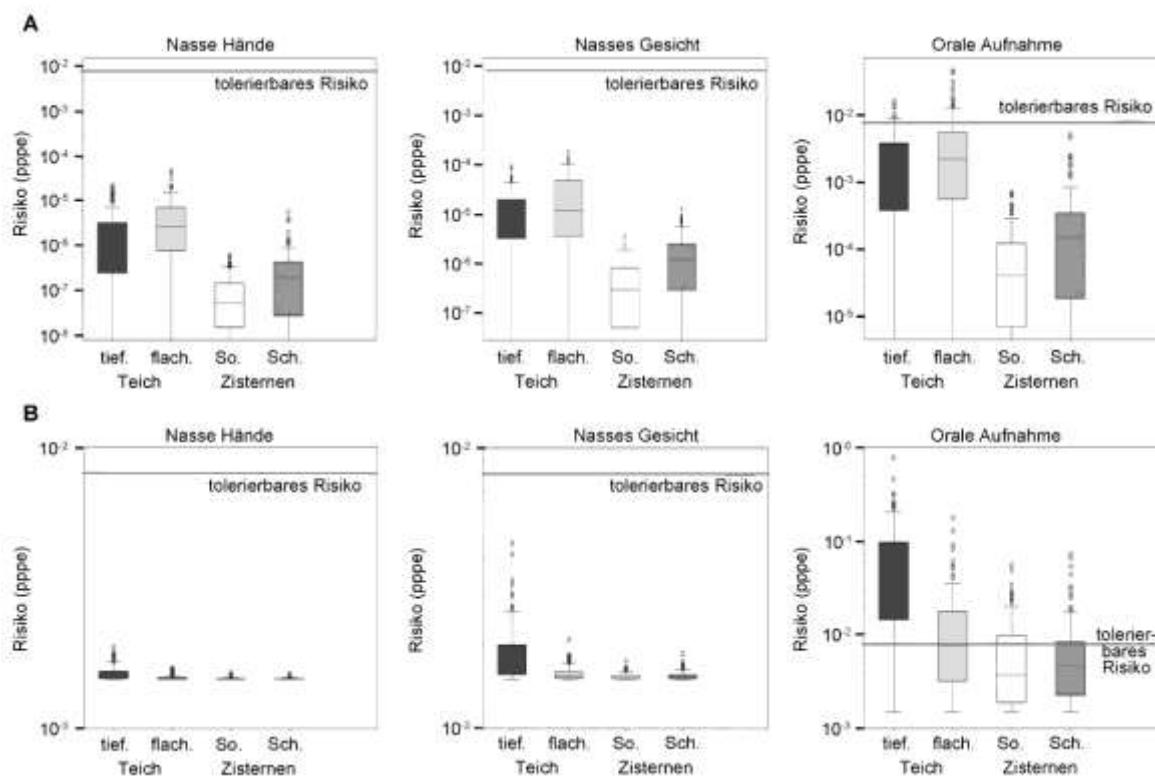


Abbildung 42: Infektionsrisiko einer Person pro Ereignis (pppe) für *E. coli* (A) und Enterokokken (B) bei vier verschiedenen Wasserelementen im Innenhof (tief. Teich: tiefer Teich, flach. Teich: flacher Teich, So. Zisterne: Zisterne in der Sonne, Sch. Zisterne: Zisterne im Schatten. Dargestellt sind hier die verschiedenen Szenarien: nasse Hände, nasses Gesicht, orale Aufnahme. Die Linie in den Quadranten stellt den Medianwert dar, die Kästchen stellen den Interquartilsbereich dar (25–75 %), kleine Kreise stellen die Ausreißer dar und die Bereichsleiste zeigt die Höchst- und Mindestwerte. Die graue Linie stellt das tolerierbare Risiko entsprechend der USEPA dar.

Für die untersuchten Wasserelemente in dem Innenhof liegen derzeit nur vorläufige Auswertungen vor, da wir bis Ende 2020 nur eine erste Messreihe hatten. Da wir keine verlässlichen Daten hinsichtlich der verschiedenen möglichen Szenarien haben und auch keine eigenen Daten hinsichtlich der Verweildauer oder möglicherweise aufgenommenen Wassermengen, wurden hier Literaturwerte zur Auswertung genommen. Eine detaillierte und aktuelle Auswertung befindet sich für die verschiedenen mikrobiologischen Belastungen im Teil B 3.4.

Beispielhaft für die Ergebnisse sind Abbildung 42 die Risiken für *E.coli* und Enterokokken basierend auf den erhobenen Daten von 2020 dargestellt. Für die Wasserelemente im Innenhof ergibt sich ein erhöhtes Infektionsrisiko für *E. coli* im flachen und tiefen Teich ausschließlich bei Aufnahme des Wassers, also wenn die Person aus diesen trinken würde (Abbildung 42 A, orale Aufnahme). Wasser, das über nasse Hände oder ein nasses Gesicht aufgenommen wird, ruft kein erhöhtes Infektionsrisiko hervor. Ein ähnliches Ergebnis wie bei *E. coli* ergibt sich auch bei den Enterokokken. Das größte Infektionsrisiko besteht, wenn man direkt aus den Wasserelementen Wasser trinkt (Abbildung 42 B, orale Aufnahme).

4.4 Berücksichtigung der QMRA bei der Planung und im Betrieb

Die quantitative mikrobiologische Risikobewertung ist, wie oben dargestellt wird, eine geeignete Methode zur Abschätzung des Risikos von BGIs im Stadtquartier. Der Umgang mit Risikokennzahlen, also „Was ist ein tolerierbares Infektionsrisiko?“ oder „Wer legt diese Werte fest?“ etc. ist bisher nicht (Stadt-)gesellschaftlich diskutiert und festgelegt, ist aber für die Berücksichtigung bei der Planung und Bewertung von Maßnahmenalternativen von hoher Bedeutung. Ähnlich wie bei der Festlegung der Wichtung der Zielkriterien im Rahmen der Priorisierung von Maßnahmen (vgl. „Stadtquartier 2050+“, A.I, Kap. 2.3) ist dies jedoch keine technische Fragestellung, sondern muss durch die jeweilige Stadtgesellschaft als Planungsrahmen vorgegeben werden. Aufgabe der Techniker und Ingenieure ist es, die Planungsalternativen und ihre Auswirkungen auf die verschiedenen Bereiche transparent und verständlich darzustellen. Das sind im Zusammenhang mit der Einbindung von BGI insbesondere Gefährdungsbeurteilungen für die verschiedenen Anwendungen zusammen mit Hinweisen zu den relevanten Einflussfaktoren und möglichen Ansatzpunkten einer Reduzierung des Risikos, die da sind:

- Art und Dauer der Speicherung (Erhöhung der Verkeimung) – hier spielt insbesondere die Temperatur während der Speicherung, direkte Sonneneinstrahlung sowie die Möglichkeit von weiteren Einträgen z. B. durch freie Oberflächen eine Rolle. Die Ausbildung von Biofilmen auf den Speicheroberflächen und Zuleitungen ist kritisch zu bewerten ebenso wie Ablagerungen.
- Gestaltung der Wassernutzungsstelle – da bei der Risikoeinschätzung der Kontakt der Menschen mit dem Wasser eine der vier risikobestimmenden Größen ist, sollte bei der Gestaltung von blauen Elementen die Auswirkung dieses Kontaktes auch im Hinblick auf die mikrobielle Belastung mitgedacht werden und nicht allein der Erlebniswert des Elements und seine künstlerische, architektonische Wirkung in eine Bewertung bzw. bereits in die Gestaltung der Elemente mit eingehen. Veränderte Zugangsbedingungen (randlos und begehbar, zum Kontakt animierend oder eher zur Betrachtung...) oder gestalterische Veränderung der Abgabe-/Kontaktstelle wie z. B. eine unterirdische Bewässerungsleitung/Tröpfchenbewässerung, Wasserhahn mit zusätzlichem Filter etc. können das Risiko verringern.
- Abkopplung bzw. gezielte Auswahl von Teilströmen zur Speicherung – die Einordnung der hygienischen Belastung verschiedener Oberflächen ermöglicht die Zuordnung einer ggf. kontaktarmen Nutzung. Aber auch eine gezielte Reinigung von Flächen oder Vermeidung der Verschmutzung kann das Risiko reduzieren (erhöhte Straßenreinigungsintervalle, Vermeidung von Vogelnist- und Sitzplätzen...).
- Qualitäts-Überwachung – durch die regelmäßige Überprüfung der Wasserqualität in den Speicher- und Wasserelementen können Veränderungen hinsichtlich des Infektionsrisikos erfasst und ggf. Maßnahmen ergriffen werden (Wasseraustausch, Hinweis, Inbetriebnahme der Reinigungseinheit, Änderung der Nutzung...).

Schlussendlich ist im öffentlichen Raum ein Austausch zwischen den Betreibern der Wasserelemente und den Nutzenden nötig, bei dem auf Quartiersebene den Handlungsrahmen einer Einbindung der qbTE und BGI in Abwägung der Ressourcenverfügbarkeit auch unter Berücksichtigung des mikrobiellen Risikos festgelegt wird. Die Methodik der QMRA zur Risikoeinschätzung ermöglicht eine transparente Darstellung der eingehenden Faktoren und damit auch eine individuelle Bewertung des Risikos und stützt damit die Implementierung und den Einsatz und optimierten Betrieb von BGI auf öffentlichen und privaten Flächen.

5. Ziele und Kriterien zur Beurteilung von BGI

Maike Beier¹, Jessica Gerstendörfer¹

¹ Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Leibniz Universität Hannover,
Forschungsfeld Abwasser und Wassermanagement

Das Projekt **TransMiT** ist angetreten die quartierspezifische Potentialanalyse als Basis einer ressourceneffizienten **integralen** Infrastrukturplanung methodisch vorzubereiten und hierzu ergänzend für innovative Verfahren und/oder besondere Einzelaspekte Kennzahlen zu erheben bzw. Modulbeschreibungen zu erstellen, die für den Alternativenvergleich genutzt werden können. Wesentliches Ergebnis des Projektes ist es jedoch, dass bei der strategischen Stadt-Planung die technische Beschreibung einzelner Module/Maßnahmen („Werkzeugkoffer“) allein nicht ausreicht, sondern insbesondere die Beschreibung der Wirkung dieser Maßnahmen auf andere Sektoren im Hinblick auf die Umsetzung (Multifunktionalität) und gemeinsame Entwicklung eines Quartiersleitbildes als infrastruktureller Planungsrahmen (vgl. „Stadtquartier 2050+“) essentiell ist sowie die Festlegung des Bewertungsmaßstabes – also die Wichtigkeit der verschiedenen Leistungen im Betrachtungsraum. Daher sollen in diesem Kapitel die im Rahmen des Projektes und der übergeordneten Maßnahme **RES:Z** gemeinsam erarbeiteten Beurteilungen und Definitionen die BGI an der Schnittstelle Wasserwirtschaft und klimaangepasster Stadtplanung im Folgenden kurz angerissen werden.

Die Auswirkungen unterschiedlicher Maßnahmen zur Regenwasserbewirtschaftung sind je nach Maßnahme und deren spezifischer Auslegung sehr verschieden. Des Weiteren sind Ziele sowohl für die Menschen als auch für die Natur zu unterscheiden. In der folgenden Tabelle sind entsprechend der historischen Entwicklung der Kriterien und Ziele der Stadtentwässerung dargestellt.

5.1 Ziele der Regenwasserbewirtschaftung und abgeleitete Kriterien

Die Auswirkungen unterschiedlicher Maßnahmen zur Regenwasserbewirtschaftung sind je nach Maßnahme und deren spezifischen Ausrichtung (Starkregenvorsorge, Speicherung zur Nutzung, GW-Anreicherung etc.) sehr verschieden. Des Weiteren sind Ziele danach zu unterscheiden, ob sie einen Nutzen für den Menschen oder für die Natur darstellen (z. B. Schaffung von Ackerland/Baugrund vs. Wiedervernässung von Mooren etc.). In der folgenden Tabelle sind entsprechend der historischen Entwicklung einige Kriterien und Ziele der Stadtentwässerung mit ihren Treibern der Umsetzung dargestellt.

Tabelle 9: Anerkannte Kriterien zur Beurteilung unterschiedlicher Maßnahmen zur Regenwasserbewirtschaftung und Einordnung dieser Kriterien im Hinblick auf ihre Ziele zur Darstellung des Vorgehens bei der Definition von Leistungskriterien und Nutzenbewertung (beispielhaft und nicht vollständig)

Kriterium	Ziel Mensch	Ziel Natur
1) Überflutungsschutz bei Extremregenereignissen, die seltener als einmal in 5 Jahren auftreten (z. B. Maßnahme Ableitung)	Schutz vor Überflutung	Vermeidung Erosion und Zerstörung von Habitaten

2)	Reduktion Spitzendurchfluss auf natürliches Maß bei Starkregenereignissen, die häufiger als einmal in 5 Jahren auftreten (z. B. Maßnahme Rückhalt und Drosselung)	Schutz vor Starkregenabfluss	Gewässerschutz hydraulischer Stress
3)	Reduktion Schadstoffeinleitung (z. B. Maßnahme Versickerung durch belebten Boden)	Bereitstellung von Brauchwasser Stabilität des GW-Spiegels / Gebäudeschutz	chem. Gewässerschutz AFS, NH ₄ -N, P
4)	Naturnahe Wasserbilanz (z. B. Maßnahme Versickerung)	Langziel GW-Anreicherung, erhöhte Entnahmemengen möglich	Reduktion des Jahresabfluss und Erhöhung der Versickerung auf natürliches Maß
5)	Naturnahes Kleinklima (z. B. Maßnahme Gründach + Versickerung)	Reduktion Hitzestress inkl. Gebäudekühlung	Erhöhung der Verdunstung auf natürliches Maß inkl. Abfluss und Versickerung wie im natürlichen Zustand
6)	Biodiversität (z. B. Maßnahme Dach- oder Fassadenbegrünung)	Freiraumqualität	Begrünung wie im natürlichen Zustand (Blattflächenindex)
7)	Ressourcennutzung	Verfügbarkeit, menschliche Gesundheit	Reduktion THG (CO ₂ -Äquivalente), Ökosystemqualität
8)	Kosten	Investitionen / Betriebskosten	

Zur Gewährleitung des Überflutungsschutzes wurden zunächst die kanalisierte Ableitung und der Bau unterirdischer Rückhalteräume realisiert. Ab etwa 1995 erfolgte ein Paradigmenwechsel weg von der zentralen Ableitung und Rückhaltung hin zur dezentralen Regenwasserbewirtschaftung mit Versickerungs- und Drosselementen. Mit der verstärkten Wahrnehmung der Wirkungen des Klimawandels ab etwa 2020 wurde der Verdunstung und der Reduktion von Hitze stress ein größerer Stellenwert eingeräumt. Vor diesem Hintergrund erfuhren BGI erhöhte Aufmerksamkeit. BGI waren in dieser Zeit aber nicht als additive Ergänzung der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung z. B. durch Regenwassernutzungsanlagen zur Bewässerung zu verstehen. Es handelt sich vielmehr um einen weiteren Paradigmenwechsel abfließendes Regenwasser zunächst als Ressource wahrzunehmen und nicht als Stoff, der möglichst naturverträglich entsorgt werden muss. Dabei müssen BGI selbstredend gewährleisten, dass auch die historischen Ziele der Stadtentwässerung wie Überflutungs- und Gewässerschutz nicht kompromittiert werden. Durch synergetische Flächennutzung muss hierbei erreicht werden, dass dies trotz erweiterter Ziele mit verminderter Ressourcennutzung geschieht. Mit Veröffentlichung der A 102 wird ergänzend zu der wasserbilanz-orientierten Strategieentwicklung der Imissionsansatz konsequent umgesetzt mit einer Begrenzung der Schmutzfrachteinleitung auch über das abfließende Niederschlagswasser. Frachtminderung kommt also als weiteres Bewirtschaftungsziel hinzu sowie mit zunehmenden Dürresommern die Wasserbereitstellung an Wichtigkeit zunimmt.

Zeitliche Kriterien spielen bei der Beurteilung der Wirksamkeiten im Kontext der NW-Bewirtschaftung eine zentrale Rolle:

- Während der Nachweis des Überflutungsschutzes für ein Regenereignis geführt wird, das alle 30 Jahre einmal auftritt, werden wasserwirtschaftliche Anlagen auf Privatgrundstücken auf das fünfjährige Regenereignis bemessen (Schutz vor Starkregenabfluss).
- Zur Reduktion von Schadstoffen, die mit dem Regen abgeschwemmt werden, sind die Anlagen in der Regel zur Behandlung von 50 % des jährlich abfließenden Niederschlags ausgelegt, da man davon ausgeht, dass die Verschmutzung hauptsächlich zu Beginn der Regenereignisse auftritt und, dass bei jährlich etwa 14 stärkeren Regenereignissen der planmäßige Überlauf der Behandlungsanlagen ausreichend verdünnt ist und die natürliche Selbstanreinigungskraft der Gewässer nicht übersteigt.
- Der Betrachtungsraum zur Beurteilung der naturnahen Wasserbilanz ist die jährliche Regenmenge.
- Der Fokus beim naturnahen Kleinklima liegt auf dem Sommerhalbjahr, wenn die potentielle Verdunstung größer als der Niederschlag ist sowie insbesondere auf einzelnen seltenen Tagen mit hohen Temperaturen nach längerer Trockenheit.
- Hinsichtlich der Biodiversität können Wirkungen von Maßnahmen in Grünflächen nur in Zeiten längerer Trockenheit berücksichtigt werden, in denen erhöhtes Pflanzenwachstum durch Verbesserung der Wasserverfügbarkeit erreicht werden kann.
- ...

Alle Maßnahmen sind hinsichtlich der Ressourcennutzung zu bewerten und positive Wirkungen im Wasserbereich negativen Wirkungen in anderen Umweltbereichen gegenüberzustellen. Zur Kosten-Nutzen-Abschätzung verschiedener Kombinationen von Elementen Blau-Grüner Infrastruktur sind diese Wirkweisen zu gewichten. Dies erfolgt in der Strategiekomponente A.III „Institutionalisierung“.

5.2 Indikatoren

Welche Wirkungen durch strukturelle Anpassungen oder durch den Einsatz von BGIs auf Quartiersebene erzielt werden können, wurde in **TransMiT** für ein Beispielquartier in Hannover evaluiert. Hierbei wurde für die Bewertung die drei Indikatoren nach Schebek et al. 2022 auf die Quartiersebene übertragen. Die Einführung von Indikatoren unterstützt dabei die Bewertung von Ausgangs- und Zielzuständen und beschreibt komplexe Sachverhalte als „Stellvertretergrößen“ im Kontext einer Szenarienanalyse und Bewertung - stellt also ein wichtiges Werkzeug der integralen Planung dar, nicht zuletzt um Entscheidungen transparent und nachvollziehbar zu dokumentieren, da sich mit Veränderung der Rahmenbedingungen ggf. auch die Wertung verändern würde. Dies lässt sich bei Anwendung dieser Methodik durch Anpassung der Indikatoren direkt überprüfen. Strategieänderungen sind zeitnah zu identifizieren.

Die in **TransMiT** konkretisierte Bewertungssystematik für eine quartiersdifferenzierte Bewertung von BGI-Maßnahmen ist in Anlehnung an Schebek et al. 2022 in der folgenden Abbildung dargestellt.

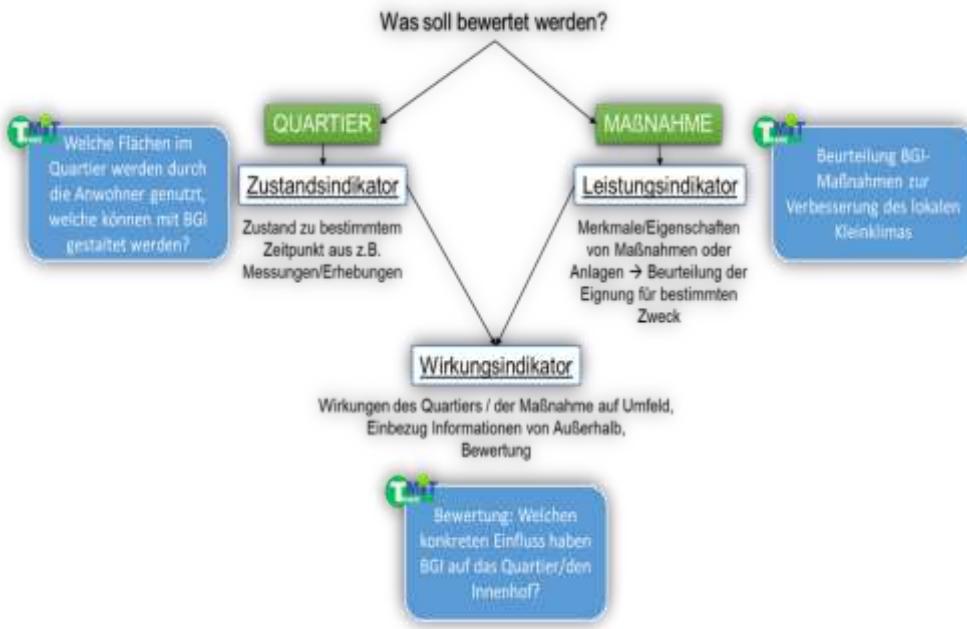


Abbildung 43: Indikator-Typen und Anwendung in TransMiT nach Schebek et al. (2022)

In **TransMiT** wurden dabei für die strategische Quartiersplanung die folgenden Indikatoren konkretisiert:

- **Zustandsindikatoren** beschreiben spezielle Zustände eines Quartiers zu einem definierten Zeitpunkt z. B. aus Messungen und Erhebungen (Schebek et al. 2022). Für **TransMiT** stellt sich hier die Frage, welche Flächen im Quartier durch die Anwohner genutzt werden und welche BGI zum Einsatz kommen können. Für das Beispielgebiet (Innenhof, Hannover-Südstadt) wurden dafür u. a. meteorologische Messungen und Simulationen im Klimamodell durchgeführt (siehe A.II, Kap. 2).
- **Leistungsindikatoren** beschreiben die Merkmale bzw. Eigenschaften von Maßnahmen zur Verbesserung der Ressourceneffizienz (Schebek et al. 2022). In **TransMiT** wurden zur Beurteilung von unterschiedlichen BGIs insgesamt 13 Leistungsindikatoren verwendet, die in der nachfolgenden Tabelle 10 gelistet sind. Eine solche Tabelle ist durch die jeweiligen Fachbereiche (Sektor-Expert*innen) beliebig zu erweitern, sollte sich aber auf die an den Sektor gestellte Leistungs-Forderung beziehen und durch Maßnahmen beeinflussbar sein. Sie gibt damit auch einen guten Überblick über die in dem Bereich wichtigen Leistungen, die ggf. durch synergetische Planung von Maßnahmen anderer Bereiche teilabgedeckt werden kann (vgl. A.III, Kap. 3.5).
- **Wirkungsindikatoren** zeigen den Einfluss auf Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft auf (Schebek et al. 2022). Für **TransMiT** bedeutet das, zu bewerten, welchen konkreten Einfluss eingesetzte BGI auf das Quartier oder den Innenhof haben vor dem Hintergrund Hitze und Starkregenvorsorge. Hierzu werden zur Zt. in sektorübergreifenden Workshops an den durch die Stadt formulierten Entwicklungszielen orientierte Indikatoren festgelegt.

Im Ergebnis zeigt die folgende Tabelle 11 die zur Bewertung von BGI in **TransMiT** angesetzten 14 Prozesse (blau) und 13 Leistungsindikatoren (grün) für verschiedene Maßnahmen mit unterschiedlichen Merkmalen bzw. Eigenschaften. Die Bewertung erfolgt dabei

über eine 3-stufige Skala, die die betrachteten BGI-Maßnahmen hinsichtlich der festgelegten Prozesse und Leistungsindikatoren einordnet in:

- sehr bedeutsam = (xx)
- bedeutsam = (x)
- weniger bedeutsam = (o)

Tabelle 10: Leistungsindikatoren zur Bewertung von BGI-Maßnahmen

Nr.	Leistungsindikatoren	Einheit
1	Verdunstungsleistung	l/m ²
2	Speichervolumen	m ³ /Zeit; l/m ²
3	Wasserbedarf	l/d/m ²
4	Fremdbezug Trinkwasser	l/d/m ²
5	Eigenbezug Regenwasser	l/d/m ²
6	Eigenbezug Grundwasser	m ³ /Zeit
7	Luftfeuchtigkeit	%
8	Oberflächentemperaturen	°C
9	Globalstrahlung	W/m ²
10	Biototypen	%
11	Grundwasserneubildung	mm/a
12	Reinigungsleistung (gelöst)	%
13	Reinigungsleistung (fest)	%

Tabelle 11: BGI-Bewertung: Angesetzte Prozesse und Leistungsindikatoren bezogen auf entsprechende Maßnahmen und bewertet über eine 3-stufige Skala (orange: TransMiT-Elemente)

Maßnahme	Eigenschaft	Prozesse												Leistungsindikatoren															
		Versickerung	Verdunstung	Speicherung	Ab-/Zuleitung	Beschattung	Sedimentation	Filtration	Sorption	biochem. Wandlung	Emission	Wärmeübertragung	Stromerzeugung	chem. Wandlung	Zuleitung (Qualität)	Verdunstungsleistung	Speichervolumen	Wasserbedarf	Fremdbezug Trinkwasser	Eigenbezug Regenwasser	Eigenbezug Grundwasser	Luftfeuchtigkeit	Oberflächentemperaturen	Globalstrahlung	Biotoptypen	Grundwasserneubildung	Reinigungsleistung (gelöst)	Reinigungsleistung (fest)	
Versickerung	oberirdisch	xx	x	xx	o	o	x	xx	x	x	o	o	o	o	o/x	x	xx	o/x	o	xx	o	o	o	xx	xx	xx			
Rückhalt	oberirdisch, mit Dauerstau (Teich, Zisterne)	o	xx	xx	x	o	o	o	o	x	o	o	o	o	o/x	o	xx	xx	x	o	x	x	x	x	o	o	o	o	
Bauwerks-grün	Dach, extensiv	x	xx	x	x	o/x	o	x	o/x	o	o	o	o	o	o	xx	x	x	x	xx	o	x	xx	o	xx	o	o	o	
	Dach, intensiv	x	xx	x	x	x/xx	o	x	o/x	o	o	o	o	o	o	xx	x	xx	xx	xx	o	x	xx	o	xx	o	o	o	
	Dach, Retention	xx	x	xx	x	o	o	x	o/x	o	o	o	o	o	o	xx	xx	xx	xx	xx	o	x	xx	o	xx	o	o	o	
	Dach, Photovoltaik	x	xx	o	x	xx	o	o	o/x	o	o	o	o	o	o	xx	xx	xx	xx	xx	o	x	xx	xx	o	o	o		
	Fassade, boden-gebunden	o	xx	o	o	xx	o	o	o/x	o	o	o	o	o	o	xx	o	x/xx	xx	xx	o	x	xx	o	x	o	o	o	
	Fassade, bau-worksgebunden	o	xx	o	o	xx	o	o	o/x	o	o	o	o	o	o	xx	o	x/xx	xx	xx	o	x	xx	o	x	o	o	o	
	Fassade, freiste-hend (Moos)	o	xx	o/x	o	xx	o	o	o	o	o	o	o	o	o	xx	o	xx	xx	xx	o	xx	xx	o	x	o	o	o	
	mit Sondernutzung (Urban Gardening)	xx	xx	xx	xx	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	xx	xx	xx	xx	xx	o	x	x	o	x	o	o	o
Flächengrün	Baum-Rigole, RBF	xx	xx	xx	o	o	o	x	x	o	o	o	o	o	o	x	x	xx	x	o	xx	x	o	o/x	o	x	o/x	o	x

A.III Strategiekomponente 3: Institutionalisierung

Elisabeth Czorny¹, Vanessa Reder¹, Ylva Lund-Weiß², Ina Kaiser², Stefan Geyler³, Tobias Wüsteck³, Annika Diemar³, Erik Hofmann³, Maike Beier⁴, Ulrich Berding⁵, Uwe Klaus⁶

Landeshauptstadt Hannover, ¹Fachbereich 67 Umwelt und Stadtgrün, ²Fachberich 68 Stadtentwässerung, Hannover

³Institut für Infrastruktur und Ressourcenmanagement der Universität Leipzig⁷

⁴Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Leibniz Universität Hannover

⁵plan zwei Stadtplanung und Architektur GbR, Hannover

⁶Aquaplaner

Neben der verfahrenstechnischen Weiterentwicklung und Erprobung der Entwässerungssysteme ist eine institutionelle Unterstützung bei der Verzahnung der Stadtentwässerung mit weiteren die Stadtentwicklung wesentliche Voraussetzung für die Umsetzung einer integralen Planung. Aufgrund des stark integralen Charakters von TransMiT war bereits in der F&E-Phase die Institutionalisierung ein Arbeitsschwerpunkt, mit den Unterpunkten Kostenverteilung/Bewertung und Prozessablauf/interne Kommunikation der kommunalen Planungsabteilungen. Sehr klar zeigte sich, dass für die Transformationsschritte in Bestandsquartieren die Entwicklung und Umsetzung eines fachbereichsübergreifenden Planungsprozesses auf strategisch-rahmengebender Ebene essentiell ist um die strukturellen Defizite, die die von allen Beteiligten gewünschte Vernetzung und Planungsabstimmung erschweren, überwinden zu können. Ziele der **Strategiekomponente 3 Institutionalisierung** waren damit

- Überwindung des sektoralen Denkens und Handelns – Schwellenüberquerung,
- Schaffung von integralen Abstimmungs- und Planungsprozessen,
- Entwicklung von Tools zur Auswahl und Bewertung möglicher Maßnahmen und
- Entwicklung von Ansätzen um Verteilungskonflikte in Bezug auf Kosten und Nutzen zu überwinden.

In **Kapitel 1** erfolgt beispielhaft für die Landeshauptstadt Hannover und den dort bestehenden Strukturen, Abläufen und Vorgängen zunächst die Analyse der Ausgangssituation der momentan durchgeführten Stadtplanung sowie eine Defizitanalyse. Ergänzend hierzu gibt **Kapitel 2** einen Überblick über bestehende kommunale Planungsebenen mit Beschreibung des neuen Verwaltungsprozesses "Stadt-Quartier 2050+" sowie die Einbindungsmöglichkeiten in bestehende kommunale Prozesse. Den neu initiierten Verwaltungsprozess "Stadt-Quartier 2050+" unterstützende im Rahmen von TransMiT entwickelte Tools werden in **Kapitel 3** beschrieben, **Kapitel 4** erläutert mögliche Anreizsysteme, die sowohl die Fachbereiche betreffen, aber insbesondere die Einbindung privater Akteure beinhalten.

⁷ Unter Mitarbeit von T. Frey, S. Lautenschläger, L. Laforet, L. Koppenburg, L. Metzinger, T. Ziegenbein.

1. Ausgangssituation // Defizitanalyse

Durch die sektorale Aufteilung der Verantwortung für Planung, Bau und Betrieb der Anlagen auf die verschiedenen Fachbereiche/Betriebe wie z. B. Fachbereich Tiefbau, Fachbereich Umwelt und Stadtgrün und Stadtentwässerung, ist der Erfolg des kommunalen Planungsprozesses, insbesondere in Bezug auf die multidisziplinär geprägte Aufgabe *Klimawandelanpassung*, von einer guten Zusammenarbeit und gemeinsames Zielverständnis über die Fachdisziplingrenzen abhängig, da eine langfristig auf gemeinsame Ziele ausgerichtete Umsetzung der Anpassung durch die Städte durch die Konkurrenz um Flächen, Haushalts- und Finanzierungsmittel z. Zt. stark erschwert ist. Da die öffentliche Hand jedoch nur für ca. 50 % der urbanen Fläche verantwortlich ist, die restlichen 50 % befindet sich im Privatbesitz, muss die Gewinnung von privaten Grundstückseigentümern für die Durchführung von investiven Maßnahmen mit kollektivem Nutzen auf dem eigenen Grundstück mit in den Transformationsprozess einbezogen werden – unterstützt auch hier durch Honorierungs- und Anreizmöglichkeiten.

Vor diesem Hintergrund wird im Folgenden der **Ist-Zustand** für die Landeshauptstadt Hannover analysiert und **Defizite** benannt, um daraus im Anschluss das **Verbesserungspotential für kommunale Planungsprozesse** in den Aufgabenfelder Überflutungsschutz bei Starkregen und Hitzereduktion abzuleiten und ein **Projektziel** für die Strategiekomponente 3: Institutionalisierung zu definieren.

Kernaussagen

- *Klimawandelangepasste Stadtentwicklung und besonders die Anpassung im Bestand stellt für die Städte und Gemeinden eine große Herausforderung dar.*
- *Die Städte und Gemeinden stehen vor sowohl externen Herausforderungen wie Anpassung an den Klimawandel, Ressourcen- und Umweltschutz, Kosteneffizienz als auch internen Herausforderungen wie:*
 - sektoralem Denken und Handeln
 - Flächen- und Zielkonflikte
 - Ringen um knappe Haushaltssmittel, Beschränkungen durch Gebührenrecht
 - nicht aufeinander abgestimmte Regelwerke und Gesetze
 - hohem Koordinierungsaufwand
 - Prognoseunsicherheit bei gleichzeitiger Langlebigkeit der infrastrukturellen (Bau-)Maßnahmen
- *Durch die hohe Flächenkonkurrenz im urbanen Bestandsquartier wird die Transformation zu einer klimaangepassten, ressourceneffizienten, wasserbewussten und lebenswerten blau-grünen Stadt nur gelingen bei konsequenter Zusammenarbeit aller an der Stadtentwicklung beteiligten/befassten Fachplanungen (Wasserwirtschaft, Stadtplanung, Freiraumplanung, Tiefbau, Mobilität, Umweltschutz, Energie usw.).*
- *Besonders in städtischen Bestandsquartieren mit ihrer Vielzahl an Ansprüchen und Anforderungen ist ein integraler Planungsprozess notwendig, um Synergien zu erkennen und Zielkonflikte zu lösen.*
- *Um das kollektive, kooperative Handeln zwischen den Fachbereichen zu unterstützen, müssen integrale Planungs- und Entwicklungsprozesse und funktionale Austauschgremien in Verwaltungsabläufe implementiert werden.*
- *Fehlende Kenntnisse zu Nutzen und Kosten von multifunktionalen Maßnahmen und unklare Zuordnungen der Kostenübernahmen und Zuständigkeiten behindern eine gesamteffiziente, ressourcenoptimierte Konzeptentwicklung.*

1.1 Ist-Zustand und Defizite

Die Kommunen und Städte stehen vor der Herausforderung, unseren Lebensraum an die Folgen des Klimawandels flexibel und generationengerecht lebenswert anzupassen und die Auswirkungen des Klimawandels soweit wie möglich zu minimieren. Der Handlungsdruck der Kommunen steigt stetig, um auf akute Probleme wie Wohnungsnot, Hitzebelastung, Wassermangel beim Stadtgrün und Überflutungsschäden durch Starkregen reagieren zu können. Eine zielgerichtete Umsetzung der Anpassung durch die Städte wird aber durch die Konkurrenz um Flächen, Haushalts- und Finanzmittel gehemmt. Während für Wohnraumentwicklung und Neubaumaßnahmen Vorgaben zum Klimaschutz (energetische Standards, Wärmeversorgung) und zur Klimawandelanpassung (Dachbegrünung, helle Fassaden und Belege usw.) schon in Bebauungsplänen und Städtebaulichen Verträgen Eingang finden und daher leichter umzusetzen sind, ist es besonders schwierig, Maßnahmen in und an bestehender Infrastruktur klimawandelangepasst auszuführen. Hier führen die notwendigen integralen Lösungsansätze zu Zielkonflikten zwischen den Beteiligten. Die Infrastruktur ist für eine lange Lebensdauer vorgesehen, sie bedeutet ein großes Anlagenvermögen für die Städte und ist zugleich durch verschiedene Fix- und Zwangspunkte wenig flexibel. Die wenig flexible Infrastruktur muss aber zugleich die Prognoseunsicherheit bezüglich der kleinräumigen klimatologischen Auswirkungen des Klimawandels und die Auswirkungen unseres Handelns und Entscheidungen abfedern können.

Aufgrund des Handlungsdruckes und fehlender integraler Ansätze werden die Themen oft jedoch noch einzeln bearbeitet und mögliche Synergieeffekte zu anderen Themenfeldern nicht angesprochen. Es ist festzustellen, dass aufgrund der Auswirkungen des Klimawandels diese Vorgehensweise nicht mehr tragbar ist, sondern dass die Probleme integral zu lösen sind, auch um Synergieeffekte besser nutzen zu können. Eine Verknüpfung an den langfristigen Zielsetzungen für Klimawandelanpassung, die sich aus den globalen und länderspezifischen Zielen ergeben, ist empfehlenswert. Zum einen, um die Bedeutung des kommunalen Wirkens im Gesamtzusammenhang des Klimawandels zu verdeutlichen, zum anderen aber auch, um den bereits durch die Gesellschaft gesetzten Handlungs- und Planungsrahmen aufzuzeigen und das kommunale Handeln hieran auszurichten:

Beispielhaft für Hannover: Ausgehend von der Agenda 21 mit konkreten Handlungsempfehlungen für das 21. Jahrhundert in Bezug auf entwicklungs- und umweltpolitische Punkte und der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie wurde 1995 die **lokale Agenda 21** für Hannover als **politisches Oberziel** entwickelt und beschlossen. Seitdem wurden zahlreiche Projekte innerhalb und außerhalb der Verwaltung in Sinne dieser Agenda 21 umgesetzt. Im aktuellen Stadtentwicklungskonzept "Mein Hannover 2030" ist Nachhaltigkeit als Querschnittsaufgabe fest verankert. Mit der Verabschiedung der "2030 Agenda für nachhaltige Entwicklung" von den Vereinten Nationen im Jahr 2015 wurden **17 globale Nachhaltigkeitsziele**, die sogenannten "Sustainable Development Goals" (SDGs) veröffentlicht mit dem Ziel, sie auf nationaler Ebene herunterzubrechen und umzusetzen. Die Landeshauptstadt Hannover unterstützt die 17 globalen Nachhaltigkeitsziele und stellt sich ihrer globalen Verantwortung in der lokalen Agenda 21. 2020 wurde für Hannover erstmals ein **gesamtstädtischer, indikatorbasierter Nachhaltigkeitsbericht** erarbeitet, in dem den globalen SDGs 20 Hannover-spezifische Leitziele zugeordnet wurden, die sich wiederum in **54 Unterzielen und 108 Indikatoren** aufgliedern. Das Unterziel 2.4 „Klimaangepasste Stadtplanung fördern und Überflutungsrisiko bei Starkregenereignissen verringern“ greift dabei die Herausforderungen auf, die der Klimawandel

mit sich bringt: Eine Überwärmung der Stadt (Hitzewellen, Tropennächte), ein verändertes Niederschlagsverhalten (Starkregen, Hochwasser) und sommerliche Trockenperioden (Stadt Hannover 2022c, 2019).

Der Nachhaltigkeitsbericht ermöglicht einen Überblick über die Vielzahl von Programmen, Konzepten und Projekten, die die jeweiligen Fachbereiche der LHH erarbeitet haben, um ihre fachspezifischen, sektoralen Ziele und Aufgaben zu erfüllen: u. a. Wohnkonzept 2025, Masterplan Mobilität 2025, Sonderprogramm Straßenerneuerung, Freiraumentwicklungs-konzept Stadtgrün 2030; Leitlinien zur Gewerbegebäudenutzung, Sofortprogramm Klimaschutz Hannover 2035, Ökologische Standards beim Bauen im kommunalen Einflussbereich, Dachbegrünungsrichtlinie, Solardach-Richtlinie etc.. Auf der ausführenden Verwaltungsseite dienen diese als Grundlage und Vorlagen für das kommunale Handeln.

Obwohl Hannover somit über einen komplexen Zielkatalog für die nachhaltige Entwicklung verfügt und auf eine Vielzahl von guten Ansätzen und Projekte zur Umsetzung verweisen kann, gelingt die Umsetzung der neuen Ziele in das Verwaltungshandeln nur schwer. Eine zentrale Ursache ist die häufig sektorale Bearbeitung der Projekte aufgrund der „versäulten“ Verwaltungsstrukturen mit ihrem ressortbezogenen Aufgabenverteilungen (Banner 1998; Böhm und Gehne 2018, S. 1208; Hielscher 2020, S. 5). Hierdurch ergibt sich ein starker Konflikt zu den Ansätzen, die im Zuge der Nachhaltigkeitstransformation stärker gefördert werden sollen. Denn gegenwärtig liegt es in der Verantwortung der einzelnen Fachbereiche bzw. an zuständigen Personen zu erkennen, ob und in welchem Umfang eine Aufgabe in Verbindung mit weiteren Fachdisziplinen erarbeitet werden sollte, weil

- die Aufgabe Zielkonflikte mit anderen Aufgaben birgt,
- durch die eigene Aufgabenbearbeitung auch Ziele (u. a. die SDGs) der Stadt, die durch andere Fachbereiche verantwortet werden, angesprochen und erfüllt bzw. behindert werden können (technisch-fachliche Wechselwirkung),
- durch Eingliederung/Berücksichtigung weiterer/vorhandener Aufgabenstellungen ein Mehrwert durch Synergieeffekte für verschiedene Ziele generiert werden kann.

Dies überfordert gegenwärtig die Strukturen und Prozesse der Verwaltung, so dass Innovationen in zu starkem Maße von individuellem Verhalten der Beteiligten abhängen. Ein Rahmen dafür, wie sich die übertragenen Aufgaben in das Aufgabenspektrum der Verwaltung mit ihren Fachbereichen integrieren lassen bzw. wie sich diese synergetisch über die Fachdisziplingrenzen fachlich und wirtschaftlich optimiert ausführen lassen, fehlt.

Seit der EXPO 2000 und ihrer vorangestellten Planungsphase ab 1995 werden in den Fachbereichen der Landeshauptstadt Hannover bei Konzepten und Planungen für **Neubauquartiere** (Expo-Siedlung am Kronsberg, zero:E-Park, Buchholzer Grün, KlimaWohl-Quartier Herzkamp u. a.) auch erste Ansätze für nachhaltige, klimawandelangepasste Maßnahmen berücksichtigt. Die jeweiligen Fachplanungen (Entwässerungsplanung, Freiraumplanung) entwickelten dabei entsprechend ihrer fachspezifischen Aufgabenstellungen und der technischen Vorgaben sektorale Lösungen (Versickerungsmulden, Mulden-Rigolen-Systeme Grünflächen, Spielplätze usw.), die auch multifunktionale Nutzungen beinhalten. Seit 2015 wird auch das Thema Starkregenvorsorge verstärkt integral bearbeitet. Beispielhaft sind

hier die Quartiere Herzkamp⁸ (Kanning et al. 2020), Kronsberg (Stadt Hannover 2022a) und Kronsberg-Süd⁹ zu nennen.

Für die Umsetzung der Klimawandelanpassung im Rahmen von verschiedenen Planungsvorhaben in **Bestandsquartieren** zeigt es sich jedoch, dass die nur integral zu lösenden Probleme wie Hitzereduktion, Überflutungsschutz bei Starkregen und Wassermangel bei Trockenperioden oft noch vernachlässigt werden. Die Ursachen hierfür sind, dass:

- die Verantwortlichkeit für eine integral ausgerichtete Problemlösung nicht einem Fachbereich direkt zugeordnet werden kann.
- die Finanzierung bzw. Finanzierungsverteilung aufgrund der nicht eindeutigen Zuordnung unklar ist.
- erforderliche institutionalisierte Arbeitsprozesse für integrale Planung nicht ausreichend vorhanden sind.
- die, von der jeweiligen Fachdisziplin, anzuwendenden technischen Richtlinien in Bezug auf der integralen Planung nicht harmonisiert sind¹⁰.

In der **TransMiT** Strategiekomponente 3: Institutionalisierung wurde dabei der Fokus auf folgende Punkte gelegt:

1. Gewässerschutz/ordnungsgemäße Regenwasserbewirtschaftung sowohl durch Transformation des Entwässerungssystems von Misch- auf Trennentwässerung als auch durch Abkopplung von Entwässerungsflächen
2. Annäherung an den natürlichen Wasserhaushalt
3. Überflutungsschutz/Starkniederschläge
4. Hitzevorsorge
5. Bewässerung von Stadtgrün
6. Einbindung privater Grundstückseigentümer

In A.III in den Kapiteln 1.2.1 bis 1.2.7 werden die hierzu die in **TransMiT** identifizierten Verbesserungspotentiale konkret aufgezeigt.

⁸ www.klimawohl.net

⁹ <https://kronsrode.de/>, letzter Zugriff am 14.12.2022.

¹⁰ Ein Beispiel für nicht harmonisierten Richtlinien bzw. für den Graubereich zwischen den Fachdisziplinen, ist die Diskrepanz zwischen DWA A 118_2006 (hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen) und REwS_2021 (Richtlinien für die Entwässerung von Straßen) zu nennen. Die Kanalisation in z. B. Wohngebieten, ist nach DWA A 118 für einen Überstauhäufigkeit von maximal 1-mal in 3 Jahren zu bemessen und es ist eine kanalindizierte Überflutungshäufigkeit von maximal 1-mal in 20 Jahre einzuhalten. Das bedeutet aus Sicht der Amtshaftung der Stadtentwässerung, dass das übergestaute Wasser aus der Kanalisation oberhalb der Bemessungsgrenze *Überstauhäufigkeit maximal 1-mal in 3 Jahren* in der öffentlichen Fläche (Straßen, Plätze, Parkanlagen etc.) bis zu der Überflutungshäufigkeit von maximal 1-mal in 20 Jahren schadlos zwischengespeichert oder abgeleitet werden muss, um Überflutungsschäden zu vermeiden. Die Gestaltung der Oberfläche, um einen Überflutungsschutz zu erreichen, liegt aber in der fachlichen Verantwortung der Fachdisziplin Straßenplanung. Nach REwS_2021 wird die Straßenentwässerung aus Verkehrssicherheitsaspekten für geringeren Regenereignissen zwischen 1 bis 5 jährliche Wiederkehrenzeiten bemessen. Es wird erwähnt, dass gegebenenfalls auch selteneren Regenereignissen in Bezug auf der Überflutungssicherheit zu wählen sind, eine genaue Vorgabe für den Straßenplaner erfolgt aber nicht, sondern es wird auf die siedlungswasserwirtschaftlichen Richtlinien hingewiesen. Hier bleibt es eine Abwägungsfrage für den Straßenplaner, ob ein höherer Schutz angestrebt werden soll oder nicht. Der planerische Nachweis für eine Überflutungssicherheit bedarf oft einer Modellierung des Oberflächenabflusses und liegt normalerweise außerhalb der Fachkompetenzen der Straßenplaner. In der Praxis wird die Straßenentwässerung daher oft nach den genannten Vorgaben in REwS_2021 dimensioniert und die Zuständigkeit für Planung, Bau und Betrieb eines Überflutungsschutzes oberhalb der Kanalbemessungsgrenze auf der öffentlichen Fläche nicht geklärt; obwohl es in der Amtshaftung der Kommune liegt.

1.2 Verbesserungspotential für kommunale Planungsprozesse

Die Arbeitsprozesse in der kommunalen Verwaltung sind gekennzeichnet durch sektorale geprägte Zielvorgaben, Finanzierungsvorgänge und Aufgabenausführung und zielen nicht auf integrale, ressourceneffiziente und synergetische Lösungen ab.

Die Planungsprozesse finden auf unterschiedlichen Ebenen in verschiedenen Detaillierungsgraden, mit verschieden Randbedingungen und Beteiligungs routinen je nach Fragestellung statt. Auf der übergeordneten, gesamtstädtischen Ebene findet die großräumliche städtebauliche Entwicklung und die Flächennutzungsplanung statt, auf einer mittleren Ebene die Quartiersentwicklung und die Sanierungsgebietplanung. Der größte Detaillierungsgrad wird auf der unteren Ebene bei der konkreten Objektplanung erreicht.

Die jeweilige prozessinitierende Person führt bei Bedarf eine anlassbezogene Beteiligung mit den Fachdisziplinen herbei, wenn sie auch selbst die Notwendigkeit zur Beteiligung erkennt. Ein gemeinsames Zielverständnis ist vorerst nicht notwendig, da die initiiierende Person den Prozess selbst gestaltet. Durch die sektorale Aufgabenwahrnehmung und die nicht vorhandene integrale Zielvorgabe wird eine allgemeine Bekanntgabe der Planungsabsichten zwecks Erreichung möglicher Synergieeffekte mit weiteren Fachbereichen nicht als notwendig erkannt bzw. erachtet.

Die Umsetzung vollzieht sich daher zumeist mit Blick auf die eigenen Fachdisziplinen übertragenen Aufgaben und das dafür bereitgestellte Budget. Die Verbindung zu den übergeordneten Nachhaltigkeitszielen der Stadt wird teilweise nicht kommuniziert und/oder als nicht notwendig erachtet. Integrale Ansätze, ausgelöst durch „fachbereichsfremde“ Institutionen/Sacharbeiter*innen, die eine Auswirkung auf den eigenen Wirkbereich und eventuell auf den eigenen Haushalt haben, werden als „Störung/Bedrohung“ empfunden und häufig abgeblockt.

Um unsere Städte und Quartiere mit ihren bestehenden Infrastrukturen ressourceneffizient und wirtschaftlich an den Auswirkungen des Klimawandels anpassen zu können, fehlen integral ausgerichtete Bedarfs- und Datenanalysen sowie sektorübergreifende Arbeitsprozesse mit geeigneten Tools für die kommunalen Planungsprozesse. Die politischen Entscheidungen und Zielvorgaben sind oft nur sektorale geprägt, wie zum Beispiel die Schaffung von Wohnraum, Schaffung von Radwegen, Sanierung von Stadtteilparks, Sanierung von Straßen etc. Eine integrale, nach den spezifischen Quartiersbedarfen ausgerichtete, ressourceneffiziente Planung, die auch Synergie- und Nutzeffekte herausstellt und bei der verschiedene zur Auswahl stehende Maßnahmen mit ihren möglichen Konsequenzen für das Quartier in einem **quartierspezifischen Maßnahmenplan** der politischen Ebene zur Entscheidung vorlegen können, gibt es derzeit in Hannover noch nicht. Hier wird ein großes Verbesserungspotential gesehen durch Entkopplung der politisch/gesellschaftlichen Entscheidung bei konkurrierender Zielerreichung von der fachplanerischen Aufgabe der integralen Lösungsfindung bzw. Formulierung optimierter Entwicklungsvarianten (vgl. Kap. 2.3). Beide Schritte sind eingebunden in einen strategischen Planungsprozess.

Bezogen auf das in **TransMiT** adressierte Thema der Transformation der Entwässerung im urbanen Bestandsgebiet sind es insbesondere die Möglichkeiten, die sich durch die verfügbaren technischen und naturnahen blau-grünen Maßnahmen im Hinblick auf Klimawandelanpassung ergeben, die ein kollektives, kooperatives Handeln zwischen den Fachbereichen der Verwaltung unbedingt notwendig machen, um das übergreifende städtische Leitbild einer klimaangepassten Stadt zu erfüllen. Was bei Neubauprojekten mit Pilotcharakter gelingt durch den gemeinsamen ausformulierten Leitgedanken (Pilotprojekt, s. u.), die

Gleichzeitigkeit der Planungsphasen und damit der Möglichkeit eines intensiven Austauschs der verschiedenen Fachplaner, fehlen diese den integralen Austausch unterstützenden Komponenten bei der Bestandsentwicklung. Über die in **TransMiT** durchgeführten fachübergreifenden Workshops wurden die folgenden Kernpunkte identifiziert, die eine abgestimmte Planung und deren Umsetzung auf den verschiedenen Planungsebenen und -bereichen der Bestandsentwicklung verbessern können:

- Die Entwicklung und Dokumentation eines gemeinsamen Zielverständnisses über die Erkennung und Anerkennung der gemeinsamen Oberziele sowie der für die verschiedenen Planungsbereiche hieraus abgeleiteten angestrebten Zustandsindikatoren (übergeordnet und auf Quartiersebene);
- Die Förderung einer offenen vertrauensvollen Zusammenarbeit über Kenntnisse von Aufgaben und Hemmnissen der verschiedenen Fachdisziplinen durch verbesserte, standardisierte und an den Schnittstellen abgestimmte integrale Arbeitsprozesse;
- Die Bereitstellung von Tools um Synergieeffekte und wirtschaftliche integrale Lösungen zu erkennen und mit vereinfachten Ansätzen in die strategische Planung einbinden zu können ohne frühzeitigen hohen Aufwand auf Objektplanungsebene;
- Über Bedarfs- und Datenanalyse Potentiale für Bedarfsbefriedigung zu erkennen und allen Planungsprozessen der Fachdisziplinen quartiersspezifisch zur Verfügung zu stellen;
- Anreize für die Fachbereiche zu schaffen, um in einem integralen Prozess mitzuwirken;
- Über Tools bedarfsgerechte Entwicklungsalternativen der Vorhaben beschreiben, mit Darstellung der Konsequenzen in Bezug auf die langfristigen Ziele (SDGs) bei verschiedenen Varianten sowie die jeweiligen maßgebend beeinflussenden Prognoseredaten;
- Über einen definierten Arbeitsprozess Grundlagen für transparente politische Beschlussfassungen zu schaffen, die mit dem Wissen um die damit verbundenen Konsequenzen getroffen werden. Hier geht es auch um eine generationengerechte Verantwortung für Entscheidungen.

Für die Lösung ist ein gemeinsames Handeln erforderlich, für das es geregelte Arbeitsprozesse, Finanzierungsoptionen und Festlegung von Betreiberverantwortlichkeiten bedarf. Ansatzpunkte zu den in **TransMiT** durch die übergeordnete inhaltliche Fragestellung der Transformation des Entwässerungssystems im Fokus stehenden Herausforderungen und Schnittstellen i) Regenwasserbewirtschaftung ii) Annäherung an den natürlichen Wasserhaushalt iii) Überflutungsschutz/Starkniederschläge iv) Hitzevorsorge v) Bewässerung von Stadtgrün und vi) Einbindung privater Grundstückseigentümer sind in den nachfolgenden Unterkapiteln konkret aufgezeigt. Die Bedarfe haben sich in einem ersten Workshop bestätigt und erforderliche Arbeitsschritte der Institutionalisierung in zwei weiteren Workshops erprobt – die Workshops werden in Teil B 1.4 bis 1.6 näher beschrieben, in den nachfolgenden Kapiteln A.III 2 bis 4 werden die verschiedenen Arbeitsschritte erläutert, über die diese Ziele erreicht werden können. Die inhaltlich-technischen Herausforderungen wurden in den Abschnitten A.I und A.II aufgegriffen und Lösungsansätze beschrieben.

Vertreter*innen des **TransMiT** Konsortiums waren neben den projektbezogenen und hier dargestellten Arbeiten intensiv an der Erstellung der DIN SPEC 91468 „Leitfaden für ressourceneffiziente Stadtquartiere“ (2022) beteiligt, die 2022 veröffentlicht wurde. Die DIN

SPEC definiert Anforderungen an ein effizientes Schnittstellenmanagement für die Ressourceneffizienz in Bestands- und Neubauquartieren und beschreibt Vorgehensweisen die räumliche und sektorale Planungs- und Genehmigungsverfahren so abzustimmen, dass die Kooperation zwischen privaten und öffentlichen Stakeholdern sichergestellt und multifunktionale Nutzungen verankert werden. Das Dokument unterstützt eine integrierte Analyse, Bewertung und Planung auf Quartiersebene. Dabei geht es um die Beiträge von Flächen-, Wasser-, Energie-, Stoffstrom- und Grünflächenmanagement zu einer nachhaltigen Entwicklung von Stadtquartieren.

1.2.1 Gewässerschutz/ordnungsgemäße Regenwasserbewirtschaftung durch Transformation des Entwässerungssystems

Im Verantwortungsbereich der Stadtentwässerung liegt die Minimierung der Gewässerbelastung durch die Einleitungen aus den misch- und trennentwässerten Systemen und Klärwerken. Hierfür wurde im Stadtgebiet Hannover seit den 70er Jahren die *Entwässerung schrittweise von Misch- auf Trennentwässerung umgestellt* und die Mischwasserentlastungsanlagen¹¹ geschlossen. Ziel war es, die Gesamtanzahl der Mischwasserentlastungen im Stadtgebiet zu reduzieren und somit auch die Gewässerbelastung zu verringern.

Aufgrund der Quartiersstruktur - mit geschlossenen Innenhöfen und Satteldächer mit einer Regenwasserentwässerung über die Innenhöfe und die unter dem Kellerboden liegenden Schmutzwasserleitungen mit Anschluss an der Schmutzwasserkanalisation - gelang die Umstellung im Bestandsgebiet bisher nur zu etwa 70 %. Ein Grund dafür war die politische Entscheidung, dass eine Pflicht zur Neuverlegung von Regenwasseranschlusskanäle durch die Kellergeschosse den Grundstückseigentümern nicht zuzumuten ist.

Durch die Schließung der Mischwasserentlastungsanlagen und durch die nicht vollständig gelungene Umstellung wird das Klärwerk im Regenwetterfall höher belastet und dies führt zu nicht erwünschten Betriebszuständen. Im öffentlichen Bereich ist es aufgrund der vorhandenen Infrastruktur mit ihrer intensiven Nutzung und einer Vielzahl von Interessen sehr schwierig, weitere Abkopplungsmaßnahmen zu generieren. Im Rahmen der Sanierung von Straßen und Plätzen könnten Abkopplungsmaßnahmen möglich sein.

Die Kenntnisse von Planungsabsichten anderer Fachbereiche und die Zielkonflikte, die entstehen, machen es aber auch hier sehr schwierig die notwendigen umfangreicheren Abkopplungen zu erreichen. Aufgrund der Tatsache, dass im Stadtgebiet etwa 50 % der Fläche im Privatbesitz ist, muss im Sinne der öffentlichen Daseinsvorsorge auch überlegt werden, welche Möglichkeiten die Stadtentwässerung als öffentlicher Daseinsvorsorger hat, Zugang zu Maßnahmen auf Privatflächen zu bekommen bzw. über welche Anreize die Grundstückseigentümer zur Abkopplung gewonnen werden können und ob auch Abwassergebühren für Anreizsysteme eingesetzt werden können.

¹¹ Mischwasserentlastungsanlagen sind Bauwerke in einem Entwässerungssystem mit Schmutzwasser und Regenwasser in einem Kanal. Das Bauwerk ist mit einem Überlauf in ein Gewässer versehen, um bei Niederschlägen, wenn die Kanalisation ihre Kapazitätsgrenze erreicht hat, mit Regenwasser stark verdünntes Schmutzwasser abschlagen zu können.

1.2.2 Schnittstelle Gewässerschutz/ordnungsgemäße Regenwasserbe- wirtschaftung durch Abkopplung Entwässerungsflächen

Die Entwässerung der Innenstadt Hannovers ist historisch gewachsen und wird im Mischsystem ausgeführt. Die umliegenden Stadtteile entwässern zumeist in einem Trennsystem. Wenn in den Stadtteilen/Quartieren kein Vorfluter zur Verfügung steht, leiten diese Regenwasserkanäle weiterhin in das vorhandene städtische Mischwassernetz ein, mit entsprechend vorgesehenen Abschlägen in das Gewässer, wenn die Bemessungsgrenze erreicht ist. Um die Gewässerbelastung durch die vorhandenen Mischwasserentlastungsanlagen zu reduzieren, ist jede Abkopplung ein Gewinn. Auch hier ist eine Umsetzung schwierig, da sie meistens nur über integrale Ansätze zu lösen ist. Die Einbindung von privaten Grundstückseigentümern erschließt zusätzliche Potentiale.

Mit der qualitätsbasierten Trennentwässerung, also der Abkopplung von Teilflächen im Quartier, die eine gute Qualität erwarten lassen sowie dem Ziel der Abschlagsfreiheit für den Mischwasserkanal (angestrebt u. a. durch erweiterte NW-Speicherung und Rückhalt im Quartier sowie eine im Starkregenfall gezielte Begrenzung der NW-Annahme entsprechend Speicherkapazität im Kanal bzw. Annahmekapazität der Kläranlage und Implementierung oberflächiger Abflusswege, siehe A.I), wird ein großes Potential der Umsetzung in innerstädtischen Bestandsgebieten verbunden. Zum einen ergeben sich verringerte Flächenbedarfe für die Errichtung von im Sinne des Gewässerschutzes notwendigen dezentralen NW-Behandlungsanlagen. Zum anderen gibt es mit Blick auf die die Bereitstellung von qualitativem NW große Potentiale der gemeinsamen Nutzung und Errichtung multifunktionaler infrastruktureller Bauwerke aus dem Bereich der Starkregenvorsorge, Hitzeschutz und Wasserversorgung.

1.2.3 Schnittstelle Annäherung an den natürlichen Wasserhaushalt

Die Gesetze und Regelwerke werden nach und nach an die Erfordernisse der Klimawandelanpassung angepasst. Mit der Veröffentlichung des neuen technischen Regelwerkes DWA-A 102 mit Merkblättern werden höhere Emissions- und Immissionsanforderungen an Gewässereinleitungen gestellt. Unter anderem wird auch die Erhaltung des lokalen Wasserhaushaltes für neu erschlossene Siedlungsgebiete in dem neuen Regelwerk A 102 gefordert. Diese Regelwerke legen die Anforderungen an Einleitungsgenehmigungen für die Stadtentwässerung bereits fest und die Zielsetzung ist es, weitestgehend Regenwasser vor Ort zu bewirtschaften. In Bestandsquartieren ist dies nur über integrale Ansätze gemeinsam mit den öffentlichen und privaten Grundstückseigentümern zu lösen. Technische Vorgaben oder Regelwerke der ebenfalls über die übergeordneten Nachhaltigkeitsziele betroffenen Bereiche zum Ressourcenschutz, CO₂-Emissionsminderung, Minimierung der Hitzebelastung etc. liegen bisher nicht vor, sodass hier ein großes Potential in der internen Formulierung solcher Anforderungen auf Quartiers- oder Stadtebene gesehen wird, um der Multifunktionalität der Maßnahme „Annäherung an den natürlichen Wasserhaushalt“ an sich eine Sichtbarkeit und damit Relevanz der Umsetzung zu geben.

1.2.4 Schnittstelle Überflutungsschutz/Starkniederschläge

Seit 2019 ist die Starkregenvorsorge für das Stadtgebiet Hannover verwaltungstechnisch der Stadtentwässerung übertragen worden. Die Verantwortung zur Vorsorge ist aber gleichmaßen der privaten sowie der öffentlichen Hand gegeben. Da das Entwässerungssystem

nur für geringere Bemessungsfälle ausgelegt ist und eine flächendeckende Vergrößerung des Entwässerungsnetzes nicht sinnvoll ist, müssen integrale Lösungen in dem Zusammenspiel von Oberfläche, Kanalnetz und Gewässer erarbeitet werden. Multifunktionale Nutzung von Verkehrsflächen und Freiflächen für eine kontrollierte temporäre Notableitung und Rückhaltung von Starkniederschlägen sollte bei der Planung und Betrieb gleich mit bedacht werden, um ressourcenoptimiert und wirtschaftlich Infrastrukturmaßnahmen multifunktional einsetzen zu können. Smarte Infrastrukturbauwerke unterstützen hierbei die Kommunen – müssen aber im Hinblick auf Meldestrukturen und Datenaustausch weiter miteinander abgestimmt werden. Hier gibt es ein hohes Potential im Rahmen der kommunalen Digitalisierungsinitiativen, die vermehrt im Hinblick auf den integralen Betrieb städtischer Infrastruktur ausgerichtet werden können, als es zur Zeit der Fall ist (vornehmlich Visualisierung und Transparenz). Über Schadenspotentialanalysen kann die Dringlichkeit der Maßnahme dargestellt und eingeordnet werden und sollte als Standard-Input in verschiedenen Planungsprozessen dienen. Hier ist auch die Weitergabe der Informationen an private Grundstücksbesitzer über die vorhandenen Schadensrisiken- und Kostenrisiken ein wichtiger Ansatzpunkt, die Starkregenvorsorge als eine gemeinsame stadtgesellschaftliche Aufgabe zu verstehen und damit auch zu unterstützen.

1.2.5 Schnittstelle Hitzevorsorge

Mit der Stadtclimaanalyse und der daraus abgeleiteten Anpassungsstrategie an den Klimawandel der Stadt Hannover sind die Grundlage geschaffen worden, um Gebiete zu identifizieren, die bezüglich einer Hitzevorsorge Handlungsbedarf aufzeigen. Die größten Handlungsbedarfe zeichnen sich in den dicht bebauten Stadtquartieren mit hohen Versiegelungsgrad ab, in denen die Begrünungsmöglichkeiten beschränkt sind. Aufgrund der vorhandenen Infrastruktur können Maßnahmen nur über integrale Ansätze gemeinsam mit den öffentlichen und privaten Grundstückseigentümern erarbeitet werden. Durch Entkopplung und Entsiegelung von befestigten Flächen können Synergienutzungen zur Hitzevorsorge (Verdunstungskühlung) durch das dann zur Verfügung stehende Wasserdargebots erzielt werden (Stadt Hannover 2022b). Aufgrund des hohen Flächennutzungsdruck werden zukünftig auch Gebäudeoberflächen stärker in die Hitzevorsorge einbezogen werden müssen. Insbesondere die Materialauswahl kann hier sowohl im Hinblick auf die Strahlungsaufnahme/-abgabe und den Wärmestransport/-speicherung eine wichtige Rolle spielen, sowie im Hinblick auf die Wasserqualität des abfließenden Regens. Neben Beschränkungen aus stadtplanerisch-/architektonischer Sicht bietet eine auf die o. g. Aspekte ausgerichtete Rahmengebung Potentiale der integralen Quartiersentwicklung.

1.2.6 Schnittstelle Bewässerung von Stadtgrün

Die immer häufiger auftretenden längeren Hitze- und Trockenperioden erhöhen den Wasserbedarf der städtischen Grünflächen und Bäume. Zusätzlich generiert die Beibehaltung bzw. angestrebte Vergrößerung von Grünvolumen als essentiellen Bestandteil der urbanen Hitzevorsorge und Wasserhaushalts (siehe Kap. 1.2.3 und 1.2.5 Verdunstungskühleffekt) im urbanen Bereich weiteren Wasserbedarf zur Aufrechterhaltung der Funktion (siehe auch A.II, Kap. 3). Es ist damit zu rechnen, dass das Wasserdargebot über die öffentliche Trinkwasserversorgung beschränkt wird. Umso wichtiger wird eine Beibehaltung des lokalen Wasserhaushaltes, die Minimierung der Ableitung des Regenwassers und die Speicherung des Regenwassers ortsnah für Bewässerungszwecke. Neben der Nutzung des Niederschlagswassers zur Stärkung des natürlichen Wasserhaushaltes müssen die Potentiale zur

Substitution von Trinkwasser zunehmend auch in Deutschland im Sinne einer ressourcen-optimierten Stadtplanung identifiziert werden. Zisternen können den Niederschlagswasserabfluss von Dachflächen, Hofflächen, Wegen und Straßen auffangen. Sie kommen im Straßenraum zum Einsatz, wenn die Bewässerung blau-grüner Infrastrukturen, insbesondere in Trockenperioden, sichergestellt werden soll, d. h. für Grünflächen, Straßenbäume und Vertikalbegrünungen (DinSpec 91468, 2022). Hierzu müssen integrale Lösungen in Zusammenarbeit mit privaten und öffentlichen Grundstückseigentümern sowie der Stadtentwässerung erarbeitet werden. In Anlehnung und Ergänzung an die durch das technische Regelwerk vorgegebenen Anforderungen an die Wasserleitung und jetzt ergänzt an den Wasserhaushalt sollten auf Quartiersebene Mindestrückhaltevolumen zur Bereitstellung von Bewässerungswasser mit Bezug zur Grünflächenplanung definiert und festgeschrieben werden.

1.2.7 Schnittstelle Einbindung privater Grundstückseigentümer

Ca. 50 % der urbanen Flächen befinden sich im Privatbesitz. Für eine Gewinnung von privaten Grundstückseigentümern zur Durchführung von investiven Maßnahmen mit kollektivem Nutzen für Klimawandelanpassung oder NW-Bewirtschaftung auf dem eigenen Grundstück sind beispielsweise die Abwassersatzung und bauplanrechtliche Vorgaben noch nicht ausreichend angepasst. Auch wenn es durchaus Anreize aus beispielsweise ethischer Sicht (Firmendarstellung etc.) gibt, ist die Umsetzung erschwert durch nicht integral angepasste städtische Vorgaben. Wie oben dargestellt, würden für die verschiedenen Bereiche definierte Anforderungen und Rahmenvorgaben die Umsetzung unterstützen und eine integrale Planung damit auch im Bereich der Klimaanpassung fördern.

Gleichzeitig besteht neben den eher normativen Vorgaben auch in der Kommunikation zwischen Stadtplanung und Privaten Entwicklungspotential. Es zeigt sich, dass insbesondere die Entwicklungsziele und Investitionsplanungen der großen privaten Liegenschaftsbewirtschafter (Wohnungsbaugesellschaften und –genossenschaften, aber auch Universitäten oder größere Wirtschaftsbetriebe) nicht für die strategische Quartiersplanung der Kommune vorliegen noch umgekehrt. Hier liegt insbesondere wirtschaftliches und auch umsetzungszeitlich großes Potential, die „Sowieso“-Investitionen im Rahmen von Instandhaltung und Neubau in die quartiersspezifische Transformation offensiver einzubinden.

2. Einbindung integraler Planungsansätze in ausgewählte kommunale Prozesse

Wie im vorangegangenen Kapitel dargestellt, ist ein integraler Planungsansatz für eine interdisziplinäre Zusammenarbeit zur Bewältigung der Herausforderungen der Klimawandelanpassung als fachbereichsübergreifende Aufgabe unverzichtbar.

Ein wichtiger Schritt hierbei ist, alle Fachbereiche dahingehend zu motivieren, die Klimafolgenanpassung als Teil ihres Aufgabenspektrums zu sehen und frühzeitig in ihren jeweiligen Fachprogrammen und Planungen mitzudenken. Ein ebenso zentraler Schritt ist es, die hierfür notwendigen Prozesse und Strukturen zu schaffen. Sowohl bei der Objektplanung als auch bei eher strategischen Planungsschritten müssen Kommunikationsprozesse, Ziel- und Maßnahmenabstimmungen weiterentwickelt werden und Schnittstellen zu integralen Werkzeugen/Tools und Analyseverfahren definiert werden.

Vor diesem Hintergrund werden im Folgenden zunächst die bestehenden kommunalen Planungsebenen vorgestellt. Darauf aufbauend wird die Frage betrachtet, wie die integralen Planungsprozesse verbessert werden können. Um die Komplexität zu begrenzen, wurde hierfür die Objektebene betrachtet. Im Anschluss werden Vorschläge erarbeitet, durch welche Prozesse und Strukturen sich die Quartiersebene stärken lässt.

Kernaussagen

- *Die Quartiersebene bietet die besten Rahmenbedingungen für eine integrale Planung: Einerseits ist der Betrachtungsraum klein genug, um die lokalen Besonderheiten wahrnehmen und so bei der konkreten Maßnahmenplanung berücksichtigen und umsetzen zu können. Andererseits ist er groß genug, um sektorale Sichtweisen aufgeben und Synergien erkennen und nutzen zu können.*
- *Die Transformation zu einer klimawandelangepassten, ressourceneffizienten, wasserbewussten und lebenswerten Stadt kann nur gelingen bei einem gemeinsamen Zielverständnis, konsequenter Zusammenarbeit aller an der Stadtentwicklung beteiligten/befassten Sektoren im Verwaltungshandeln und mit gekräter Finanzierung der Maßnahmen.*
- *Gut handhabbare Prozessstrukturen und Tools zur Unterstützung und Vereinfachung integraler Abstimmungs- und Planungsprozesse bilden die Voraussetzung, damit sich die integrale Planung zur Standardmethodik in der kommunalen Praxis entwickelt.*
- *Eine frühzeitige ergebnisoffene Kommunikation ist für einen gelungenen integralen Planungsprozess von grundsätzlicher Bedeutung.*
- *Für die effektive Ausgestaltung des Transformationswegs ist für Bestandsquartiere die Entwicklung eines integralen fachplanungsübergreifenden Zielkonzepts, das durch die Politik bestätigt und anerkannt wurde, essentiell. Die integrale Planung kann potentielle Vorzugslösungen entwickeln, weiterhin nicht auflösbare Zielkonflikte können nur über die politischen Gremien mittels Priorisierung entschieden werden.*
- *Mit der Einrichtung eines interdisziplinär besetzten Kompetenzteams Klimaanpassung mit Vertretenen aus den an der Stadtentwicklung beteiligten/befassten Sektoren (Wasserwirtschaft, Stadtplanung, Freiraumplanung, Tiefbau, Mobilität, Umweltschutz, Gebäudemanagement usw.) können die Kompetenzen zur Klimawandelanpassung in einer Stadtverwaltung vertieft werden.*
- *Mit dem entwickelten integralen Planungsprozess „Stadt-Quartier 2050+“ kann die Festlegung von strategischen Leitplanken auf Quartiersebene unterstützt und ein konkreter Rahmen für die Planung und Umsetzung der Pflichtaufgaben einzelner Fachbereiche gegeben werden.*

2.1 Überblick über kommunale Planungsebenen

Kommunale Planungen finden allgemein auf drei Planungsebenen statt, die im Folgenden anhand der Landeshauptstadt Hannover beispielhaft erläutert werden.

Gesamtstädtische Ebene:

Mit Blick auf das gesamte Stadtgebiet werden fachspezifische Konzepte/Programme erstellt, in Hannover sind dies beispielsweise das „Wohnkonzept 2025“, die „Leitlinien zur Gewerbeflächenentwicklung“, der „Masterplan Mobilität 2025“ oder das „Freiraumentwicklungsconcept – Stadtgrün 2030“. In sektoraler Betrachtung werden Ziele und Rahmenbedingungen festgelegt, die, wenn sie von der Ratspolitik beschlossen werden, zu einer verbindlichen Planungsvorgabe für die nachfolgenden Planungsebenen werden. Die sektorale Betrachtung führt dazu, dass die Konzepte/Programme durchaus konkurrierende Ziele verfolgen (können). Gesamtstädtische formale integrale Planungen erfolgen derzeit im Rahmen der Flächennutzungsplanung als formale vorbereitende Bauleitplanung. Allerdings wurde der Flächennutzungsplan in Hannover zuletzt 1978 neu aufgestellt. Seitdem erfolgten lediglich Änderungen in Teilbereichen, wenn diese im Zuge neuer/geänderter Bebauungspläne erforderlich werden. Diese Anpassungen sind nicht mit einem integralen vorgelagenen strategischen Planungsprozess verknüpft.

Darüber hinaus hat die Landeshauptstadt mit „Mein Hannover 2030“ nach einem substantiellen und umfassenden Stadtdialog im Jahr 2016 ein themenübergreifendes informelles Stadtentwicklungsconcept vorgelegt. Diese formulierten Ziele, Strategien und konkrete Referenzprojekte auf allen Handlungsfeldern der Stadtentwicklung. Es fungiert als auf das gesamte Stadtgebiet bezogener Orientierungsrahmen für das planerische und politische Handeln der kommenden Jahre, berücksichtigt aufgrund des Betrachtungsraums „Stadt“ aber nicht die verschiedenen Rahmen- und Randbedingungen der Stadtquartiere im speziellen.

Objektebene:

Der Handlungsrahmen von Planungen auf der Objektebene ist kleinräumlich: es geht beispielsweise um die Erneuerung einer Straße, die Umgestaltung eines Stadtteilparks oder die Nachverdichtung im Bestand durch Schließung einer Baulücke. Die planenden Fachdisziplinen sind jeweils an eine Vielzahl rechtlicher Vorgaben (Gesetze, DIN-Normen, Bauvorschriften und technische Regelwerke) gebunden. Hinzu kommen Festsetzungen in Gelungsbereichen von Bebauungsplänen (diese könnten jedoch im Zuge eines formalen Änderungsverfahrens angepasst werden, wenn der Bedarf gesehen wird).

Quartiersebene:

Die Quartiersebene stellt die Zwischenebene zwischen der gesamtstädtischen Ebene und der Objektebene dar (siehe Abbildung 44), wobei die Größe eines Quartiers nicht fest definiert ist. „*Quartiere sind der Ort, an dem alle städtischen Funktionen wie Wohnen, Dienstleistungen, Gewerbe und Verkehr verortet sind. Dabei ist die Einbindung in übergeordnete natürliche und technische sowie soziale/gesellschaftliche Systeme, die über die Grenzen eines Quartiers hinausgehen, zu berücksichtigen*“ (BMBF 2017). Beispiele für quartiersbezogene formale Planungsprozesse in Hannover sind z. B. die Bebauungsplanverfahren für Neubauquartiere wie Kronsberg-Süd, Buchholzer Grün, Wasserstadt Limmer oder Herzkamp. Als informelles integrales Planungsverfahren wurde in Hannover auf Stadtbezirks ebene der „Mein Quartier 2030“-Prozess als teilräumliche Konkretisierung des gesamtstädtischen Entwicklungskonzepts „Mein Hannover 2030“ eingeführt (vgl. A.III, Kap. 2.3). Aus Sicht der Entwässerungsplanung ist die maßgebende Begrenzung das Teileinzugsgebiet

(also die Flächen, die an die in der Straße liegende Kanalisation einleiten), das sich wiederum aus Einzelflächen entlang einzelner Rohstränge zusammensetzt. Ähnlich wie beim Verkehrsfluss aber anders als z. B. bei der Bewässerung, haben bei der Betrachtung der NW-Bewirtschaftung auf Quartiersebene die Bewirtschaftungskonzepte auch der vorgelagerten Quartiere/Flächen einen relevanten Einfluss.



Abbildung 44: Quartiersebene als strategische Planungsebene und ihre Kommunikationsbeziehungen

Die zu Beginn in **TransMiT** aufgestellte These war, dass sich integrale Planungsansätze am wirkungsvollsten auf der Quartiersebene umsetzen lassen, da sie klein genug sind, um mit verschiedenen Fachplanungen gemeinsam an Lösungen zu arbeiten und konkrete Maßnahmen zu planen und umzusetzen und groß genug sind, um über den Tellerrand der Fachdisziplinen hinausschauen und Synergien erkennen und nutzen zu können. Die Quartiersebene eignet sich daher als strategische Planungsebene für die Objektebene: Es können strategische Entscheidungen in Form einer Quartiersstrategie getroffen werden, die dann den Rahmen für die Objektebene = Umsetzungsebene bilden.

Beispiel: Die Quartiersstrategie legt fest, dass Hitzevorsorgemaßnahmen ergriffen werden müssen, in den Bereichen, in denen die Stadtklimaanalyse Hitze-Hotspots ausweist. Welche Maßnahme im Einzelnen geplant wird, entscheidet sich erst auf der Objektebene. Nicht überall sind Hitzevorsorgemaßnahmen möglich, aber wenn sich Straße A für eine Baumreihe eignet, kann in Straße B – die aufgrund von Leitungen nicht geeignet sind (= Restriktion aus der Objektebene) – stattdessen überdimensionierte Verkehrsflächen entsiegelt und Blühflächen angelegt werden und damit gleichzeitig ein Überflutungsproblem bei Starkregen entschärft werden.

Um diese strategische Potenziale der Quartiersebene auszunutzen, muss diese strategische Ebene im Planungsprozess gestärkt werden, d. h. u. a. strategische Ziele auch auf Quartiersebene formulieren und z. B. die Belange der Starkregen- und Hitzevorsorge als strategische Ziele mit angestrebten Zustandsindikatoren zu verankern, Kommunikationsprozesse zwischen den Fachplanungen verbessern und strategische Entscheidungen auf politischer Ebene durch die Verwaltung vorzubereiten und anschließend als Leitlinie zu dokumentieren. Demgegenüber ist die Objektebene zwar Ort der konkreten Gestaltung und

damit die eigentliche Umsetzungsebene, aber so kleinräumig und in der konkreten Umsetzung planungs- und abstimmungsintensiv, dass eine strategische integrale Abstimmung über Fachbereiche hinaus nicht möglich ist, es also strategischer Vorgaben von der Quartiersebene bedarf, um die Planung eines Platzes oder eines Straßenabschnittes in großräumige strategische Entwicklungen einzubinden bei gleichzeitig bewältigbarem Abstimmungsaufwand. Gleichwohl ist die Objektplanung die Ebene, auf der innovative Technologien aufgegriffen und implementiert werden müssen. Hier sind im aktuellen Ablauf zahlreiche Defizite festzustellen, wie die sektorale Sichtweise bei der Planung sowie die häufig zu späte Abstimmung der ausführenden Fachplanung mit anderen Fachplanungen mit der Folge, dass Synergieeffekte nicht erkannt werden. Durch die gezielte Ergänzung der strategischen Planung auf Quartiersebene im gesamtstädtischen Planungsprozess können diese Defizite behoben werden, ohne bewährte Planungsabläufe auf Objektplanungsebene zu kompromittieren.

Daher werden im Folgenden zwei Zielstellungen verfolgt: Zuerst wird die Frage betrachtet, wie die integralen Planungsprozesse verbessert werden können. Aus o. g. Gründen wurde in **TransMiT** hierfür die Objektebene ausgewählt. Im Anschluss wurden im Sinne der Umsetzung Vorschläge für Prozesse und Strukturen erarbeitet, durch die Planungsprozesse auf Quartiersebene unterstützt werden.

2.2 Planungsprozess auf Objektebene

Die Anwendung eines integralen Ansatzes bedeutet, dass jede Fachplanung beim Herangehen an neue Aufgaben abprüft, ob

- die Aufgabe in Verbindung mit weiteren Fachplanungen erarbeitet werden sollte.
- durch die Aufgabenbearbeitung auch (welche?) weitere Ziele (u. a. die SDGs) der Verwaltung angesprochen und erfüllt werden können und somit ein Mehrwert durch Synergieeffekte für verschiedene Zielvorstellungen generiert werden kann.
- die Aufgabe Zielkonflikte mit anderen Aufgaben beinhaltet.

Dies ist mit den gegenwärtig üblichen Prozessen zum Informationsaustausch und zur Abstimmung nicht möglich. Hierzu wurde mit Unterstützung von zwei Planspiel-Workshops ein Vorschlag zur Verbesserung des **Kommunikationsprozesses** getestet sowie Inhalte des **Prozessablaufs** entwickelt.

2.2.1 Verbesserung des Kommunikationsprozesses

Stehen größere Um- oder Neuplanungen oder Bebauungsplanverfahren an, gibt es schon heute ein umfängliches Abstimmungsprocedere. Der Informationsfluss ist dabei bilateral: Die federführende Fachplanung verteilt ihre ersten Planungsentwürfe an eine Vielzahl beteiligter Fachplaner*innen und bekommt fachliche Inputs in Form von fachspezifischen Planungsgrundlagen, rechtlichen Vorgaben, Zielen und Handlungsoptionen zurück (siehe Abbildung 45).

Das Problem dieser bilateralen Kommunikation ist, dass die beteiligten Fachplanungen die fachlichen Inputs der anderen nicht kennenlernen und nicht in die Lage versetzt werden, Synergien zu erkennen. Es fehlt der fachliche Austausch aller beteiligten Fachplanungen untereinander und ein Kommunikationsprozess, in dem gemeinsam und interdisziplinär an

der Erarbeitung von ganzheitlichen Lösungsansätzen gearbeitet wird. Die anfragende Fachplanung (in Abbildung 45 „Fachplanung A“) hat zudem das Problem, dass sie ggf. mit konkurrierenden fachlichen Inputs konfrontiert wird (Beispiel: Stellplätze vs. Baumstandorte), deren Abwägung gegeneinander aber nicht ihre fachliche Kompetenz betrifft.

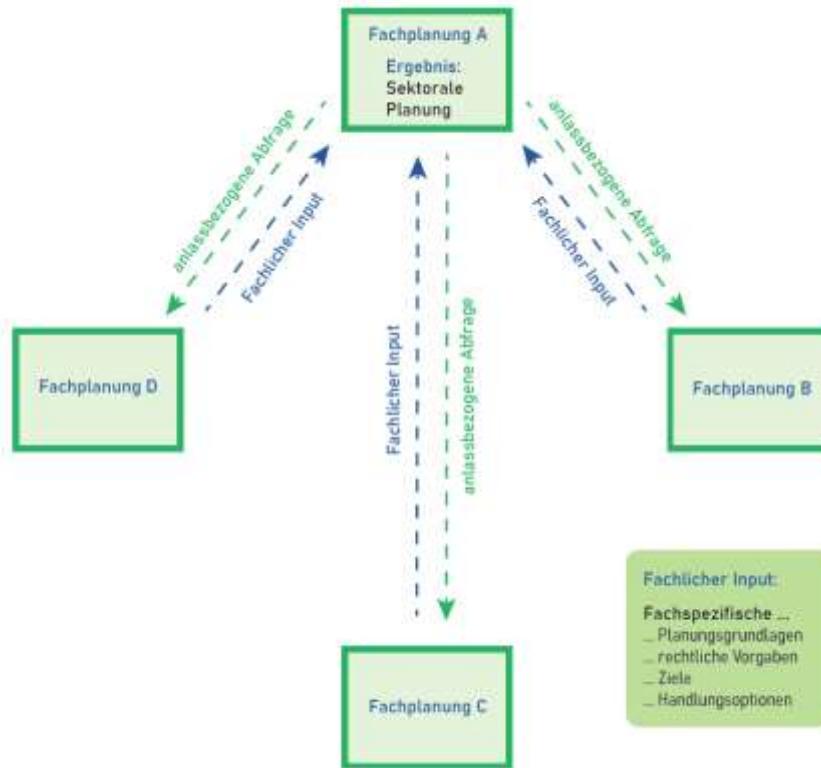


Abbildung 45: Modell des heutigen Kommunikationsprozesses

Im ersten TransMiT-Planerworkshop im Februar 2020 wurde die Methodik des Planspiels genutzt, um in interdisziplinär besetzten Gruppen die gemeinsame klimawandelangepasste Gestaltung eines fiktiven Platzes mit Hilfe blau-grüner Infrastruktur zu üben. (siehe Dokumentation 1. Planer*innenworkshop 2/2020 im Teil B, Kap. 1.4).

Folgende Erfahrungen und Hinweise können als Ergebnis festgehalten werden:

- Der fachliche Austausch untereinander ist von besonderer Bedeutung, um die Sichtweisen der jeweils anderen Fachdisziplinen kennenzulernen.
- Ein frühzeitiges Zusammenarbeiten fördert das Erkennen von Synergieeffekten und ist der Schlüssel für die Erarbeitung integraler Lösungen (vgl. Kanning et al. 2020).
- Die erarbeiteten Ergebnisse waren für alle Gruppenmitglieder zufriedenstellend, weil jede Fachdisziplin Nutzen für die eigene Aufgabenerfüllung erkennen konnte.
- Wichtig ist eine gemeinsame Zieldefinition zu Beginn eines Planungsprozesses.
- Als ungelöstes Problem für die Umsetzung der guten Ideen wurde die Finanzierung genannt, hier bedarf es neuer Finanzierungsmodelle.

Aus den Ergebnissen des Workshops wurde folgendes Modell eines integralen Kommunikationsprozesses erarbeitet (s. Abbildung 46).

Fachplanung A beginnt den Prozess mit der anlassbezogenen Anfrage. Im Gegensatz zu dem bisherigen Kommunikationsprozess, bei dem die fachlichen Inputs nur bei der

Fachplanung A zusammenlaufen, sich die beteiligten Fachplanungen aber untereinander nicht austauschen, zeichnet sich der integrale Kommunikationsprozess dadurch aus, dass die Inputs der Fachplanungen untereinander bekannt werden und ein gemeinsames Erarbeiten von Lösungen und eine integrale Planung möglich wird. Ein kritischer Punkt ist die Entscheidung des/der zuständigen Bearbeiter*in der Fachplanung A, welche Planungen aufgrund ihres Potentials/ihrer Bedeutung einen integralen Prozess erfordern und welche weiterhin in einem einfachen Prozess (vgl. Abbildung 45) durchgeführt werden können. Hier könnte ein Mitglied des Kompetenzteams Klimaanpassung helfen (siehe t A.III, Kap. 2.3).

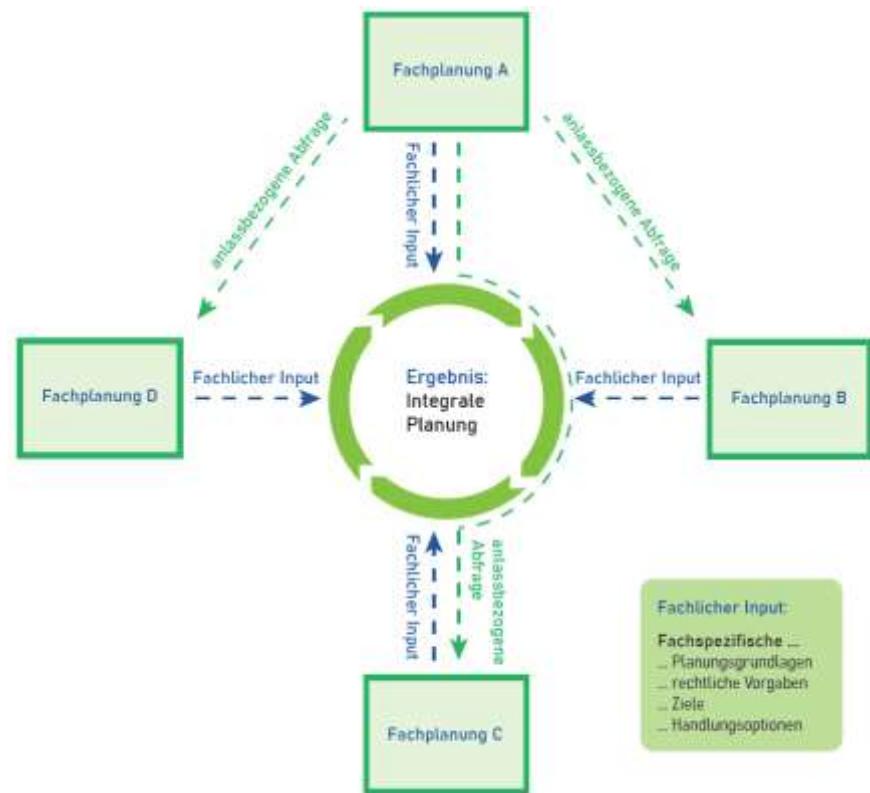


Abbildung 46: Modell eines integralen Kommunikationsprozesses

2.2.2 Verbesserung des Prozessablaufs

Der integrale Kommunikationsprozess erfordert eine Weiterentwicklung des bisher praktizierten Prozessablaufs und der einbezogenen Informationen. Hierzu wurden in einem zweiten Planspiel mit interdisziplinärer Beteiligung (siehe Dokumentation 2. Planer*innenworkshop 2/2021 im Teil B, Kap. 1.5) ein neuer integraler Prozessablauf für eine Objektplanung erprobt:

Im Unterschied zum 1. Planer*innenworkshop, bei dem im Planspiel die Neugestaltung eines fiktiven Platzes bearbeitet wurde, wurden zwei konkrete Beispiele aus dem Stadtgebiet Hannovers ausgesucht, bei denen Handlungsbedarf gesehen wird: Der Dietrich-Kittner-Platz (Südstadt) und die Neugestaltung des Stadtteilparks Möhringsberg (Nordstadt). Mit der Einladung zum Workshop wurden die eingeladenen Fachplaner*innen gebeten, eine kurze Vorstellung ihrer Planungsgrundlagen, rechtlichen Vorgaben, schon geplanter/angedachter Maßnahmen und fachspezifischer Ziele für die jeweiligen Gebiete vorzubereiten. Im Rahmen des Workshops wurde

dann diskutiert, wann die fachspezifischen Informationen effektiv einzusetzen sind, um zu guten integralen Planungsergebnissen zu kommen und Synergieeffekte zu erzielen.

Arbeitsergebnisse des zweiten Workshops waren:

- Das systematische Zusammentragen und Darstellen der jeweils fachspezifischen Planungshinweise, rechtlichen Vorgaben, angedachten/geplanten Maßnahmen und Ziele muss frühzeitig erfolgen.
- Das Vorstellen und Erläutern durch den/die jeweilige/n Fachplaner*in schafft bei den anderen Beteiligten das Verständnis für die „Sorgen und Nöte“ der anderen Fachplanungen und sorgt für eine vertrauensvolle Ausgangsbasis.
- Wichtig sind die Diskussion der verschiedenen fachspezifischen Ziele und die anschließende Definition eines gemeinsamen Planungsziels.
- Integrale Planungsprozesse funktionieren dann, wenn die zusammenarbeitenden Fachleute Verständnis für die Sichtweisen der anderen haben (integrales Wissensmanagement) und das Vertrauen, dass Kompromisse kein Zeichen von Schwäche sind, sondern das Ergebnis verbessern, dass gemeinsam mehr erreicht werden kann, als wenn jede Fachdisziplin für sich arbeitet.
- Hilfreich ist es, wenn die Beteiligten auf der gleichen Maßstabsebene denken: Für die Zielentwicklung braucht es Konzeptentwickler*innen/Projektentwickler*innen/ Generalplaner*innen und noch keine Objektplanner*innen. Diese spielen aber eine wichtige Rolle im ersten Schritt, der Zusammenstellung von fachspezifischen Planungshinweisen und Vorgaben und müssen hier ausreichend in die Fragestellung eingebunden sein, um ihre Expertise einbringen zu können und die integralen Lösungen umsetzbar zu machen.

Auf Grundlage der Ergebnisse des Workshops wurde ein modellhafter Ablauf eines Scopingtermins für eine integrale Planung entwickelt und durch Informations- und Bewertungstools ergänzt (s. Abbildung 47), die in A.III, Kap. 3 näher erläutert werden.

Der Prozess beginnt mit der Einladung zu einer frühzeitigen Abstimmung der Fachplanungen untereinander in einem Scopingtermin. Der Initiator der neuen Planung – im **TransMiT**-Planbeispiel war es die Freiraumplanung, die die Neugestaltung des Stadtteilparks Möhringsberg in Hannover-Nordstadt plant – verschickt an alle beteiligten Fachplanungen die **Abfragetabelle Scopingtermin**. Mit dieser Tabelle (siehe A.III, Kap. 3.2, Tab. 12) wird abgefragt, welche Planungsgrundlagen, rechtlichen Vorgaben, Ziele und Handlungsoptionen die jeweilige Fachplanung für das Objekt in den Prozess einbringt.

Der Scopingtermin beginnt mit der gegenseitigen Vorstellung der fachspezifischen Inputs. Dieser Schritt ist wichtig, um ein Verständnis für Sichtweisen der jeweils anderen Fachplanungen zu erzeugen und Synergiepotentiale zu erkennen. Alle fachspezifischen Inputs werden in einer Abfragetabelle Scopingtermin zusammengefasst.



Abbildung 47: Modellhafter Ablauf eines Scopingterms unter Einbeziehung der TransMiT-Tools

Im Planungsbeispiel Stadtteilpark Möhringsberg wurde durch diese Vorstellung u.a. deutlich, dass die Freiraumplanung und -pflege Wasser zur Bewässerung des vorhandenen und geplanten Baumbestandes benötigt und bei einer Speicherung des Niederschlagswassers Trinkwasser substituiert werden könnte. Die Stadtentwässerung verfolgt das Ziel, langfristig die Regenwassereinträge in die Kanalisation zu reduzieren, um zum einen die Beibehaltung des lokalen Wasserhaushaltes zu fördern und zum anderen, die Häufigkeit der Mischwasserentlastungen zu reduzieren und dadurch die Gewässerbelastung zu verringern. Im Falle eines Starkregenereignisses außerhalb des Dimensionierungsfalls ist die Regenwasserkanalisation überlastet und es kann zu Überflutungen der benachbarten, als Unterführung gebauten Kopernikusstraße kommen. Durch den Abschlag eines Teils des Niederschlagswassers in eine Zisterne, könnte hier eine Entlastung geschaffen werden.

Es folgt die Erarbeitung gemeinsamer Planungsziele für das Objekt. Das Ergebnis wird in der **Ergebnistabelle Scopingtermin** (siehe A.III, Kap. 3.2, Tab. 13) festgehalten. Bei konsequenter Umsetzung der Sustainable Development Goals [SDG's] muss hierbei die Klimawandelanpassung als kommunales Oberziel gesetzt werden (vgl. A.III, Kap. 3.2, Tab. 13).

Im nächsten Schritt erfolgt die Erarbeitung möglicher Handlungsoptionen zur Umsetzung der Planungsziele. Mit Hilfe der **interaktiven Maßnahmentabelle** (siehe A.III, Kap. 3.3,

Tab. 15) wird die gemeinsame Erarbeitung von Zielerreichungsoptionen strukturiert und die blau-grünen Maßnahmen herausgefiltert, die in der anschließenden Variantenprüfung/Vorplanung näher betrachtet werden sollen. Die in der Tabelle hinterlegten Maßnahmensteckbriefe sollen dabei der näheren Erläuterung der Maßnahmen dienen, um allen Teilnehmenden den gleichen Wissensstand zu vermitteln. Darin wird u. a. auf die Erkenntnisse der Strategiekomponente 2 zu den Auswirkungen von blau-grünen Maßnahmen (siehe A.III, Kap. 3) zurückgegriffen.

Die ermittelten Synergiepotentiale bilden die Grundlage für die Verteilung der Zuständigkeiten und Kosten für die geplanten Maßnahmen (dieser Schritt kann bei komplexen Projekten auch ein längerer Abstimmungsprozess sein, der sich erst an den Scoping-Termin anschließt). Dabei kommt der Nutzenbewertung eine zentrale Bedeutung zu. Der Gedankenansatz ist dabei, dass die Kosten nicht nach dem bisherigen Verfahren verteilt werden, bei dem derjenige Fachbereich zahlt, der Grundstückseigentümer ist. Danach würde der Fachbereich Umwelt und Stadtgrün die Parkneugestaltung allein finanzieren und zusätzliche Kosten, z. B. für eine Zisterne, nicht tragen können. Jedoch lässt sich die Zisterne auch als Teil des Entwässerungs- und Starkregenvorsorgekonzeptes für die Nordstadt sehen, so dass Teilfinanzierungen aus dem Gebührenhaushalt der Stadtentwässerung sowie aus der steuerfinanzierten Starkregenvorsorgebudget begründbar sind. Ist eine Kostenteilung entsprechend der Aufgabenzuständigkeit oder über Nutzenüberlegungen begründbar und wird sie von den Beteiligten akzeptiert, so verteilt sich die Finanzierungslast auf die Fachbereiche, die einen Nutzen haben, und es erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, dass die Maßnahme realisiert wird (siehe A.III, Kap. 4). Dieses Vorgehen ist aus der verursacherbezogenen Gebührenberechnung grundsätzlich im Verwaltungshandeln bekannt. Neu ist, dass hier nicht die Nutzung vorhandener Einrichtungen das Verteilungsmaß bestimmen, sondern der Anteil an der Zielerreichung der jeweiligen angestrebten Zustandsindikatoren. Innerhalb der Sektoren können so die Kosten einer Maßnahme mit vergleichbarer Wirkung gegenübergestellt werden.

Im Rahmen des Anwendungsbeispiels Stadtteilpark Möhringsberg wurde die in Abbildung 48 dargestellte integrale Regenwasserbewirtschaftung als Umsetzungsmaßnahme entwickelt (siehe auch Teil B, Kap. 2.3):

Unter dem geplanten Bolzplatz, der als Retentionsraum im Starkregenfall dient, befindet sich eine Zisterne, die aus drei Quellen gespeist wird:

- Oberflächenablauf vom Bolzplatz
- Zulauf aus der Regenwasserkanalisation zur Entlastung des Systems bei Starkregen mit einfacher Vorreinigung mittels Filter (siehe qbTE. A.I, Kap. 1)
- gereinigtes Kläranlagenablaufflusswasser in Trockenperioden

An die Zisterne sind Bewässerungsschläuche für vorhandene Altbäume angeschlossen, die im Zuge einer Wurzelraumsanierung verlegt werden. Jungbäume werden mit großem Wurzelraum versehen, der bei Bedarf mit Wasser aus der Zisterne versorgt werden kann. Um das Retentionsvolumen der Zisterne im Starkregenfall zu maximieren, ist eine regenradargesteuerte Entleerung vorgesehen. Eine Baumrigole wäre in diesem Fall nur bei einer Untergrundbebauung, wie zum Beispiel einer Tiefgarage, eine mögliche blau-grüne-Maßnahme. Bei einer Untergrundbebauung hätte der Jungbaum keine ausreichende Möglichkeit mit Wasser versorgt zu werden.

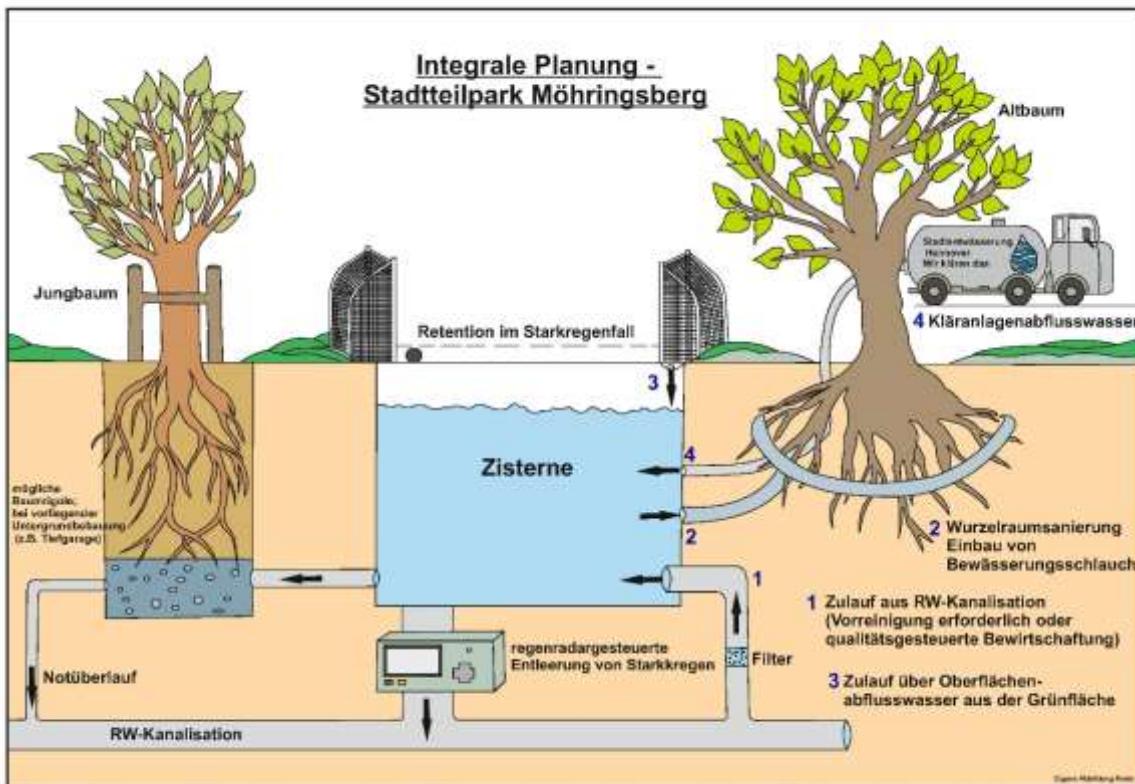


Abbildung 48: Integrale Regenwasserbewirtschaftung „Stadtteilpark Möhringsberg“; eigene Zeichnung (eigene Darstellung, Vanessa Reder)

Im Planspiel wurde deutlich, dass integrale Planungsprozesse Chancen eröffnen:

- Sie lassen frühzeitig Synergieeffekte erkennen, deren Nutzung Kosten sparen kann. Die Aufteilung von Investkosten macht ggf. Projekte möglich, die eine Fachplanung allein nicht finanzieren kann (siehe auch A.III, Kap.4).
- Sie verbessern die Effizienz beim Betrieb – aufeinander abgestimmte Pflege- und Unterhaltungsmaßnahmen vermeiden Doppelarbeit (es kommen nicht zwei verschiedene Betriebshöfe zum Rasenmähen (Grünflächenpflege für die Grünfläche, Stadtentwässerung für die Mulden)), sondern es kann schon mit der Planung eine Aufteilung erfolgen, wer künftig welche Aufgaben übernimmt und die Leistung wird finanziell ausgeglichen.

2.3 Prozessablauf „Stadt-Quartier 2050+“ als Weiterentwicklung des „Mein Quartier 2030“ – Prozesses

Aufgrund eines Ratsbeschlusses erarbeitet die Verwaltung der Landeshauptstadt Hannover für alle dreizehn Stadtbezirke in Hannover jeweils ein informelles integriertes Entwicklungskonzept. Unter dem Titel „Mein Quartier 2030“ werden sowohl die aktuelle Situation in allen Stadtteilen des Bezirks als auch die Entwicklungsmöglichkeiten und -erfordernisse betrachtet.

Die betrachteten Themenfelder umfassen dabei alle relevanten Aspekte der Stadtentwicklung auch in ihren Zusammenhängen:

- Wohnen und Versorgung
- Stadtraum, Image und Identität
- Umwelt, Klima und Mobilität
- Soziales, Bildung, Kultur und Sport
- Wirtschaft und Arbeit

In jeweils ca. ein Jahr dauernden Erarbeitungsprozessen werden Stärken, Herausforderungen und Entwicklungen analysiert und daraus Handlungsansätze entwickelt. Diese Handlungsansätze müssen im Zuge weiterer politischer und administrativer Planungs- und Entscheidungsprozesse konkretisiert, beschlossen und mit Ressourcen hinterlegt werden. Bis Mitte 2022 wurden für sechs Stadtbezirke Entwicklungskonzepte erarbeitet, die weiteren sieben Konzepte werden in den nächsten Jahren erstellt.

Jedes integrierte Stadtbezirksentwicklungskonzept „Mein Quartier 2030“ wird stufenweise erarbeitet und in moderierten öffentlichen Veranstaltungen erörtert. Durch die Einbindung vielfältiger Akteur*innen aus Wirtschaft, Zivilgesellschaft, Politik und Verwaltung und durch den Austausch mit der Bevölkerung im Bezirk bindet das Konzept unterschiedliche Perspektiven der beteiligten Gruppen ein. Eine besondere Bedeutung hat hier die Integration der Stadtverwaltung. Diese ist im Rahmen einer dezernatsübergreifenden Projektgruppe in den Prozess eingebunden. Die prozessbegleitende Projektgruppe hat die Aufgabe, die jeweils durch die verschiedenen Fachbereiche vertretenen inhaltlichen Kenntnisstände, Anliegen und Ziele zu erörtern, in Zusammenhang zu setzen und in eine Handlungsperspektive zu bringen.

Während der Projektlaufzeit von **TransMiT** wurde u. a. das Entwicklungskonzept „Mein Quartier 2030“ für die Stadtbezirke Herrenhausen-Stöcken und Linden-Limmer erarbeitet. Durch die parallele Bearbeitung bot sich die Möglichkeit, exemplarische Querbezüge zwischen beiden Projekten herzustellen. Hierbei waren aus **TransMiT**-Perspektive vor allem die Themen Hitze- und Starkregenvorsorge von gesteigertem Interesse. Im „Mein Quartier 2030-Prozess Linden-Limmer“ konnten die Erkenntnisse aus **TransMiT** schon umgesetzt werden (vgl. Teil B 1.3).

Eine wichtige Erkenntnis war, dass „Mein Quartier 2030“ als integriertes Entwicklungskonzept auf Stadtbezirksebene ein potenziell geeignetes Instrument ist, klimawandelbezogene Fragestellungen „auf Augenhöhe“ mit anderen relevanten Themen- und Handlungsfeldern der Stadtentwicklung zusammenzudenken – u. a. Siedlungsentwicklung, Verkehr, Freiraum, Wirtschaft. „Mein Quartier 2030“ kann – sowohl im Resultat als auch durch den integrierten Erarbeitungsprozess – dazu dienen, alle Akteure für klimawandelanpassungsbezogene Aspekte zu sensibilisieren und diese Aspekte besser abgestimmt in konkreten Bau- und Entwicklungsvorhaben zu berücksichtigen.

Insbesondere der interdisziplinäre und fachbereichsübergreifende Austausch ist hier ein essenzieller Mehrwert: Es bietet sich für die unterschiedlichen Fachbereiche die sonst selten gegebene Möglichkeit des gegenseitigen Austauschs über zum Teil sehr unterschiedliche Bewertungsmuster, Prioritätensetzungen und fachlichen Erfordernissen/Zwängen. Gleichwohl zeigen die Erfahrungen aus diesem Prozess auch, dass es sinnvoll sein kann, in zukünftigen „Mein Quartier 2030“ -Prozessen Fachleute bzw. Vertreter*innen der Fachplanungen Klimaschutz/Klimawandelanpassung und Wasserwirtschaft noch intensiver in den Entwicklungsprozess einzubeziehen. Dies würde die Möglichkeit eröffnen, entsprechende Ziele und Handlungsansätze noch besser mit den anderen Themen der StadtbezirkSENTwicklung abzustimmen.

Die Maßstabsebene des Stadtbezirks – der im Fall Herrenhausen-Stöckens aus sieben Stadtteilen besteht – macht es möglich und erforderlich, vor allem übergeordnete und strukturelle Zielaussagen und Handlungsempfehlungen zu erörtern. Die kleinteilige Ebene konkreter Maßnahmenvorschläge wird zwar weder im Handlungsfeld Umwelt und Klima noch in den anderen Handlungsfeldern erreicht, mit dem Entwicklungskonzept „Mein Quartier 2030“ aber strategisch und strukturell vorbereitet. Allerdings werden auf dieser Maßstabsebene auch potenziell konträr laufende Ziele nicht in jedem Fall sichtbar – sondern zeigen sich erst in anschließenden Planungsprozessen für Einzelmaßnahmen, in denen es bspw. um eine Abwägung zwischen der Behindertengerechtigkeit auf der einen und der Schaffung von Bordsteinkanten für die Wasserführung der „Notwasserwege“ auf der anderen Seite gehen kann. Ebenso wenig liegt für Fragen des Klimaschutzes und der Klimawandelanpassung mit den Themen Hitze- und Starkregenvorsorge wie für andere Themen ein Bewertungssystem auf Stadtbezirksebene vor.

Der „Mein Quartier 2030“ -Prozess bietet damit eine hervorragende Grundlage für einen darauf aufbauenden integralen Prozessablauf „**Stadt-Quartier 2050+**“, der allerdings als verwaltungsinterner strategischer Prozess entwickelt wurde, mit dem Prozessziel, das für die integrale Planung wichtige Element des quartiersspezifischen Leitbildes (s. o.) zu erstellen. In dem Prozess sind bestehende verwaltungsinterne Abläufe, Prozesse und Routinen aufgenommen und werden durch den Prozess unterstützende Kommunikations-Dokumente ergänzt.

Durch die zeitliche Verteilung von Infrastrukturmaßnahmen der verschiedenen kommunalen Fachbereiche, die in der politischen und öffentlichen Diskussion häufig in kleinen Zeitabständen wechselnden Prioritäten, aber auch die starke Divergenz der Rahmenbedingungen und Potentiale in den einzelnen Quartieren ist ein solch ergänzender Prozess notwendig, um bereits heute in den verschiedenen Bereichen und Ebenen mit einem zukunftsähnlichen Quartierskonzept als Leitbild effizient handeln zu können. Die entwickelte Methode dient damit der Entscheidungsunterstützung sowohl bei der Strategiefindung als auch bei der Entscheidungsunterstützung für die Priorisierung der Investitionsschritte.

Die Prozess-Bezeichnung „Stadt-Quartier 2050+“ wurde in Anlehnung an den bereits eingeführten Entwicklungsprozess *Mein Quartier 2030* gewählt mit folgenden Bezeichnungen:

- „**Stadt-Quartier**“, um ihn als institutionalisierten internen Prozess zu kennzeichnen mit dem Ziel, Transformationspläne für „alle“ Stadtquartiere zu erstellen.
- „**50**“, um den identifizierten Planungshorizont von mehr als 30 Jahren aufzugreifen, da bei kürzeren Betrachtungszeiträumen im Kontext der langlebigen Infrastrukturplanung Maßnahmenwirkungen in der Bewertung ggf. nicht angemessen berücksichtigt werden.

- „+“, um deutlich zu machen, dass der Prozess fortlaufend erfolgen muss, damit die strategische Ausrichtung der Quartiersplanung aktuell und an ggf. geänderte Rahmenbedingungen, aber auch sich ändernde gesellschaftliche Ansprüche und damit veränderter Wertigkeit der Maßnahmen, angepasst vorliegt.

Die Einbindung des neu entwickelten integralen Prozessablaufs „Stadt-Quartier 2050+“ in die bestehenden innerstädtischen Abläufe ist mit den ergänzenden Kommunikations-Dokumenten in der folgenden Abbildung 49 dargestellt. Dabei ist in blau der bestehende Prozess abgebildet, in grün der neu entwickelte integrale Planungsansatz mit entsprechender Schnittstellendefinition.

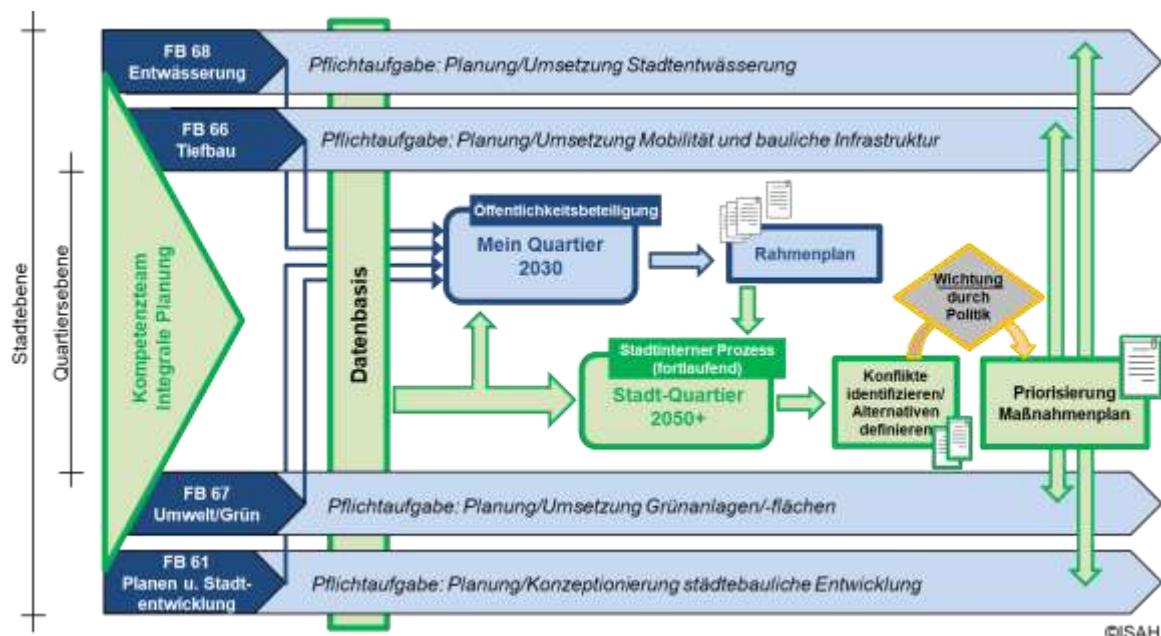


Abbildung 49: Einbindung des neu entwickelten integralen Prozessablaufs „Stadt-Quartier 2050+“ (grün) in die bestehenden innerstädtischen Abläufe (blau) und ergänzende Kommunikations-Dokumente

Die vier Hauptansatzpunkte, die in der durchgeföhrten Defizitanalyse identifiziert wurden (siehe A.III, Kap. 1), werden in dem neuen integralen Planungsansatz „Stadt-Quartier 2050+“ integriert. Dazu gehören:

- Einrichtung und Institutionalisierung eines fachbereichsübergreifenden Kompetenzteams „Integrale Planung“, das in kooperativer, vertrauensvoller Zusammenarbeit den Strategieprozess moderiert; An Beginn des Prozessablaufs Stadt-Quartier 2050+ steht ein interdisziplinär besetztes Kompetenzteam Klimawandelanpassung. Hier wird die Empfehlung aus dem Praxisleitfaden „Das KlimaWohL-Prinzip“ des DAS-Förderprojektes *KlimaWohL¹²* aufgegriffen, dass „auf gesamtstädtischer Ebene ein interdisziplinär besetztes Kompetenzteam Klimaanpassung eingerichtet [wird] (...). Diese sollte die Kompetenzen zur Klimaanpassung bündeln, kontinuierlich weiterentwickeln und die Kollegen der jeweils eigenen Fachdisziplin beraten“ (Kanning et al. 2020).

¹² Verbundprojekt: DAS: Klimaangepasstes, nachhaltiges Wohnen und Leben im Quartier – Pilotprojekt „Hilligenwöhren“ in Hannover-Bothfeld – KlimaWohL (Förderkennzeichen 67DAS087A/B) www.klimawohl.net

- Standardisierte Formate für die stadtinterne Weiterentwicklung der im Rahmen der bereits etablierten Beteiligungsprozesse erstellten Quartiers-Potentialanalysen zu alternativen integralen Quartiersentwicklungsszenarien (siehe nachfolgendes Kapitel „Tools“);
- Einrichtung eines Kommunikationsformats zur Ziel-, Konflikt-Wahrnehmung, Diskussion der fachlich vorbereiteten Quartiersentwicklungsalternativen und gemeinsamen Abstimmung über das Zielkonzept;
- Überführen der politischen Meinungsbildung in einen quartiersspezifischen Maßnahmenplan und Rückführung in die umsetzenden Fachbereiche.

3. Tools für integrale Planung (stadtinterne Perspektive)

Um in Bestandsquartieren einen nachhaltigen, klimaangepassten Stadtumbau zu entwickeln, beschleunigen und etablieren, muss sich die integrale Planung zur Standardmethode in der kommunalen Praxis entwickeln. Die Planungsansätze und Prozessabläufe, die im Rahmen von **TransMiT** hierzu entwickelt und getestet wurden, waren Gegenstand des vorangegangenen Abschnitts.

Durch das Bereitstellen ausreichender Informationen werden diese Prozesse maßgeblich unterstützt und vereinfacht. Daher sind praxiserprobte Tools zur Informationsbereitstellung und -verarbeitung wichtig. Im Folgenden werden diejenigen Ansätze vorgestellt, die im Projektverlauf entwickelt und getestet wurden (Potentialanalyse/Bedarfsanalyse 3.1, Scopingtabellen 3.2 sowie die interaktive Maßnahmentabelle 3.3 und die Maßnahmensteckbriefe 3.4, Ziel-Aufgaben-Maßnahmen (ZAM)-Matrix 3.6, Nutzenbewertungsansätze 3.7).

Weiterführende Dokumentationen zu den Tools sind auch im Endbericht Teil B Kapitel 1.7-1.9 sowie Kapitel 2.1-2.3 und in A.III, Kap. 2.2 und A.III, Kap. 2.3 zu finden

Kernaussagen

- Um integrale Planungsansätze und Prozessabläufe als Standardmethode in der kommunalen Praxis zu verankern und die Potenziale von z. B. BGI-Maßnahmen zur Klimawandelanpassung in strategisch-strukturelle Entscheidungen einzubeziehen, ist eine modulhafte, auch durch sektorfremde Personen nutzbare Informationsbasis notwendig. Hierfür wurden Tools für verschiedene Ebenen und Prozesse entwickelt und erprobt.
- Die Potentialanalyse unterstützt die Zielverständigung auf Quartiersebene. Sie erfasst die Entwicklungspotentiale in einem Quartier im Hinblick auf verfolgte Oberziele. Dies erfordert eine quartiersspezifische Bedarfsanalyse unter Nutzung von großräumigen und kleinräumigen Zielvorstellungen.
- Integrale Planungsprozesse auf Objektebene erfordern leicht verfügbare, strukturiert aufbereitete Informationen. Hierzu dienen Scopingtabellen und Maßnahmentabellen, die durch Maßnahmensteckbriefe um bewertungsrelevante Informationen für die Maßnahmenauswahl ergänzt werden.
- Die Scopingtabellen und interaktive Maßnahmentabellen strukturieren fachspezifische Inputs für integrale Abstimmungen und sichern fachspezifische und integrale Planungsideen und Kosteninformationen.
- Durch Maßnahmensteckbriefe werden spezifische Informationen zu Technologien, Zielwirkungen, Kosten und involvierte Akteure u. v. m. auch denjenigen Fachplaner*innen zur Verfügung gestellt, die nur selten mit diesen Maßnahmen umgehen.
- Die Entscheidungsträger in der Verwaltung müssen die engen Vernetzungen der Ziele zur Klimaanpassung und der SDGs, den Aufgaben der Fachbereiche und ihren Handlungskompetenzen bei BGI- Maßnahmen verstehen, um die strukturellen Rahmenbedingungen der Kommune zur Klimawandelanpassung zu stärken. Diese Vernetzung wird durch die Ziel-Aufgaben-Maßnahmen (ZAM)-Matrix aufgezeigt. Synergieeffekte von fachbereichsübergreifendem Handeln werden ebenso sichtbar wie multifunktionale Co-Benefits konkreter BGI-Maßnahmen.
- Monetäre Informationen zu den Nutzen von BGI helfen bei der Maßnahmenwahl und der Ausgestaltung kooperativer Finanzierungslösungen, sind aber sehr aufwendig. Der Alternativkostenansatz kann demgegenüber pragmatische Beiträge zur Nutzenbewertung und strategischen Auswahl von Maßnahmenbündeln leisten.

3.1 Bedarfsanalyse als Grundlage für eine Potentialanalyse

Potenzialanalysen sollen als Grundlage der Zieldiskussion innerhalb der integralen Planungsprozesse dienen. Über die Analyse kann fachlich objektiv die Quartiersvoraussetzungen zur Optimierungsmöglichkeiten in den verschiedenen Feldern der Klimawandelanpassung veranschaulicht werden. Als Grundlage für die Analyse werden geographische Daten mit Sachinformationen verwendet.

Für die in **TransMiT** festgelegten Schwerpunkte sind dies, außer den reinen geographischen Karten wie Stadtkarten, Leitungs- und Gewässernetze, beispielhaft folgende, den übergeordneten Zielen zugeordnete Daten:

- a. *Gewässerschutz/ordnungsgemäße Regenwasserbewirtschaftung* – Gewässergütedaten, Schmutzfrachten in Regenwasser, Leistungsfähigkeit der Kanalisation, Versiegelungsgrad der Einzugsgebiete, Flächenkategorien nach DWA-A 102 etc.
- b. *Annäherung an natürlichen Wasserhaushalt* – Grundwasserniveaus, Verdunstungsraten, Bodeninfiltrationskapazität, Altlasten, Bodengeologie, Versiegelungsgrad der Einzugsgebiete, Flächenkategorien nach DWA-A 102 etc.
- c. *Überflutungsschutz bei Starkniederschlägen* – Überschwemmungsgebiete, Starkregenüberflutungsgebiete, mögliche Flächen zur multifunktionalen Nutzung
- d. *Hitzevorsorge* – Stadtklimaanalyse, künftig besonders belastete Bereiche, vulnerable Einrichtungen und Bevölkerung, klimatische relevante Strukturen/Flächen/Räume (Kaltluftschneisen, Kaltluftliefergebiete, Klimakomfortinseln (bilden ebenfalls Kaltluft, aber kleiner als 20.000 m²), Dachbegrünung, Bäume [incl. Schattenwurf])
- e. *Bewässerung von grüner Infrastruktur* – Zustandskartierung Bäume, Grundwasserniveaus, Flächenkategorien nach DWA-A 102
- f. *Einbindung privater Grundstückseigentümer* - mögliche Flächen zur multifunktionalen Nutzung

Der Potentialanalyse muss eine Auswahl der zu betrachtenden Potentiale vorangestellt werden, die sich an dem Quartiersbedarf orientiert. Dabei können sich Zielkonflikte in der Potentialausschöpfung ergeben, so dass eine Priorisierung der Potentiale entsprechend der für das Quartier festzulegenden Ziele erforderlich wird. Aus dem Themenfeld Klimawandelanpassung sind dies Hitzereduzierung, Minimierung von Gewässerbelastung durch verschmutztes Regenwasser, Reduzierung von Überflutungsgefahren, Erhöhung der Grünflächenanteil etc..

Um aber handhabbare Zielvorgaben entwickeln zu können, muss zunächst eine **Bedarfsanalyse** für das Quartier in 3 Schritten erstellt werden:

- 1) Die großräumigen/gesamtstädtischen Bedarfe werden quartiersgerecht heruntergebrochen. Sie beziehen sich beispielsweise auf die Verbesserung der Gewässerqualität, die Verringerung des Regenwasserabflusses, die Beibehaltung von Kaltluftschneisen, Durchgängigkeit der Grünflächenzüge usw.. Hier ist später die Zielsetzung der Stadt auch in Bezug auf die Konkretisierung der SDGs für die Stadtbezirke notwendig.
- 2) Die Bedarfe werden direkt auf Quartierebene anhand der aus der Stadtklimaanalyse abgeleiteten Fachkarte Klimaanpassung, den Starkregenhinweiskarten und weiteren Faktoren für die kleinräumigen Aspekte weiterentwickelt und punktuell und flächig in einer GIS-Karte festgelegt (z. B. hinsichtlich Hitzebelastung, Biodiversität, Begrünung, Grundwasserneubildung, Starkregenvorsorge usw.).

- 3) Die oben genannten Daten werden unter Berücksichtigung relevanter sektoraler Planungs- und Kenndaten zu verschiedenen Themenfeldern zugeordnet. Diese Themenfelder können unterschiedliche Schwerpunkte wie Stadtklima, Starkregen gefahren, Wohnungsdruck, Kulturangebot, etc. umfassen. Die Aggregation dieser Daten schafft die Grundlage für eine quartierspezifische Bewertung, Priorisierung der Bedarfe und Festlegung von Zielen für die Quartiersentwicklung.

Mit den festgelegten bedarfsorientierten Zielen für das Quartier ist der Rahmen für die Potentialanalyse geschaffen und diese kann zielgerichtet für das Quartier über eine GIS-Analyse durchgeführt werden. Als Ergebnis werden Punkte bzw. Flächen in der Karte gekennzeichnet, die für die Umsetzung von Maßnahmen zur Erreichung der Ziele geeignet sind. Diese Potentialkarten werden also spezifisch für das jeweilige Quartier aus der Bedarfssanalyse heraus ermittelt.

In Rahmen eines integralen Planungsprozesses werden so Grundlagen geschaffen, um die Quartiersziele transparent und sachlich kommunizieren zu können, in einer Quartiersstrategie nachvollziehbar zusammenzuführen und anschließend politisch zu beschließen.

3.2 Tabellen für Scopingtermin

Das Gelingen eines integralen Planungsprozesses ist abhängig von der möglichst frühzeitigen Beteiligung aller beteiligten Fachplanungen. Dazu bietet sich die Einberufung eines Scopingtermins an. Um diesen Scopingtermin zu strukturieren, wurden zwei **Tabelle** entwickelt: die **Abfragetabelle Scoping** und die **Ergebnistabelle Scoping**. Die Abfragetabelle soll von Initiator*in der Neu-/Umplanung mit der Einladung an alle betroffenen Fachplanungen verschickt werden, um von allen die fachspezifischen Informationen zum Plangebiet einzuholen (vgl. Tabelle 12):

- Welche Planungsgrundlagen liegen vor? (Leitungspläne, Altlastenkatasterabfrage, Grundwasserflurabstand usw.)
- Welche rechtlichen Vorgaben müssen beachtet werden? (Stellplatzsatzung, Feuerwehraufstellflächen usw.)
- Welche Ziele verfolgt der jeweilige Fachbereich? (Ausweisung Tempo 30-Zone, Durchgrünung, Entlastung der RW-/Mischwasserkanals usw.)
- Welche Handlungsoptionen werden gesehen?

Tabelle 12: *Abfragetabelle Scoping*

Fachspezifische Inputs				
	Planungsgrundlagen	Rechtliche Vorgaben	Ziele	Handlungsoptionen
Fachplanung A				
Fachplanung B				
Fachplanung C				
Fachplanung D				
...				

Idealerweise wird diese Tabelle auf einer gemeinsamen Plattform bereitgestellt und alle Beteiligten können ihre Eintragungen direkt in der Tabelle vornehmen. Ansonsten muss der Initiator die Zusammenführung übernehmen.

Die Ergebnistabelle (vgl. Tabelle 13) dient der Protokollierung des Scopingtermins: Es wird festgehalten, auf welche gemeinsamen Planungsziele man sich verständigt hat, welche integralen Handlungsoptionen erarbeitet wurden und - wenn dies zu diesem frühen Zeitpunkt schon möglich ist – wird die Kostenverteilung benannt. So könnte beispielsweise bei einem multifunktional genutzten Bolzplatz der Fachbereich Umwelt und Stadtgrün Planung/Herstellung und Pflege übernehmen, Wiederherstellungskosten nach einem Starkregenereignis aber würden von der Stadtentwässerung übernommen.

Tabelle 13: *Ergebnistabelle Scoping*

Gemeinsame Planungsziele	Handlungsoptionen	Fach-spezifisch	integral	Kostenverteilung

Die nachfolgende Tabelle 14 zeigt anhand eines konkreten Planungsbeispiels zum „Stadtteilpark Möhringsberg“, mit welchen Handlungsoptionen die Ergebnistabelle versehen werden könnte und mit welchen Zusatzinformationen diese im weiteren Planungsverlauf zu präzisieren wäre. Durch diesen Anwendungsfall wird illustrativ die Vielfalt und Vielzahl an möglichen Maßnahmen deutlich, mit der im Planungsprozess umgegangen werden muss, um den Überflutungsschutz, den Gewässerschutz und die Hitzevorsorge/Bewässerung des Stadtgrüns zu verbessern.

Die exemplarisch aufgeführten Maßnahmen dienen der Verbesserung der vorhandenen Situation am und in näherer Umgebung des Stadtteilparks Möhringsberg. Einige Maßnahmen zielen auf ein verbessertes Wasserdangebot für die Bäume des Stadtteilparks ab, sodass die Vitalität der Bäume verbessert wird und der Stadtteilpark auch an Hitzetagen eine kühlende Wirkung aufweist. Die Schaffung des verbesserten Wasserdangebots geht auch mit Maßnahmen zum Gewässerschutz durch Reduzierung von Mischwasserabschlägen und außerdem Überflutungsschutz bei Starkregenereignissen einher, wie die Entschärfung des bestehenden Überflutungsrisikos in der angrenzenden *Alten Ladestraße* und der nahegelegenen Unterführung im Verlauf der *Kopernikusstraße*. Weitere aufgeführte Maßnahmen können auch räumlich unabhängig voneinander die Folgen von Extremwetterereignissen abmildern. Jede Maßnahme ist den zutreffenden stadtinternen Oberzielen bzgl. Klimafolgenanpassung (Überflutungsschutz, Gewässerqualität, Hitzevorsorge) zugeordnet, sowie den hauptverantwortlichen Fachbereichen, die diese Maßnahme initiieren müssten. Zudem

erfolgt eine Zuordnung zum alleinigen (fachspezifischen = F) oder gemeinsamen (integrale = I) Umsetzungserfordernis der Maßnahme, sowie die **farbliche Kennzeichnung**, auf welchen **Flächen** die Maßnahme umgesetzt werden würde: Grün = Grünflächen (Grünstreifen, Parks, Gärten), Blau = Entwässerungsanlagen, Grau = Verkehrsflächen (Straßen, Gehwege), Rot = Gebäudeflächen, Gelb = Freiflächen (Plätze, Stellflächen).

Tabelle 14: Übersicht der Handlungsoptionen für Planbeispiel Stadtteilpark Möhringsberg

Handlungsoptionen	F / I	Initiator		Beitrag zu ...		
		Haupt-	Mit-	ÜS	GQ	HV
Zisterne zur Bewässerung mit Niederschlagswasser aus dem Stadtteilpark (Basisversion)	F	67	68		x	x
Errichtung von Baumrigolen bei Neupflanzungen	I	67	68	x	x	x
Zisterne für Starkregenereignis vom Stadtteilpark (unter Spielplatz oder Schienen) (Ausbaustufen)	I	67	68	x	x	x
Wasser aus Alter Ladestraße auf Stadtteilpark leiten (ÜS Alte Ladestraße oder Doppelnutzung mit Bewässerung)	I	67	68	x		
Bewässern der Bäume „per Hand“ (Tankwagen)	F	67				x
Automatische Bewässerung der Bäume	F	67				x
Bewässern der älteren Bäume direkt an die Wurzeln (Lanzenbewässerung)	F	67				x
Bewässern der Bäume über in den Wurzelraum eingebaute perforierte Schläuche	F	67				x
Zisterne für Regenwasser mit Zuleitung aus Kanal (Ausbaustufe)	I	68	67		x	x
Zisterne für Regenwasser aus (Stauraum)Kanal mit autom. Leerung mittels Steuerung über Regenradar (Leerungsroutine) (Ausbaustufe)	I	68	67	x	x	x
Ausbau Stauraumkanal oder Vergrößerung des vorhandenen	F	68		(x)	x	
Unterführung Kopernikusstr. mit Erhöhung Pumpleistung sichern	F	68	66	x		
Kanalbau Alte Ladestraße	F	68			x	
Nutzung von Kläranlagenabflusswasser zur Befüllung der Zisterne (Befüllung bei Leerstand mit Bewässerungswagen)	I	68	67			x
Überarbeitung Kanaleinläufe i.d. Kopernikusstr.	I	66	68	x		
Neupflasterung der Alten Ladestraße mit Pflasterrinne (Wasserableitung im Regelentwässerungs- und Starkregenfall in den Stadtteilpark)	I	66	68	x		
Austausch und Neudimensionierung der Sickerschächte in der Alten Ladestraße	F	66	68		x	
Hindernisse auf Straßen, um Wasser am Fließen in Richtung Kopernikusstraße zu hindern	I	66		x		
Dachflächen abkoppeln (nördlich vom Stadtteilpark)	I	A		x	x	
Parkflächen auf der anderen Seite vom Weidendamm als temporärer Stauraum (multifkt. Fläche)	I	66	68	x		

F – fachspezifische Maßnahmen; I – integrale Maßnahmen; FB 66 – Tiefbau, FB 67 – Umwelt und Stadtgrün, FB 68 – Stadtentwässerung; ÜS – Überflutungsschutz; GQ – Gewässerqualität; HV - Hitzevorsorge

Im Ergebnis besteht eine breite gemeinsame Informationsbasis für die Maßnahmeneingrenzung, die durch die interaktive Maßnahmentabelle unterstützt wird, die im folgenden Kapitel vorgestellt wird.

3.3 Interaktive Maßnahmentabelle

Im Zuge des zweiten integralen Planer*innenworkshops im Februar 2021 wurden reale Planbeispiele von Akteuren verschiedener Fachplanungen im Rahmen eines Planspiels auf Potentiale durch integrale Ansätze bewertet. Beim gemeinsamen Ausfüllen einer Scopingtabelle für das Planbeispiel „Stadtteilpark Möhringsberg“ ist die Idee zur Bereitstellung einer interaktiven Maßnahmentabelle mit hinterlegten Maßnahmensteckbriefen entstanden. Sie soll zu Beginn eines Planungsprozesses die verschiedenen Möglichkeiten, Vorteile und Kosten der Integration von BGI aufzeigen und für mehr Effizienz und Kommunikation innerhalb einer integralen Planung und verschiedener beteiligter Fachbereiche sorgen.

Die Vielzahl der möglichen Maßnahmen macht eine Bewertung erforderlich, um daraus die Entscheidung abzuleiten, welche Maßnahmen im weiteren Planungsablauf näher untersucht werden sollen. Zur Unterstützung dieses Bewertungsschrittes wurde das Tool **interaktive Maßnahmentabelle** entwickelt, in die während des Scopingtermins die beteiligten Planer*innen gemeinsam die entscheidungsrelevanten Informationen eintragen.

Tabelle 15: *Interaktive Maßnahmentabelle (hinterlegt mit Maßnahmensteckbriefen)*

Maßnahmen	Projekt-spezifische Angabe	Geschätzte Investitions-kosten	Geschätzte Betriebskosten			Maß-nahme wird weiter-verfolgt	Maß-nahme kommt nicht, weil...
			Kosten pro Jahr	Kosten 25 J. Lebens-dauer Straße ¹³	Kosten 66,7 J. Lebens-dauer Entwäs-serungs-anlage)		
Bewässerungssack	Anzahl	17 €/Stück		noch durch Praxis zu ermitteln	Nutzungs-dauer max. 2-3 J.		Spezial-lösung mit spez. Nachtei-len
Stauraumkanal	laufende Meter	xy € pro m	750.000	2.500€	62.500 €	167.500 €	
Zisterne (Kunststoff)	m³ Volumen	xy € pro m³	250.000	2.500 €	62.500 €	167.500 €	

[Kostenschätzung Stand 2020]

Die Besonderheit dieser Tabelle ist, dass allgemeine Informationen zu den Maßnahmen über hinterlegte Maßnahmensteckbriefe zur Verfügung gestellt werden, die dann auf den konkreten Planungsfall bezogen in die Felder eingetragen werden. Dieses interaktive Bearbeitungsformat ermöglicht eine kompakte, sehr transparente Protokollierung der Diskussion und hat zudem den Effekt, dass sich die Fachbereiche wechselseitig über das Für und Wider der Maßnahmen informieren und Fachwissen anderer Fachbereich erwerben können und damit die Kompetenz zur integralen Betrachtung gestärkt wird. Ziel ist es, auf diese Weise die Sinnhaftigkeit von Kombinationen verschiedener Maßnahmen zu vermitteln bzw. zu erkennen und auf Synergien aufmerksam zu werden. Das Prinzip der hinterlegten Maßnahmensteckbriefe wird im folgenden Kapitel anhand eines Musters erläutert.

¹³ Nach Anlage 19 des Ausführungserlasses zur Kommunalhaushalts- und -kassenverordnung (KomHKVO)

3.4 Maßnahmensteckbriefe

Eine Funktion der interaktiven Maßnahmentabelle ist die Verknüpfung mit hinterlegten „Maßnahmensteckbriefen“ (siehe Abbildung 50).

Titel	Zisterne	
Räumliche Auswirkung	lokal	
Relevanz	mittel	
Beschreibung	<p>Bei hohen Grundflächenzahlen (GRZ) sowie großen versiegelten Flächen ist eine unterirdische Speicherung sinnvoller als eine oberflächliche. Außerdem ist die klimatische Wasserbilanz des Gebietes zu berücksichtigen. Die Machbarkeit ist auch bei starkem Geländegefälle gegeben. Ableiten des Niederschlagswassers in eine Zisterne (unterirdisches Rückhaltebecken, unterirdisch verbaute Tanksysteme aus Kunststoff oder Beton). Zulauf über Oberflächenabflusswasser aus der Grünfläche. Treten Niederschläge auf, die so stark sind, dass die Speicher sich komplett füllen, fließt das zusätzliche Wasser über einen Überlauf ab (z. B. Rigolen, Versickerungsmulden, Kanal etc.)</p> 	
Erwartete Auswirkungen	<p>Hitze</p> <p><input type="checkbox"/> Hitzereduktion tagsüber <input type="checkbox"/> Hitzereduktion nachts <input type="checkbox"/> Versorgung mit Frischluft <input type="checkbox"/> Objektschutz <input checked="" type="checkbox"/> Indirekte Hitzereduktion durch vitaleres Grün (Bewässerung mit Regenwasser)</p>	<p>Wasser</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Reduktion des Überflutungsrisikos bei Starkregen durch Versickerung <input checked="" type="checkbox"/> Reduktion des Überflutungsrisikos bei Starkregen durch Zwischenspeicherung <input type="checkbox"/> Reduktion des Überflutungsrisikos bei Flusshochwasser <input type="checkbox"/> Objektschutz <input checked="" type="checkbox"/> Reduktion der Gewässerbelastung durch weniger Mischwasserabschläge</p>
Kosten überschlägig	<p>Ca. 400 – 500 Euro pro m³ Zisternenvolumen. Ca. 280 – 210 Euro pro m³ Wasserrückhalt (Baukosten) Beispiel: bei 20 mm Niederschlag auf einer Fläche von 29.000 m² ergibt sich ein Abflussvolumen von 466 m³, für den durchschnittlichen monatlichen Niederschlag von 47 mm ergeben sich 1096 m³.</p>	
Synergien	Einsparung von Trinkwasser zur Bewässerung o. als Löschwasser, für Waschanlagen o. Toilettenspülung, Gewässerschutz, Trockenheitsversorgung. Reduzierung und Rückhalt der Niederschlagsabflüsse. Verminderung des Spaltenabflusses möglich (insb. bei hoher Nutzung für Bewässerung o. Brauchwasserzwecke). Entlastung des Entwässerungs- oder Belebtschlammungssystems.	
Zielkonflikte	Filterung/Reinigung notwendig für Nutzung zur Bewässerung Hygiene, Kanalauslastung in trockenen Perioden, hohe Baukosten	
Akteure Kooperationspartner Zielgruppen	-Grundstückseigentümer*innen -Stadtentwässerung -Eigentümer*innen, Grünflächenpfleger*innen	
Umsetzungsinstrumente	Beratung von Eigentümer*innen, Förderprogramme	
Stand	2020	

Abbildung 50: Maßnahmensteckbrief Zisterne

Ein Steckbrief beinhaltet u. a. die Beschreibung der Maßnahme inklusive einer Abbildung, den räumlichen Bezug, die Relevanz und die erwarteten Auswirkungen in Bezug auf die Oberziele. Weiterführend werden Kostenschätzungen (Material-, Bau- und Langzeitkosten) aufgeführt. Mögliche Zielkonflikte, beteiligte Akteure, Kooperationspartner*innen, Zielgruppen, Umsetzungsinstrumente und Synergien werden ebenfalls tabellarisch erfasst und aufgezeigt (siehe Abbildung 50).

Ziel ist es, die Liste der Maßnahmen mit hinterlegten Steckbriefen sukzessiv immer weiter auszubauen, so dass eine „lebende“ interaktive Maßnahmentabelle entsteht, die kontinuierlich weiter ausgebaut und gepflegt wird und zum festen Bestandteil integraler Planungsprozesse innerhalb der Landeshauptstadt Hannover wird.

3.5 Ziele-Aufgaben-Maßnahmen (ZAM)-Matrix

Die Weltgemeinschaft hat sich mit der Agenda 2030 die 17 Ziele für eine sozial, wirtschaftlich und ökologisch nachhaltige Entwicklung gesetzt. (Schmuck 2019; Sartorius et al. 2019; Leal Filho 2019; Europäische Union 2022; Koch und Krellenberg 2021) Die Erreichung der Sustainable Development Goals (SDG) – als Beispiel für die Anerkennung ökologischer Zielgrößen und erforderlicher Planungsstandards – ist trotz ihrer generellen Akzeptanz in der heutigen Verwaltungsstruktur nicht ausreichend bzw. nur ansatzweise etabliert (Koch und Krellenberg 2021; Lange et al. 2020). In TransMiT wurden einige Ziele herausgegriffen und der Weg zur Erreichung dieser Ziele durch die Fachverwaltung der LHH unter Nutzung der Möglichkeiten untersucht. Ein Problem hierbei besteht darin, die Ziele - sowohl SDGs als auch stadtinterne Oberziele auf die Maßnahmen herunterzubrechen. Denn vor dem Hintergrund der Vielfalt an Blau-Grüner-Infrastrukturen (BGI) und deren Multifunktionalität einerseits und andererseits aufgrund der verteilten Verantwortlichkeiten und Aufgabenvielfalt der kommunalen Fachbereiche, besteht Informationsbedarf bei den zahlreichen, an den Planungs- und Abstimmungsprozessen involvierten Beteiligten, um die Zielbeiträge der Maßnahmen zu kommunizieren und mit den Perspektiven der Fachbereiche und den kommunalen Agenda 2030 zu verknüpfen.

Hierzu wurde eine Ziel-Aufgaben-Maßnahmen (ZAM)-Matrix erstellt. Die Matrix schlägt den Bogen von den SDGs über die stadtinternen Oberziele bzgl. Klimawandelanpassung, bis hin zu konkreten Maßnahmen und vernetzt diese Aspekte zusätzlich mit den Aufgaben der Fachbereiche. Ziel der Matrix ist es, für quartiers- und objektbezogene Planungen Handlungsoptionen zur fachbereichsübergreifenden Integration von BGI aufzuzeigen, die auch in Verhandlungen zur Kostenübernahme von konkreten Maßnahmen genutzt werden können. Hierfür verknüpft die Matrix Informationen auf den folgenden drei Ebenen:

- **Zielebene:** SDGs und stadtinterne Oberziele;
- **Fachbereichsebene:** Aufgaben der Fachbereiche;
- **Maßnahmenebene:** Konkrete Maßnahmen (BGI und weitere Handlungsoptionen), die die jeweiligen Fachbereiche umsetzen können, differenziert nach den städtischen Teilflächen, auf denen sie umgesetzt werden können.

Die Informationen sollen helfen, folgende Fragen zu beantworten:

- Ziel-Fachbereich-Aufgaben-Bezug: Welcher Fachbereich trägt vor dem Hintergrund der ihm zugeordneten Aufgaben zur Zielerreichung der stadtinternen Oberziele bei und welche SDGs werden hierdurch erfüllt?

- Ziel-Aufgaben-Maßnahmen-Bezug: Welche BGI-Maßnahmen kann ein bestimmter Fachbereich nutzen, um eine Aufgabe umzusetzen bzw. innerhalb einer bestimmten Aufgabe die Oberziele zu erfüllen? Auf welchen Teilflächen kann der Fachbereich sie umsetzen?
- Synergien für Zielerreichung: Welche der durch einen Fachbereich verantworteten BGI (einschließlich weiterer Maßnahmen) unterstützen ihn bei der Aufgabenerfüllung bzw. beim Erreichen eines Oberzieles? Welche Maßnahmen/BGI, die durch andere Fachbereiche nutzbar sind, unterstützen ebenfalls bei der Zielerreichung? Welche Maßnahmen lassen sich aggregieren bzw. zwischen welchen Maßnahmen kann ausgewählt werden?
- Synergien für Maßnahmenumsetzung: Wenn eine BGI-Maßnahme umgesetzt wird, welche weiteren Aufgaben, Oberziele und SDGs werden hierdurch mit unterstützt (Co-Benefits) und welche Fachbereiche profitieren hiervon? Lassen sich hierdurch Kooperationen bei der Umsetzung der Maßnahmen bzw. Finanzierung begründen?

Damit bildet die ZAM-Matrix eine Informations- und Diskussionsgrundlage, die Synergien aufzeigen kann und so die kooperative Zielerreichung unterstützt. Im Folgenden wird das Konzept der ZAM-Matrix umrissen.

Der prinzipielle Aufbau wird in Tabelle 16 dargestellt. In der Mitte der Matrix werden die Aufgaben der jeweiligen Fachbereiche in der Stadtverwaltung festgehalten, welche BGI planen und betreiben können bzw. andere Fachbereiche hierbei beeinflussen. Hiervon ausgehend werden zur linken Seite hin Verknüpfungen mit der Zielebene vorgenommen. Diese Verknüpfungen beschreiben für jeden Fachbereich den Bezug der untersuchten Aufgabe zu den stadtinternen Oberzielen. Zugleich wird die Beziehung zu den SDGs dargestellt. So illustriert Tabelle 16 (erste Zeile), dass der Fachbereich Planen und Stadtentwicklung (FB 61) über seine Aufgabe „Aufstellung von Bebauungsplänen in den verschiedenen Planungsbezirken“ das Oberziel „Überflutungsschutz“ umsetzen kann. Zugleich setzt er hierbei die SDGs 13 „Maßnahmen zum Klimaschutz“ und 14 „Leben unter Wasser“ um.

Zur rechten Seite hin werden die Aufgaben zuerst bzgl. ihrer räumlichen Umsetzbarkeit differenziert (u. a. Grünflächen, Verkehrsflächen und Gebäude). Die Zuordnung hängt davon ab, für welche Flächen der jeweilige Fachbereich Gestaltungsverantwortung trägt. Anschließend werden diejenigen Maßnahmen zur Aufgabenerfüllung erfasst, die zugleich einem der betrachteten Oberziele dienen. Im Ergebnis sind Aufgaben und Maßnahmen für die verschiedenen Flächenkategorien verknüpft. Tabelle 17/Zeile 1 illustriert beispielweise, dass die Stadtplanung im Rahmen der Aufgabe „Aufstellung von Bebauungsplänen ...“ für den Überflutungsschutz Anforderungen auf Gebäudeebene stellen und Gründächer bzw. eine Abkopplung der Gebäude fordern kann.¹⁴ Die berücksichtigten Maßnahmen sollen neben den „klassischen“ fachspezifischen Handlungsoptionen (z. B. Stauraumkanal für Überflutungsschutz), BGI-Maßnahmen (Gründächer, Mulden, Mehrfachnutzung von Flächen) sowie sonstige Maßnahmen (Sicherung der Keller vor Überflutung) umfassen (vgl. Tabelle 17). Über Tooltips werden Zusatzinformationen zu den einzelnen Maßnahmen hinterlegt (vgl. Tabelle 16).

¹⁴ Die Verknüpfung von Maßnahmen, Aufgaben sowie Oberzielen bzw. SDG erfolgt durch „wenn-dann-Verknüpfungen“.

Tabelle 16: Struktur der Ziel-Aufgaben-Maßnahmen (ZAM)-Matrix

SDGs					Oberziele				FB	Aufgabe	Maßnahmen an/auf								
											Grünflächen			Verkehrsflächen		Gebäudeflächen		Sonstige Flächen	
3	11	13	14	15	GQ	HS	ÜS	GF			A	B	...	G	H	...	N	...	Q
		1	1					1	61	a	1					1	1	1	
1	1									b	1	1		1					
										...									
1	1	1						1	67	h								1	
										i									
										...									
									68	n									
										...									
										...									
																	
										...									

SDGs: SDG 3: Gesundheit und Wohlergehen, SDG 11: Nachhaltige Städte und Gemeinden, SDG 13: Maßnahmen zum Klimaschutz, SDG 14: Leben unter Wasser; SDG 15: Leben an Land

Oberziele: GQ: Gewässerqualität, HS: Hitzeschutz; ÜS: Überflutungsschutz, GF: Grünflächen maximieren;

Fachbereiche: FB 19: Gebäudemanagement, FB 23: Wirtschaft (Liegenschaften), FB 61: Planen und Stadtentwicklung, FB 66: Tiefbau, FB 67: Umwelt und Stadtgrün, FB 68: Stadtentwässerung;

Aufgaben: Fachspezifisch ermittelt; Maßnahmen siehe Fließtext.

Die ZAM-Matrix kann zum einen dazu genutzt werden, Synergien für die Zielerreichung herauszuarbeiten. Hierfür zeigt Tabelle 16 am Beispiel des Überflutungsschutzes, wie die möglichen Maßnahmen zum Überflutungsschutz, die hierbei beteiligten Fachbereiche sowie die Verankerung der Maßnahmen mit deren Aufgaben erfasst werden. Es werden einerseits Synergien durch identische Maßnahmen sichtbar, die von verschiedenen Fachbereichen beeinflusst werden. Gründächer oder Abkopplung von Flächen können lt. Tabelle 16 sowohl durch die Stadtplanung als auch den FB Gebäudemanagement beeinflusst werden. Zugleich wird sichtbar, welche weiteren Maßnahmen demselben Ziel dienen. So kann FB 66 über Mulden (im Straßenraum) oder Notwasserwege ebenfalls zum Überflutungsschutz beitragen. Hierdurch werden Möglichkeiten zur Überlagerung von Maßnahmen sichtbar bzw. wird die Wahlfreiheit zwischen Maßnahmen deutlich. Es wird verständlich, dass die Fachbereiche Tiefbau, Stadtentwässerung, Umwelt und Stadtgrün sowie Gebäudemanagement und Stadtplanung über Maßnahmen die Möglichkeiten haben, sich beim Überflutungsschutz zu unterstützen bzw. aus einem großen Bündel an Maßnahmen koordinierte Gesamtlösungen zu erarbeiten.

Tabelle 17: Anwendungsbeispiel - Synergien die der Zielerreichung

SDG	Oberziel	FB	Aufgabe	Maßnahmen auf verschiedenen Teilflächen
13, 14	ÜS	61	Aufstellung von Bebauungsplänen in den verschiedenen Planungsbezirken	Dachbegrünung (Geb.) Abkopplung von Flächen (Geb.) ...

13, 14	ÜS	19	Bereitstellung und Instandhaltung städtischer Gebäude und Immobilien	Dachbegrünung (Geb.) Abkopplung von Flächen (Geb.) Sicherung der Keller (Geb.) ...
13, 14	ÜS	66	Straßenentwässerung, Schaffung eines temporären Retentionsraums	Mulden (Str.), Notwasserwege (Str.) ...
13, 14	ÜS	67	Planung und Gestaltung von Parks u. historischen Gärten, Spielplätzen, Freiflächen, Verkehrsgrün und Grünzügen	Temporärer Rückhalt (GF), Notwasserwege (GF) ...
13, 14	ÜS	68	Bereitstellung von Retentionsvermögen / Sammlung, Speicherung und Ableitung des zentral entsorgten Niederschlagswassers	Mulden-Rigolen-Systeme mit Kanalschluss (GF u. Str.) Stauraumkanäle (GF u. Str.) ...

SDG 13: Maßnahmen zum Klimaschutz, SDG 14: Leben unter Wasser; ÜS: Überflutungsschutz,
Fachbereiche: FB 19: Gebäudemanagement, FB 61: Planen und Stadtentwicklung, FB 66: Tiefbau, FB 67: Umwelt und Stadtgrün, FB 68: Stadtentwässerung;

Geb.: Gebäudeflächen, GF: Grünflächen; Str.: Straßenraum;

Das Beispiel in Tabelle 18 zeigt, dass durch die ZAM-Matrix zugleich Synergien für die umzusetzenden Maßnahme aufgezeigt werden. Wenn beispielsweise die Stadtplanung im Rahmen eines B-Plans die Nutzung von Gründächern festsetzen möchte, kann sie mit Hilfe dieses Tools diejenigen Fachbereiche herausarbeiten, die ebenfalls von dieser Maßnahme profitieren.

Hierzu kann in der Spalte der ausgewählten Maßnahme (in unserem Beispiel „Förderung von Dachbegrünung und Blue Roofs/Retentionsgründächer“) nach der 1 gefiltert werden. Das Ergebnis zeigt alle Aufgaben der berücksichtigten Fachbereiche, die durch die Maßnahme Dachbegrünung unterstützt werden (vgl. Tabelle 18). So profitiert auch die Stadtentwässerung von Gründächern, da diese Retentionsvolumen bereitstellen.

Der Fachbereich Umwelt und Stadtgrün ist zur Reduktion der Hitzebelastung bestrebt, die Stadt zu „durchgrünen“. Der Fachbereich Gebäudemanagement ist für die Herstellung und Betrieb von Gründächern auf den städtischen Gebäuden verantwortlich und muss als Gebäudeeigentümerin die Kosten tragen. Eine Kostenteilung gemäß der Nutzen, die ein Gründach mit sich bringt, ist daher für den Fachbereich Gebäudemanagement besonders interessant.

Tabelle 18: Anwendungsbeispiel – Synergien hinsichtlich Maßnahmenumsetzung

SDG	Oberziel	FB	Aufgabe	Maßnahmen an und auf Gebäuden	
				(Förderung von) Dachbegrünung und Blue Roofs/Retentionsgründächer	...
11 13 14 15	ÜS GF	61	Aufstellung von Bebauungsplänen in den verschiedenen Planungsbezirken	1	...

13 14	ÜS GQ	68	Bereitstellung von Retentionsvermögen / Sammlung, Speicherung und Ableitung des zentral entsorgten Niederschlagswassers	1	...
11 13 14 15	ÜS GF HV	67	Planung und Gestaltung von Parks, Historischen Gärten...	1	...
11 13 14 15	ÜS GF GQ	19	Bereitstellung (Neu-, Um-, und Erweiterungsarbeiten, sowie Projektsteuerung) und Instandhaltung städtischer Gebäude und Immobilien	1	...

SDGs: SDG 11: Nachhaltige Städte und Gemeinden, SDG 13: Maßnahmen zum Klimaschutz,

SDG 14: Leben unter Wasser; SDG 15: Leben an Land

Oberziele: GQ: Gewässerqualität, HV: Hitzevorsorge; ÜS: Überflutungsschutz, GF: Grünflächen maximieren;

Im Rahmen von **TransMiT** wurde die ZAM-Matrix entworfen und punktuell konkretisiert. Dies diente der Testung der Handhabbarkeit und dem Aufbau eines stimmigen Konstrukt. Eine Abstimmung der Inhalte mit den aufgeführten Fachbereichen hat noch nicht stattgefunden, ist aber erforderlich, um die Matrix innerhalb der Stadtverwaltung nutzen zu können. Insbesondere im Hinblick auf die ausstehende Bedarfsanalyse in der Stadt kann die Matrix Informationen zu aufgabenspezifischen Maßnahmen zur Erreichung der ermittelten Bedarfe liefern.

3.6 Nutzenbewertung

Maßnahmen zur Verbesserung von Hitzevorsorge, ordnungsgemäßen Regenwasserbe- wirtschaftung und Starkregemanagement sind für die zuständigen Fachbereiche bzw. Akteure mit Kosten verbunden. Es sind daher Allokationsentscheidungen, bzgl. der knappen Ressourcen Budget und Fläche zu treffen. Entsprechend werden immer wieder monetäre Bewertungsansätze gefordert, zum Beispiel um die Nutzen von BGI monetär auszudrücken und so deren Kosten zu rechtfertigen. Bei der integralen, gemeinschaftlich-arbeitsteiligen Leistungserbringung könnte dann auch der Beitrag von einzelnen Akteuren abgeschätzt und im Falle von Verteilungskonflikten zwischen Nutznießern und Kostenträgern auch Honoriерungsansätze diskutiert werden.

Allerdings sind monetäre Bewertungen methodisch und zeitlich sehr aufwendig. Daher wird häufig auf pragmatischen Benefit-Transfers, d. h. auf den Transfer von Nutzenaussagen aus erfolgten Studien auf neue Anwendungsfälle zurückgegriffen (z. B. Aevermann und Schmude 2015; Berardi et al. 2014; Richardson et al. 2015). Aber auch hier bestehen zahlreiche Schwierigkeiten und Bedarfe für vereinfachende Annahmen, so dass häufig das Ziel der Quantifizierung der Nutzen von BGI für einen Nutzen-Kosten-Abgleich nicht erreicht werden kann. Im Folgenden wird mit dem Alternativkostenansatz ein pragmatischer Weg zu Ableitung von monetären Signalen untersucht. Der Ansatz besteht darin, dass der Nutzen einer Maßnahme als Kosteneinsparung gegenüber der nächstbesten Alternative mit demselben Nutzenumfang ausgedrückt wird (für weitere Erläuterungen zum Alternativkostenansatz - siehe Teil B 1.9. Ausgehend von Kosten-Wirksamkeits-Betrachtungen werden folgende Aussagen möglich:

- Monetäre Nutzenaussage für Maßnahmen in Bezug auf eine vorgegebene Wirksamkeit (Zielerreichung);
- Aussagen zu den notwendigen Zusatzkosten für eine Erweiterung des Leistungsspektrums.

Voraussetzung hierfür ist die Beschreibung der Kosten-Wirksamkeiten der Maßnahmen/ von Szenarien im Hinblick auf die angestrebten Ziele sowie eine klare Gewichtung der Ziele, die in die Betrachtung einbezogen werden. Der Ansatz wurde beispielhaft für Quartiere von Hannover getestet. Hierbei wurde maßgeblich auf Informationen der Musterplanung (vgl. Teil B 2.2) aufgebaut.

Es werden drei Maßnahmen und deren Kombinationsmöglichkeiten miteinander verglichen. (zur weiteren Konkretisierung von Kosten und Wirksamkeiten – siehe Teil B 1.7):

- Mulde/klein – Teilversickerung des Dachablaufs über eine Mulde
- Mulde/groß – vollständige Versickerung des Dachablaufs über eine Mulde
- Gründach extensiv – vollständiges Erfassen des Daches durch ein Gründach
- Kombination Gründach extensiv + Mulde/klein
- Kombination Gründach extensiv + Mulde/groß

Zur Beschreibung der Wirksamkeit der Maßnahmen werden im Rahmen einer Nutzwertanalyse die folgenden vier Ziele aufgegriffen. In Klammern ist die beispielhaft gewählte Gewichtung für die Kriterien im Rahmen der Nutzwertermittlung angegeben. Die konkret genutzte Gewichtung spielt jedoch im Folgenden keine entscheidende Rolle und wird daher nicht in den Mittelpunkt gestellt, obgleich sie in der Praxis einen entscheidenden Schritt darstellt: Abkopplungsgrad vom Kanal (50 %), Verdunstungsleistung (30 %), Effekte für Biodiversität (10 %), Gestaltungsfreiheit bei Freiflächen (10 %).

Die Wirksamkeit der Maßnahmen bzgl. der vier Kriterien wurde anhand von Erkenntnissen aus der Musterplanung, Expertenschätzungen und mit Bezug auf Boer (2022) abgeleitet. Zugleich wird bei der Ergebnisinterpretation auf den Fall abgestellt, dass Gründach und Versickerungslösung durch unterschiedliche Akteure errichtet und betrieben und somit nicht notwendigerweise gemeinsam und koordiniert geplant werden.

Abbildung 51 zeigt den Vergleich der Maßnahmen anhand ihres Nutzwertes und der Jahreskosten mit Hilfe einer Kosten-Nutzwert-Analyse¹⁵.

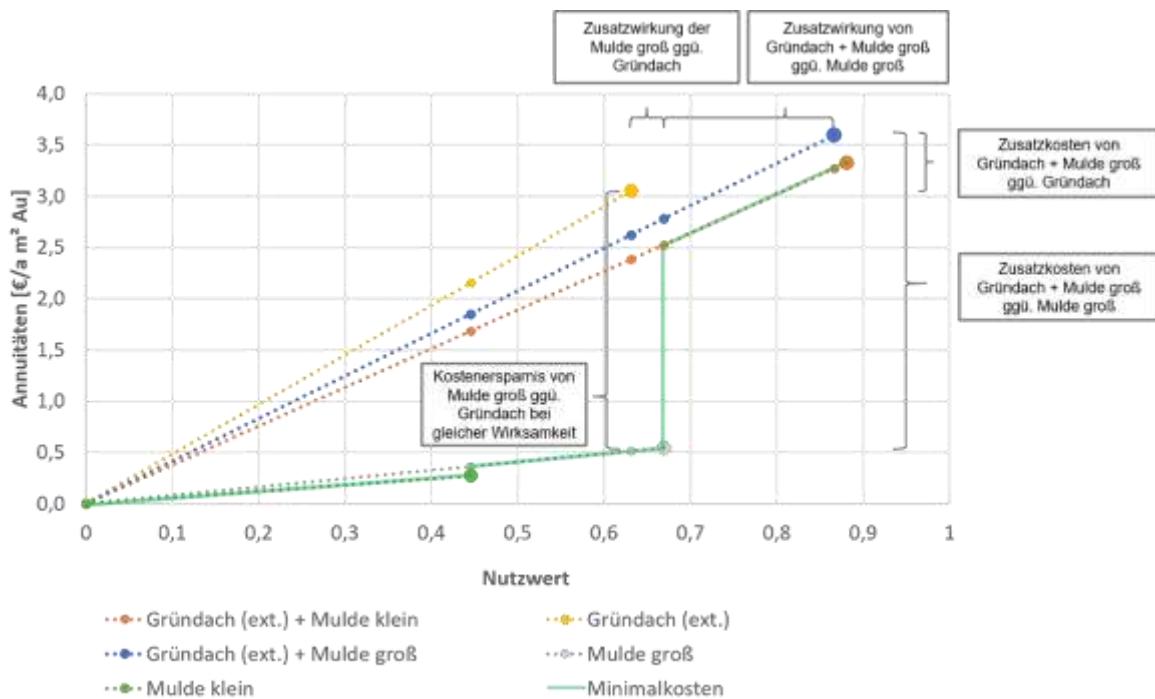


Abbildung 51: Kosten-Nutzwert-Analyse und Minimalkosten von BGI-Maßnahmenoptionen [S. Geyler/Diemar, IIRMJ]

Folgende Aussagen werden mit dem beispielhaften Vergleich verdeutlicht:

- Die Maßnahmen bzw. Maßnahmenkombinationen haben eine unterschiedliche Effektivität bzgl. der vier Zielkriterien. Im konkreten Beispiel werden Nutzwerte zwischen 0,45 und 0,9 erreicht, d. h. die Zielvorgaben der Kriterien werden im gewichteten Durchschnitt zu 45 bis 90 % erfüllt.
- Geringere Nutzwerte (im konkreten Beispiel bis ca. 0,6) werden von (fast) allen Maßnahmen erreicht oder überschritten. Maximale Nutzwerte werden nur von kombinierten Lösungen aus Gründach und Mulden erreicht.
- Vergleicht man die Maßnahmen bei einem bestimmten Nutzwert, so können die Kostenunterschiede zwischen den Maßnahmen als Nutzenunterschiede interpretiert werden¹⁶. Zum Erreichen eines Nutzwertes von 0,6 ist eine vollständige Mul-

¹⁵ Investitionshöhen lt. Musterplanung; Betriebskosten = 1,50 €/a m² für Gründächer und 0,14 €/a m² (vgl. Müller et al. 2021, S. 196), Diskontrate 3 %; Nutzungsdauer 50 a für Gründächer und 25 a für Mulden.

¹⁶ Hierfür wird stark vereinfachend eine lineare Interpolation vorgenommen, um Kosten von Maßnahmen mit höherer Wirksamkeit in den Kostenvergleich einzubeziehen. Dadurch werden auch unteilbare Kosten (z. B.

denversickerung deutlich kostengünstiger als ein Gründach (beim konkreten Beispiel 1,80 €/a m²).

- Die Kosten einer Erhöhung der Zielerreichung werden deutlich: Zur Steigerung der Leistung über eine Zielerreichung von 0,65 hinaus sind Maßnahmenkombinationen für die Steigerung der Leistungsfähigkeit notwendig. Die Zusatzkosten sind gegenüber einer Gründachlösung als Ausgangspunkt höher, wenn ursprünglich eine Muldenversickerung errichtet worden war.

Das vereinfachte Beispiel lässt folgende Schlussfolgerungen für die Koordinierung zwischen Fachbereichen sowie zwischen Fachbereichen und Privaten zu: Erlauben es die Bedarfe nach den Infrastrukturleistungen (hier ausgedrückt als Nutzwerte), dass zwischen mehreren zu erreichenden Maßnahmen gewählt werden kann, so ist darauf zu achten, dass die wirtschaftlichsten genutzt werden. Hierbei können die erzielten Nutzeneffekte durch kosteneffiziente Maßnahmen zum Setzen entsprechender Anreize (Finanzierungsoptionen) eingesetzt werden. Sind die zu erreichenden Ziele so ambitioniert, dass diese nur durch Kombination der möglichen Maßnahmen erreicht werden, so müssen Rahmenbedingungen geschaffen werden, dass alle Maßnahmen, selbst die kostenintensiven, eingesetzt werden. Die finanziellen Anreize müssen sich dann an den Maßnahmenkombinationen orientieren.

Baustelleneinrichtungen u. a.) vereinfachend als variabel angenommen und es werden Größeneffekte vernachlässigt. Die Verzerrung ist für das hier verfolgte Ziel von Screeningaussagen akzeptabel.

4. Anreizsysteme

Im Rahmen der Strategiekomponente 3 Institutionalisierung wurden Prozesse, Tools und Strukturen der kooperativen Zusammenarbeit der Fachbereiche entwickelt, um eine großmaßstäbliche, standardmäßige Nutzung von multifunktionalen blau-grünen Infrastrukturen (BGI) zu erreichen und so die Oberziele „Hitzevorsorge“, „Überflutungsschutz/Starkniederschläge“ und „Gewässerschutz/ordnungsgemäße Regenwasserbewirtschaftung“ u. ä. umzusetzen. Diese sollen die beteiligten Akteure unterstützen. Offen bleibt jedoch, ob diese Innovationen auch aufgegriffen werden. Daher wird in diesem Kapitel ergänzend die Motivation der beteiligten Fachbereiche untersucht, bei der integralen Umsetzung von Maßnahmen mitzuwirken (Kap. 4.1), sowie Ansätze, um private Akteure der Stadtgesellschaft (wie z. B. Wohnungsgenossenschaften) zu motivieren (Kap. 4.2).

Kernaussagen

- *Zur erfolgreichen Kooperation müssen die Fachbereiche motiviert werden, sich selbst dann zu beteiligen, wenn sie zwar Verantwortung für Teilmaßnahmen tragen, aber selbst nur einen geringen Nutzen aus den Maßnahmen ziehen. Die Anpassung der Aufgaben der Fachbereiche und kooperative Finanzierung sind zwei Ansätze zur Überwindung derartiger Konflikte.*
- *Durch die Stärkung der Verbindlichkeit der Oberziele (in TransMiT Gewässerschutz/ordnungsgemäße RW-Bewirtschaftung, Überflutungsschutz/Starkniederschläge und Hitzevorsorge) im Rahmen ihres Aufgabenkanons werden die an integralen BGI-Maßnahmen beteiligten Fachbereiche zur umfassenderen Berücksichtigung von BGI angeregt – wobei Win-win-Situationen eine Umsetzung deutlich stärker unterstützen (Aufgabenanpassung mit Blick auf die Oberziele).*
- *Verbesserungspotenziale bei der Aufgabenanpassung bestehen in Hannover bei allen untersuchten Fachbereichen hinsichtlich Hitzevorsorge und beim Umgang mit Starkniederschlägen. Bei der Anpassung der Aufgabenstruktur kann das Verursacherprinzip richtungsleitend sein.*
- *Kooperative Finanzierungen helfen, Verteilungskonflikte bei unbefriedigender Aufgabenverteilung und Zuständigkeit abzumildern und die Nutzungsrate und Wirtschaftlichkeit integraler Maßnahmen zu erhöhen. Zentraler Ansatz kooperativer Finanzierungsoptionen ist gegenwärtig die Kostenaufteilung zwischen Fachbereichen entsprechend Zuständigkeit, Kostenstellen oder Lebenszyklusphase. Wünschenswert ist die Verfestigung der Good-Practice-Beispiele als Verteilungsschlüssel.*
- *Zusätzliche Finanzierungsquellen unterstützen die Fachbereiche bei der Nutzung von BGI.*
- *Private Akteur*innen müssen bei stadtplanerischen Maßnahmen zwingend mit einbezogen werden, wozu wiederum kleinräumige Wirkungen bzw. die Wirkung von Einzelmaßnahmen differenziert benannt werden müssen.*
- *Durch Vereinfachung der Vorgänge für Genehmigung und Gebührenreduktion und durch Bereitstellung von Musterplanungen (mit leicht verständlichen Hinweisen zur Bemessung und baulichen Ausführung als Entscheidungshilfe durch übersichtliche Darstellung von Kosten und Wirkungen) und quartierspezifischen Umsetzungspotentialkarten können die größten Hemmnisse zur Abkopplung von Regenwassereinleitungen überwunden werden.*
- *Im Bestand stehen dem Aufwand zur Abkopplung von der (Regenwasser-) Kanalisation nur geringe Einsparungen an Regenwassergebühren gegenüber. Ein finanzieller Anreiz zur Umsetzung von BGI besteht bisher lediglich über die ermäßigte Regenwassergebühr, wenn kein Wasser in die Kanalisation geleitet wird.*

4.1 Förderung stadtinterner Kooperationen

Die Kommunen stellen zahlreiche Leistungen für die Bürger*innen bereit – von der ordnungsgemäßen Regenwasserbewirtschaftung bis zum öffentlichen Stadtgrün. Hierbei sind die Fachbereiche und Aufgabenträger auf das Erbringen jeweils bestimmter Leistungen spezialisiert mit der Konsequenz „versäulter“ Verwaltungsstrukturen (Banner 1998; Böhm und Gehne 2018, S. 1208; Hielscher 2020, S. 5). Die Verantwortung für die Verkehrsinfrastruktur liegt entsprechend beim Fachbereich (FB) Tiefbau während der FB Umwelt und Stadtgrün Ökosystemleistungen durch Stadtgrün anbietet und gute Umweltleistungen durch entsprechende Auflagen gegenüber den Flächennutzern sicherstellt. Die Stadtentwässerung Hannover¹⁷ (SEH) stellt die öffentlichen Anlagen zur ordnungsgemäßen Regen- und Schmutzwasserentsorgung bereit und betreibt sie. Im Hinblick auf die in der Einleitung genannten Oberziele müssen diese Leistungsspektren erweitert werden.

Im Rahmen der Strategiekomponente 3 Institutionalisierung wurden Prozesse, Tools und Strukturen der kooperativen Zusammenarbeit der Fachbereiche entwickelt, um eine großmaßstäbliche, standardmäßige Nutzung von multifunktionalen BGI im öffentlichen Raum zu identifizieren und so die Oberziele umzusetzen. Ob diese Ansätze jedoch aufgegriffen werden, hängt nicht zuletzt von der Motivation der Fachbereiche ab, ihr Ressortdenken zugunsten von integralen Ansätzen aufzugeben und hierfür sogar Kompromisse bzgl. ihrer spezifischen Ziele einzugehen bzw. finanzielle Ressourcen und auch Fläche bereitzustellen. Um die hierfür notwendigen Rahmenbedingungen zu untersuchen, werden die Fachbereiche zunächst als gleichberechtigte Akteure angesehen, die zur Umsetzung der integralen Maßnahmen (hier BGI) freiwillig, d. h. „horizontal“ miteinander kooperieren. Es werden dabei zwei Teilaufgaben betrachtet:

- Kann eine bessere Verankerung der Oberziele bei den Fachbereichen als pflichtige Aufgabe die Kooperation zwischen ihnen unterstützen?
Die Aufgabenverteilung zwischen den Fachbereichen wird dahingehend überprüft, inwieweit deren Fähigkeit, Beiträge für die Oberziele zu leisten, mit ihrer Aufgabenverantwortung übereinstimmt.
- Welche Ansätze zur kooperativen Finanzierung von BGI wurden durch die Kommunen bereits entwickelt?
Da Finanzierungsansätze einen zentralen Ansatz darstellen, um die Konflikte bei der Kooperation von Fachbereichen zu überwinden, wird geprüft, inwieweit sich hier schon entsprechende Routinen (Verteilungsschlüssel) zeigen, welche wiederholt genutzt werden und den Abstimmungsaufwand reduzieren.

Nachfolgend wird zunächst der konzeptionelle Ansatz beschrieben (Kap. 4.1.1). Danach werden die Ergebnisse zur Aufgabenanalyse vorgestellt (Kap. 4.1.2) und schließlich mögliche Finanzierungsansätze vorgestellt (Kap. 4.1.3).

4.1.1 Hintergrund und konzeptioneller Ansatz

Zahlreiche Konzepte für BGI sind mittlerweile vorhanden bzw. werden intensiv erprobt. Deinen Umsetzung in die kommunale Praxis erfordert jedoch ein fachbereichsübergreifendes Vorgehen und Kooperationen von Fachbereichen. Gründe hierfür sind:

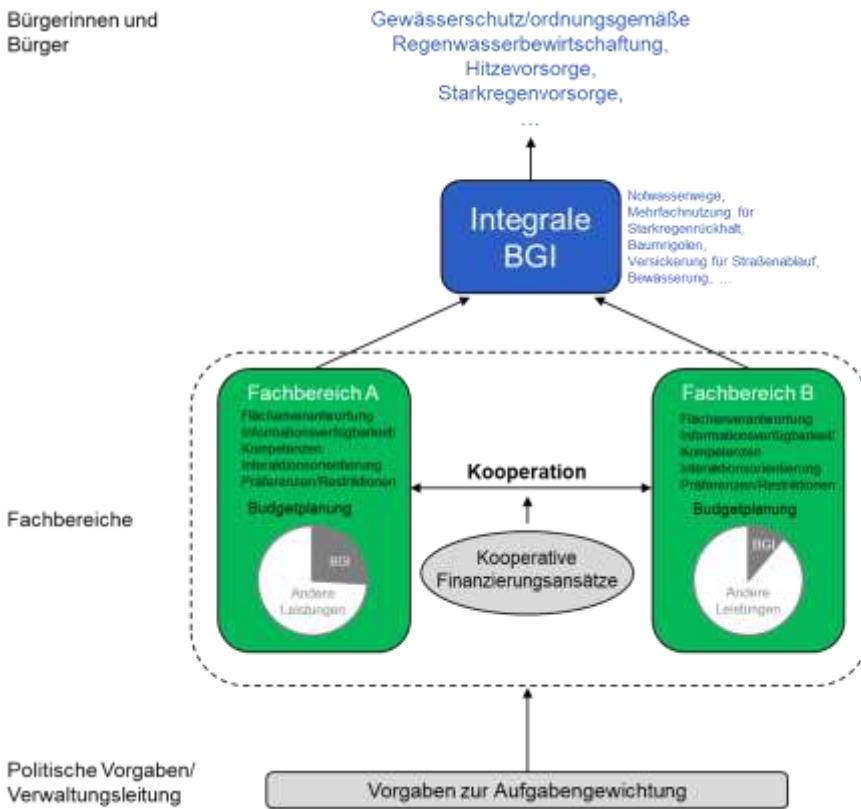
¹⁷ Die Stadtentwässerung Hannover ist als Eigenbetrieb ein Teil der Verwaltung von Hannover.

- Aufgrund ihrer spezifischen Aufgaben verhindern die Fachbereiche in unterschiedlichem Ausmaß eine Zielerreichung in anderen Sektoren: Versiegelte Flächen für Verkehr führen z. B. zu erhöhtem Oberflächenabfluss, zu geringen Versickerungs- und Verdunstungsraten und verschärfen zugleich die Hitze problematik¹⁸. Sie verursachen somit negative externe Effekte.
- Aufgrund ihrer spezifischen Flächenverantwortung kann jeder Fachbereich bestimmte BGI-Maßnahmen umsetzen bzw. Teilkomponenten von BGI errichten und betreiben, ist aber zugleich von anderen Fachbereichen abhängig. Im Straßenraum können Notwasserwege, Mulden oder Baumrigolen eingesetzt werden, Grünflächen eignen sich z. B. für die Versickerung und für den temporären Rückhalt von Starkniederschlägen. Allerdings kann das für Stadtgrün verantwortliche Amt zwar den temporären Rückhalt von Starkregen auf Grünflächen ermöglichen, aber die gesteuerte Zuleitung der Wassermengen sowie deren Ableitung (wenn nicht alles versickert wird), fällt i. d. R. nicht in ihren Aufgabenbereich. Ebenso die Qualitätsüberwachung. Im Hinblick auf die Oberflächenabflussqualität ist dann z. B. die Stadtentwässerung wiederum von der städtischen Straßenreinigung und die durch die Stadt erlaubte Oberflächennutzungen beeinflusst.
- Multifunktionale Maßnahmen nützen immer auch anderen Fachbereichen, sie leisten positive externe Effekte. Beispielsweise unterstützt der Fachbereich Umwelt und Stadtgrün mit dem temporären Rückhalt von Starkniederschlägen durch Grünflächen den Überflutungsschutz auf Straßen und somit auch den Gebäudeschutz. Andersherum kann die Stadtentwässerung durch eine gezielte Priorisierung des Rückhalts vor schnellem Abtransport vermehrt NW im Quartier zur Verfügung stellen, was zur Bewässerung genutzt werden kann.
- Spezialisierung bei einzelnen Teilespekten multifunktionaler BGI kann die Wirtschaftlichkeit erhöhen, indem entsprechende Informationstools und Kompetenzen von einzelnen Fachbereichen für alle angeboten werden (Fließwegsberechnung, Grünflächenpflege, etc.).
- Die Maßnahmen binden die ohnehin begrenzten Budgets der Fachbereiche und konkurrieren mit anderen Aufgaben um Fläche und Arbeitskraft. Für Baumrigolen und Mulden muss beispielsweise ggf. der Straßenraum verkleinert werden, nach einem Starkniederschlag müssen Überflutungsflächen gereinigt werden.

Zusammenarbeit ist daher notwendig, um eine sektorübergreifende Sicht zu entwickeln, optimale Varianten zu ermitteln, Maßnahmen abzustimmen und diese dann arbeitsteilig zu errichten und zu betreiben. Um diese Zusammenarbeit zu untersuchen, werden im Folgenden die Fachbereiche als korporative Akteure¹⁹ gesehen. Das Konzept ist in Abbildung 52 beispielhaft für zwei Fachbereiche zusammengefasst.

¹⁸ Andererseits erlauben reine Freiflächen zur Versickerung keine Wohnnutzung und bieten keine Verkehrsinfrastrukturen außer Fuß- und Radwegen an.

¹⁹ Handlungsfähige, formal organisierte Personen-Mehrheiten (Colemann 1974, nach Mayntz und Scharpf 1995, S. 49).



BGI - Blaugrüne Infrastrukturen

Abbildung 52: Konzeptioneller Ansatz [S. Geyler, A. Diemar]

Die Fachbereiche sind für einen begrenzten Teil der städtischen Flächen zuständig. Gleichzeitig entscheidet jeder Fachbereich für sich, wieviel seines knappen Budgets er der Bereitstellung der integralen BGI widmet. Der Leistungsumfang der BGI ergibt sich jedoch nicht nur aus dem Gesamtumfang des Engagements der einzelnen Fachbereiche, sondern auch aus dem richtigen Verhältnis der spezifischen Beiträge.²⁰ Hierzu müssen die Fachbereiche kooperieren – d. h. sich inhaltlich bzgl. Art und Umfang der Maßnahmen abstimmen. Dies ist ein Verhandlungsprozess, den die Fachbereiche aus ihrer Perspektive bewerten.²¹ Es wird angenommen, dass sie mit dem zur Verfügung stehenden Budget und der vorgegebenen Aufgabenpriorisierung den höchsten Nutzen erreichen möchten, wobei Nutzen mit dem Umfang der fachbereichsspezifischen Aufgabenerfüllung gleichgesetzt wird.

Aufgrund der gerade umrissenen Verhandlungskonstellation zwischen gleichberechtigten Fachbereichen reicht es für die erfolgreiche Umsetzung von BGI nicht, dass diese von den

²⁰ Im Bericht Teil B 1.1 wird das Konzept stärker formalisiert. Hier wird die integrale Regenwasserbewirtschaftung als gemeinsame Dienstleistungserbringung von zwei Fachbereichen im Rahmen von weitgehend limitativen Produktionsfunktionen dargestellt, wobei jeder Fachbereich wiederum eine Optimierung seines Dienstleistungsbündels vornehmen muss und sowohl über seine Beiträge zum Regenwassermanagement als auch über den Umfang an weiteren Leistungen entscheiden muss.

²¹ Hierbei wird konzeptionell auf den Analysen von Verhandlungslösungen durch kooperative Akteure (Scharpf 1992) sowie dem Konzept des akteurszentrierten Institutionalismus (Mayntz und Scharpf 1995) aufgebaut. Akteure handeln entsprechend zielorientiert. Ihr Handeln wird durch die Regeln und Konstellationen (hier die vorgegebene Aufgabengewichtung) bestimmt, zusätzlich aber auch durch die Handlungsorientierung der Individuen einer Organisation.

Beteiligten aus einer Gesamtperspektive heraus als effektiver und/oder effizienter als fachbereichsspezifische Alternativen beurteilt werden. Daneben muss jeder beteiligte Fachbereich die für ihn relevanten Nutzen der Maßnahme höher als die eigenen Kosten einschätzen. Es bedarf also einer Win-win-Lösung. Somit spielt die fachbereichsspezifische Beurteilung der Nutzung und Kosten, die mit den Maßnahmen verbunden sind, eine entscheidende Rolle. Zwei Einflussmöglichkeiten stehen im Folgenden im Mittelpunkt:

Vorgaben zur Aufgabengewichtung: Werden die Fachbereiche stärker auf die Erfüllung der Oberziele (Hitzevorsorge, Überflutungsschutz/Starkniederschläge, Gewässerschutz/ordnungsgemäße Regenwasserbewirtschaftung, ...) verpflichtet und diese Ziele entsprechend gegenüber anderen fachbereichsspezifischen Zielen gestärkt, so werden sich die Fachbereiche auch stärker bei der integralen Bereitstellung der BGI engagieren (und vice versa).

Kooperative Finanzierungsansätze: Kooperationen als Koordinationsmodi erfordern die explizite Berücksichtigung von Verteilungsaspekten, um zu einer Win-win-Situation zu gelangen (Scharpf 1992). Somit spielen etwaige Verteilungskonflikte eine zentrale Rolle. Kompensationsmaßnahmen dienen dem Ausgleich der Interessen und erhöhen die Wahrscheinlichkeit, zu einer Lösung zu gelangen.²²

Ob eine Kooperation erfolgreich verläuft und welche Ergebnisse möglich sind, wird von zahlreichen weiteren Faktoren bestimmt, die aber im Folgenden nicht im Mittelpunkt stehen. Neben den fachbereichsspezifischen Präferenzen, Restriktionen sowie der fachlichen Kompetenz und ausreichender Informationen zum Umgang mit den BGI ist die Interaktionsorientierung der Fachbereiche bedeutsam. Sie kennzeichnet, inwieweit sich die Akteure nicht nur auf ihre Ziele, sondern auch kooperativ am Nutzen anderer Fachbereiche orientieren. Weiterhin spielt eine Rolle, inwieweit übergeordnete Akteure mit einer hierarchischen Entscheidung drohen können. Zugleich müssen sich die Abstimmungskosten (Transaktionskosten) in einem für die Beteiligten akzeptablen Rahmen halten. Weiterhin wichtig sind u. a. ein „common knowledge“ zur Verhandlungssituation, regelmäßige Zusammenarbeit, Vertrauen zwischen Partnern auf Augenhöhe, eine klare Rollenverteilung und finanzielle Förderungen bzw. feste Finanzierungsregeln (Scharpf 1992; Matschek 2011; Floh 2017; Zimmermann 2018; Börzel 2008, siehe auch Teil B 1.1).

4.1.2 Analyse der Aufgaben der Fachbereiche und deren Bedeutung für die Umsetzung der Oberziele

Um zu einem Oberziel beizutragen, müssen Fachbereiche hierzu aufgrund ihrer Aufgaben technisch in der Lage sein und darüber hinaus dies auch wollen. Im Folgenden werden daher die Aufgaben der Fachbereiche analysiert. Im Mittelpunkt stehen wieder zwei Fragen:

- Wie eng ist die mögliche Verflechtung zwischen dem Handeln der Fachbereiche und den betrachteten Oberzielen?
Hierzu wird untersucht, welche der Aufgaben der Fachbereiche einen Lösungsbeitrag zum Erreichen des jeweiligen Oberziels leisten.

²² Auf diese Aspekte wird im Abschnitt 4.1.3 eingegangen.

- Inwieweit sind Fachbereiche zugleich verpflichtet, die Oberziele bei der Aufgabenerfüllung zu berücksichtigen?

Es wird somit geprüft, inwieweit die Fachbereiche verpflichtet sind, ihr Handlungspotenzial in Bezug auf die Oberziele auszunutzen. Wenn zwar ein Zielerreichungspotential besteht, aber keine Pflicht zur entsprechenden Berücksichtigung, besteht die Gefahr, dass das Oberziel von den Fachbereichen in zu geringem Umfang aufgegriffen wird; insbesondere dann, wenn zum Erreichen der Oberziele knappe Ressourcen wie Budget, Fläche etc. benötigt werden und somit das Erreichen des Oberziels in Konkurrenz zu anderen wichtigen Zielen und Aufgaben des Fachbereiches (bzw. auch der anderen Fachbereiche) steht.

Methodik:

Das mehrstufige Vorgehen wird durch Abbildung 53 zusammengefasst. Die Analyse erfolgte als semiquantitative Analyse. Das Erheben von fachbereichsspezifischen Informationen (Schritte 3-6) erfolgte durch die TransMiT-Projektpartner in der Stadtverwaltung von Hannover und wurde durch das IIRM begleitet. Durch diese wurden auch die weiteren Fachbereiche einbezogen. Im Ergebnis liegen Häufigkeitsaussagen sowie ergänzende Informationen vor.

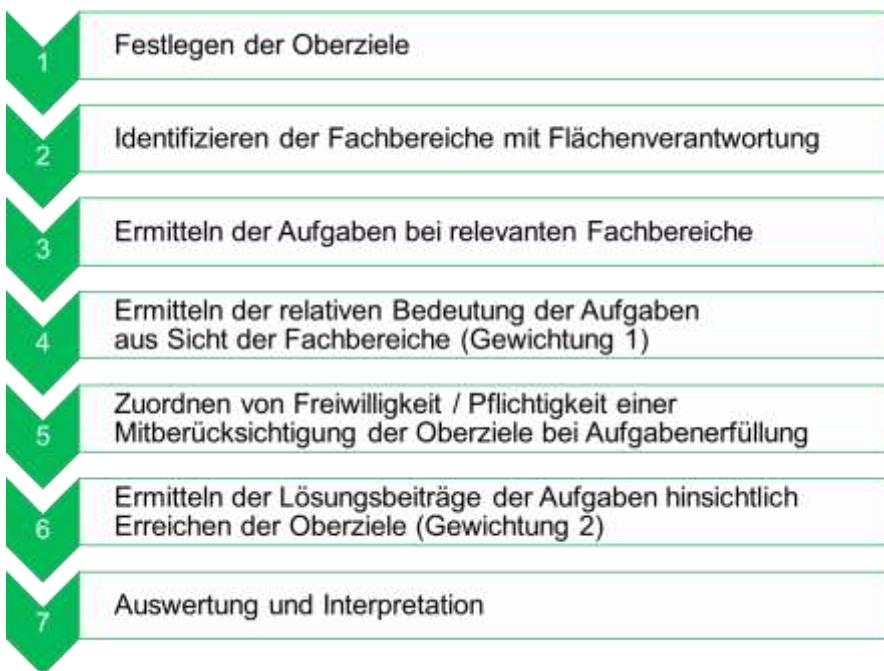


Abbildung 53: Ablaufschema für die Ermittlung der Aufgabenverteilung/-gewichtung [S. Geyler, T. Wüstneck]

Die folgende Auswertung berücksichtigt alle Aufgaben der Fachbereiche unabhängig davon, ob sie eine zentrale oder geringe Bedeutung haben (Gewichtung 1 zur Bedeutung der Aufgabe innerhalb des FB ≥ 0). Es werden allerdings nur die Aufgaben mit hohem Lösungsbeitrag zu den Oberzielen „Hitzevorsorge“, „Gewässerschutz/ordnungsgemäße Regenwasserbewirtschaftung“ und „Überflutungsschutz/Starkniederschläge²³“ betrachtet. Ein hoher

²³ Beim Überflutungsschutz wurde in Abstimmung mit der Stadtentwässerung Hannover zwischen drei Kategorien unterschieden. Bis zur Wiederkehrzeit T = 10 Jahre werden die Regenereignisse zusammenfassend dem Gewässerschutz/der ordnungsgemäßen Regenwasserbewirtschaftung zugeordnet und die Stadtentwässerung Hannover muss je nach Gebietskategorisierung (Tabelle 3, DWA-A 118, Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen) Überstaufreiheit gewährleisten; bei Starkregen bis T = 20 Jahre darf kein

Lösungsbeitrag wurde dann angenommen, wenn die Fachbereiche ihn mindestens mit dem Wert 2 auf einer Skala von 1 bis 3 beurteilt haben. Falls eine Aufgabe der Fachbereiche in enger Synergie zum Oberziel steht, wurde dies mit einer Pflicht zur Berücksichtigung der Oberziele gleichgesetzt, da die Aufgabenerfüllung automatisch auch zu einer Erfüllung der Oberziele führt. Die Beurteilung der Bedeutung der Aufgaben in Bezug zu den Oberzielen wurde durch die jeweiligen Fachbereiche vorgenommen. Weitere Erläuterungen zur Methodik und weitere Ergebnisse sind in Teil B 1.2 aufgeführt.

Ergebnisse

Eine vereinfachte quantitative Zusammenschau der relativen Anteile an Aufgaben mit Beziehung zu den Oberzielen sowie mit einer Pflicht zu deren Berücksichtigung ist in der folgenden Tabelle 19 dargestellt. Bei den folgenden Erläuterungen werden weitere Informationen z. B. zur Bedeutung der Aufgaben aus Sicht der Fachbereiche herangezogen.

Tabelle 19: *Fachbereiche Tiefbau, Umwelt und Stadtgrün und Stadtentwässerung Hannover – relativer Anteil an Aufgaben mit Beziehung zu den Oberzielen sowie mit einer Pflicht zu deren Berücksichtigung [Bearbeitung: Projektverbund TransMiT, unter Mitarbeit von S. Graupner]*

FB	Ges.	Hitzevorsorge		Regenwasserbewirtschaftung													
				Gewässerschutz / Ordnungsgemäße RWB				Überflutungsschutz (T < 20 a)				Überflutungsschutz (T > 20 a)					
		Aufgaben (absoluter Wert)															
66	35	ohne Bezug OZ	mit Bezug OZ	davon freiw.	davon Pflicht	ohne Bezug OZ	mit Bezug OZ	davon freiw.	davon Pflicht	ohne Bezug OZ	mit Bezug OZ	davon freiw.	davon Pflicht	ohne Bezug OZ	mit Bezug OZ	davon freiw.	davon Pflicht
67	33	34	1	1	0	34	1	0	1	33	2	2	0	35	0	0	0
68	17	19	14	0	14	24	9	3	6	29	4	4	0	29	4	4	0
		16	1	1	0	10	7	0	7	10	7	6	1	10	7	6	1
Aufgaben (relativer Anteil)																	
66		mit Bezug OZ / Gesamt	davon Anteil pflichtige	mit Bezug OZ / Gesamt	davon Anteil pflichtige	mit Bezug OZ / Gesamt	davon Anteil pflichtige	mit Bezug OZ / Gesamt	davon Anteil pflichtige	mit Bezug OZ / Gesamt	davon Anteil pflichtige	mit Bezug OZ / Gesamt	davon Anteil pflichtige	-			
67		3%	0%	3%	100%	67%	100%	6%	0%	0%	12%	0%	14%	0%	12%	0%	
68		42%	100%	27%	41%	41%	100%	41%	41%	41%	41%	41%	41%	41%	41%	14%	

FB 66 – Fachbereich Tiefbau; FB 67 – FB Umwelt und Stadtgrün; FB 68 – Stadtentwässerung; Ges. = Gesamt; RWB = Regenwasserbewirtschaftung; OZ = Oberziel; Bedeutung der Aufgabe innerhalb des FB ≥ 0 ; Lösungsbetrag zum jeweiligen Oberziel ≥ 2 ; bereinigt um freiwillige Aufgaben mit hohen Synergien; Stand: Juni 2022.

Hitzevorsorge

Die engste Verflechtung zur Hitzevorsorge weist der FB Umwelt und Stadtgrün auf. Bei 40 % der Aufgaben sind hohe Lösungsbeiträge zum Erreichen dieses Oberziels möglich. Die Beiträge der anderen FB zum Oberziel sind demgegenüber zwar summenmäßig mit jeweils einer Aufgabe begrenzt, jedoch sind diese beiden Aufgaben für die BGI sehr relevant. Zum Beispiel betrifft dies beim Tiefbau die Aufgabe „Erstellung von Entwürfen und Plänen zum Neubau von Wegen, Wohnstraßen, Plätzen, Hauptverkehrsstraßen, Verkehrsknotenpunkten“ und somit die Gestaltung einer der großen Flächenkomponenten. Bei der Stadtentwässerung fällt mit „Optimierung des Abwassersystems in ökologischer, technischer, betrieblicher und wirtschaftlicher Hinsicht“ ebenfalls eine zentrale Aufgabe hinein.

Wasser, das aus der Kanalisation austritt, von öffentlichen Flächen auf private Grundstücke fließen. Bei seltenen Regenereignissen ist die Verantwortung der Kommune noch nicht klar geregelt.

Im FB Umwelt und Stadtgrün kommt zugleich der Hitzevorsorge eine hohes Gewicht zu, denn bei allen Aufgaben mit starkem Bezug zur Hitzevorsorge muss dieses Oberziel verpflichtend mitberücksichtigt werden bzw. bestehen Synergien zwischen der Aufgabe und dem Oberziel²⁴. Somit ist zu vermuten, dass dieses Oberziel berücksichtigt wird, soweit es trotz der internen Konkurrenz um die knappen Finanz- oder Flächen-Ressourcen bzw. vor dem Hintergrund von Konflikten mit anderen fachbereichsspezifischen Zielen möglich ist. Demgegenüber müssen die anderen beiden Fachbereiche Hitzevorsorge nicht verpflichtend bei ihrer Aufgabengestaltung mitberücksichtigen. Hier ist daher zu vermuten, dass diesem Oberziel ein zu geringes Gewicht bei Abstimmungen mit konfliktären Zielen bzw. bei der Konkurrenz um Finanz- und Flächenressourcen zukommt und entsprechende BGI-Maßnahmen in zu geringem Umfang ergriffen werden.

Gewässerschutz/ordnungsgemäße Regenwasserbewirtschaftung

Die beste Fähigkeit für Beiträge zum Gewässerschutz im Rahmen der ordnungsgemäßen Regenwasserbewirtschaftung bei Niederschlägen hat erwartungsgemäß die Stadtentwässerung. 40 % ihrer Aufgaben können stark zu diesem Oberziel beitragen.²⁵

Ebenfalls erwartungsgemäß ist, dass auch Aufgaben des FB Tiefbau (eine Aufgabe) und des FB Umwelt und Stadtgrün (ca. 30 % der Aufgaben) deutlich mit diesem Oberziel verknüpft sind. Wiederum sind hier beim FB Tiefbau die „Erstellung von Entwürfen und Plänen zum Neubau von Wegen, Wohnstraßen, Plätzen, Hauptverkehrsstraßen, Verkehrsknotenpunkten“ zu nennen. Beim FB Umwelt und Stadtgrün fallen hier die „Planung und Gestaltung von Parks u. historischen Gärten, Spielplätzen, Freiflächen an Schulen und Kitas, Betriebs-, Sozial- und Kulturbauten, Sport- und Fitnessanlagen, Stadtplätzen, Verkehrsgrün und Grünzügen“ hinein sowie weitere.²⁶

Bei nahezu sämtlichen Aufgaben, die einen Bezug zu diesem Oberziel haben, müsste das Oberziel pflichtig von dem jeweiligen FB berücksichtigt werden, falls es nicht sowieso Kerninhalt der Aufgabe ist oder in Synergie zur Aufgabe steht. Das entspräche einer umfassenden Verankerung der Zielstellung bei den Fachbereichen und wird teilweise auch über deren technischen Richtlinien vorgegeben. Die Berücksichtigung findet daher heute schon statt, ist aber stark von dem jeweiligen Sacharbeiter abhängig.

Es ist wünschenswert, dass der in den vergangenen Jahren eingeleitete Entwicklungsprozess, bei dem die Verantwortung für die ordnungsgemäße Regenwasserbeseitigung von der Stadtentwässerung auf die Flächeneigentümer bzw. Flächenverantwortlichen übergeht, weiter verstetigt wird. Verankert ist dies u. a. in Rechtstexten und kommunalen Vorgaben,

²⁴ Bei einigen Aufgaben mit Auswirkung auf Hitzevorsorge wird zwar die Berücksichtigung von Hitzevorsorge nicht verpflichtend gefordert, aber es bestehen keine Widersprüche zur Aufgabenerfüllung; z. B. bei Pflege von Friedhöfen, Betreuung von Kleingärten und Vermietung von Grünflächen oder Pflege von städtischen Wäldern und Landschaftsräumen.

²⁵ Hierzu zählen z. B. die Ableitung/Sammlung des Abwassers über die Kanalisation; die Sammlung, Speicherung und Ableitung des dezentral entsorgten Niederschlagswassers; Planung/Bau, Instandhaltung und Sanierung des Entwässerungssystems und der Kläranlage, die Optimierung des Abwassersystems in ökologischer, technischer, betrieblicher und wirtschaftlicher Hinsicht; die Koordinierung des Hochwasserschutzes und der Überflutungsvorsorge bei Starkregen.

²⁶ Pflanzung von Straßenbäumen; Umsetzung und Kontrolle von Klimaschutzaktionsprogrammen; Langfristige Klimaschutzstrategien; Stärkung und Schonung unberührter Flächen; Erhalt und Vernetzung ökologisch bedeutsamer Freiräume durch vorsorgenden Bodenschutz.

§ 96 (3) NWG²⁷; § 3 (3) Abwassersatzung für die Landeshauptstadt Hannover²⁸; Ökologische Standards beim Bauen im kommunalen Einflussbereich²⁹.

Überflutungsschutz – Starkregen

- Beim Überflutungsschutz vor Starkregen wurde zwischen Regenereignissen mit einer Wiederkehrhäufigkeit von $T < 20$ Jahren und stärkeren unterschieden. Bei der Stadtentwässerung Hannover sind 40 % der Aufgaben – dieselben wie beim Gewässerschutz – mit beiden Oberzielen verbunden.
- Beim FB Tiefbau werden bei zwei Aufgaben starke Leistungsbeiträge zum Überflutungsschutz bei Starkregen von $T < 20$ Jahre gesehen, wobei wiederum die Planung von Straßen, Wegen, Plätzen genannt wurde. Ein Beitrag dieser Aufgabe zu Starkregen mit $T > 20$ Jahre wurde nicht gesehen.
- Beim FB Umwelt und Stadtgrün stehen zehn Prozent der Aufgaben im Zusammenhang mit dem Überflutungsschutz (unabhängig von der Jährlichkeit T). Neben Überflutungsschutz im Zuge der Planung und Gestaltung von Parks, Freiflächen, Stadtplätzen, Verkehrsgrün geht es um das Einbringen von fachplanerischen Aspekten der Umweltplanung/Klimawandelanpassung in kommunale Planungsprozesse (B-Planung usw.).

Bei der SEH werden die Starkregen (unabhängig von T) zwar nur bei einer Aufgabe pflichtig berücksichtigt, allerdings ist diese von zentraler Bedeutung für die Koordinierung der Überflutungsvorsorge des öffentlichen Raumes.³⁰ Über diese Aufgabe wird auch der Überflutungsschutz bei aus dem Kanal austretenden Wasser angestrebt, der entsprechend der Rechtsprechungen für Starkregen mit $T < 20$ Jahre zu erreichen ist.³¹ Bis zu diesen Niederschlagsstärken sollen Eigentümer bzw. Nutzer von Anlieger-Grundstücken vor Überflutungen aus dem Straßenraum geschützt werden, die durch austretendes Wasser aus der Kanalisation entstehen und/oder durch Wasser, das in die Kanalisation nicht eintreten kann.

Die Beiträge zur Starkregenvorsorge werden durch den FB Tiefbau nur freiwillig berücksichtigt. Hier wurde u. a. auf die technischen Regeln für die Straßengestaltung verwiesen, die Maßnahmen für höhere Anforderungen explizit nicht angeben sowie auf fehlende Informationstools, um Überflutungsschutz bei Starkregen routinemäßig einzubeziehen.³² Auch durch den FB Umwelt und Stadtgrün erfolgt die Berücksichtigung des Überflutungsschutzes bei Starkregen nur freiwillig.

²⁷ Niedersächsisches Wassergesetz vom 19. Februar 2010, Nds. GVBl. 2010, S. 64, zuletzt geändert am 22. September 2022, Nds. GVBl. S. 578.

²⁸ Stadt Hannover (2016): Abwassersatzung für die Landeshauptstadt Hannover, Stand 1. 6.2016,

²⁹ Landeshauptstadt Hannover: Anlage 1 zur Drucksache 1440/2007 und Nr. 1984/2009, zuletzt aktualisiert am 31.8.2020; <https://www.hannover.de/content/download/221621/file/OekoStandards%20Kommunales%20Bauen.pdf>, abgerufen am 15.6.2022.

³⁰ Diese Aufgabe umfasst die Information und Koordination der anderen Fachbereiche hinsichtlich Überflutungsschutz. Somit wird in Hannover die Informationsbereitstellung zentralisiert. Dies erscheint aufgrund der Komplexität und Umfang des Informationsbedarfes als sinnvoll.

³¹ Laut Arbeitsblatt DWA-A 118 bzw. DIN EN 752 darf es darüber hinaus in Stadtzentren und Industriegebieten sogar nur einmal in 30 Jahren zu Überflutungen kommen, in Unterführungen einmal in 50 Jahren.

³² Siehe Fußnote 11.

Insgesamt ist zu konstatieren, dass mit der Koordinierung der Starkregenbewirtschaftung zwar ein wichtiger Teilaspekt strukturell gut verankert ist, die baulichen und betrieblichen Umsetzungsschritte aber noch nicht.³³

Schlussbetrachtung

Die Analyse der Aufgaben der Fachbereiche zeigt, dass die untersuchten Oberziele auf sehr unterschiedliche Weise in den Fachbereichen verankert sind:

- Das Oberziel Gewässerschutz/ordnungsgemäße Regenwasserbewirtschaftung ist bei allen betrachteten Fachbereichen fest verankert.
- Das Oberziel Hitzevorsorge ist beim FB Umwelt und Stadtgrün und somit bei dem FB mit den meisten Überschneidungen zwischen Aufgaben und Oberziel gut verankert. Dies gilt aber nicht für die anderen beiden Fachbereiche.
- Beim Überflutungsschutz für Starkniederschläge außerhalb der Pflichtaufgaben der Stadtentwässerung ist mit der Koordination eine wichtige Teilaufgabe gut verankert, während die Umsetzungsschritte nicht verankert sind.

Potenzielle Leistungsbeiträge für diese Oberziele werden hierdurch verschenkt.

Es zeigen sich dementsprechend Aufgaben, bei denen die Berücksichtigung der Oberziele unbedingt gestärkt werden muss, um die kooperative Bereitstellung zu fördern bzw. die Bereitschaft zur Suche nach Lösungen vor dem Hintergrund von Budgetrestriktionen, Flächenknappheit und sonstigen begrenzenden Faktoren. Hierzu zählen insbesondere die Aufgaben:

- FB Tiefbau: „Erstellung von Entwürfen und Plänen zum Neubau von Wegen, Wohnstraßen, Plätzen, Hauptverkehrsstraßen, Verkehrsknotenpunkten“ in Bezug auf Hitzevorsorge und Umgang mit Starkniederschlägen,
- FB Umwelt und Stadtgrün: „Planung und Gestaltung von Parks u. historischen Gärten, Spielplätzen, Freiflächen an Schulen und Kitas, Betriebs-, Sozial- und Kulturbauten, Sport- und Fitnessanlagen, Stadtplätzen, Verkehrsgrün und Grünzügen“ in Bezug auf Starkniederschläge sowie
- SEH: „Optimierung des Abwassersystems in ökologischer, technischer, betrieblicher und wirtschaftlicher Hinsicht“ in Bezug auf Hitzevorsorge und Starkniederschläge.

Bei einer Erhöhung der Pflichtigkeit dieser Aufgaben spielen Fairnessaspekte hinein, und verändern so die Rollen der Fachbereiche bei Kooperationen. Versiegelte Flächen sind mit ursächlich für Überflutungs- und Hitzeprobleme, aber (in weiten Teilen) notwendig, um zum Beispiel Verkehr zu ermöglichen. Eine pflichtige Verantwortung bzgl. Hitzevorsorge und Überflutungsschutz führt bei den entsprechenden Fachbereichen wahrscheinlich zu einer Erhöhung der internen Konflikte mit ihren anderen Zielen. Dieser Druck scheint aber sinnvoll, um gegebenenfalls die Kooperationsbereitschaft mit anderen Fachbereichen zu erhöhen und die Bereitschaft zur kreativen integralen Lösungssuche zu fördern und als Win-

³³ Allerdings wurde von den kommunalen Projektpartnern auf positive Entwicklung bei der Berücksichtigung von Maßnahmen zum Umgang mit Starkniederschlägen z. B. im Straßenraum hingewiesen, die durch die hier vorgenommene Aufgabenanalyse nicht widergespiegelt werden.

win-Situation zu verstehen. Möglicherweise wird eine derartige Stärkung des Verursacherprinzips zugleich von anderen Fachbereichen als fair empfunden und fördert deren Bereitschaft zur Zusammenarbeit.

Demgegenüber verfügen einzelne Fachbereiche über die Kompetenz und mehr räumliche Reserven zur Nutzung von BGI-Maßnahmen, ohne Verursacher der Probleme zu sein. So bieten sich Grünflächen zum zeitweisen Rückhalt von Starkniederschlägen für den Überflutungsschutz an. Eine Pflichtigkeit dieser Oberziele kann diese Leistungsressourcen ebenfalls aktivieren und somit kooperative Lösungen vorantreiben. Da hierbei Wasser von anderen Flächen bewirtschaftet wird, sind verständliche, aber kontraproduktive Fairnessdiskussionen denkbar, wenn zugleich Verursacher von Hitze- und Überflutungsproblemen (z. B. durch Flächenversiegelung) aus ihrer Verantwortung entlassen werden.

Eine Erhöhung der Pflichtigkeit muss zumindest kurzfristig nicht unbedingt zur besseren Ansteuerung der Oberziele führen, falls weitere Restriktionen wirken. So können technische Regeln Vorgaben machen, welche einer Berücksichtigung von Oberzielen bei den Fachbereichen entgegenstehen. Derartige enge Grenzen bestehen gegenwärtig bei der Starkregenbewirtschaftung von Straßen.³⁴ Dies zeigt, dass die kommunalen Transformationen durch Regeländerungen bzgl. der Rahmenbedingungen unterstützt werden müssen.³⁵ Informationsdefizite bzgl. der Risiken des Nichthandelns bzw. der Wirksamkeit von Maßnahmen können ebenfalls die Umsetzung der Oberziele durch Fachbereiche be- oder verhindern. Eine entsprechende Weiterentwicklung von Informations- und Planungstools ist parallel zur Nachjustierung der Aufgabenverantwortung von entscheidender Bedeutung. Die Autoren sehen aber zusammenfassend einen positiven Effekt einer erhöhten Pflichtigkeit von Aufgaben, da hierdurch die Motivation zur eigenständigen Informationsbeschaffung sowie kreative kooperative Lösungen gefördert werden.

Grundsätzlich ist eine entsprechende erweiterte Pflichtigkeit zur Berücksichtigung der Oberziele mit entsprechenden Zusatzbudgets bzw. Budgetverlagerungen zu unterlegen. Ansonsten geht die Aufgabenausweitung bei Hitzevorsorge, Gewässer- und Überflutungsschutz mit Einschränkung anderer Aufgaben einher. Letztendlich ermöglicht die Veränderung von Pflichtigkeiten von Aufgaben zwar die Identifikation und Entwicklung optimierter integraler Quartiersentwicklungen, wird aber Limitierungen der Budgets und Flächenverfügbarkeit nicht in jedem Fall aufheben können - eine politische Prioritätensetzungen innerhalb der Stadtverwaltung muss daher mit Blick auf die Oberziele den strategischen Planungsprozess begleiten.

Die bessere Verankerung der Oberziele entsprechend der Analyse ist ein wichtiges Mittel zur Verbesserung der kooperativen Aufgabenlösung, es ist aber nicht die einzige Lösung. Geeignete Finanzierungsansätze verringern die fachbereichsinternen Konflikte um Ressourcen ebenfalls und können die Bereitschaft zur kooperativen Umsetzung erhöhen. Hierauf wird im folgenden Abschnitt eingegangen. Darüber hinaus lassen sich die Kooperatio-

³⁴ Siehe Fußnote 11.

³⁵ Aufgrund dieser Problematik wurde 2019 eine Initiative zur Anpassung des niedersächsischen Wassergesetzes durch die Landeshauptstadt Hannover, weitere norddeutsche Großstädte und durch den Fachverband DWA-Nord gestartet. Das Niedersächsische Wassergesetz wurde danach am 28.06.2022 mit § 96a erweitert, um die kommunale Aufgabe Starkregenvorsorge zu ermöglichen. Über die Gesetzesänderung ist es den Kommunen ermöglicht worden, Maßnahmen für die Starkregenvorsorge über die Schmutzwassergebühren als nicht einrichtungsbezogene Kosten zu finanzieren.

nen auch durch vertrauensvolle Zusammenarbeit sowie durch eine kooperative Orientierung der Mitarbeiter fördern. Hierauf wurde schon in den vorangegangenen Kapiteln verwiesen.

Durch die hier diskutierte Anpassung der Aufgabenpflichtigkeit bei Fachbereichen und die Förderung der Kooperationsbereitschaft wird die Problematik einer versäumten Verwaltung gemindert, aber nicht grundlegend gelöst. Dass schon seit längerem weitere, weitreichende Ansätze zum Verwaltungsumbau hin zu einer horizontalen Verwaltungsführung diskutiert werden, zeigt zum Beispiel Banner (1998).³⁶

4.1.3 Finanzierungsansätze

Im Folgenden stehen kooperative Finanzierungsansätze im Mittelpunkt. Sie bieten die Möglichkeit, die Nutzungsrate kooperativer BGI zu erhöhen und hierbei entstehende Verteilungskonflikte zu lösen. Ziel war, den Stand der Nutzung von kooperativen Finanzierungsansätzen im Sinne einer Good Practice zusammenzufassen.

Kooperative Finanzierung als Mittel zum Ausgleich von Verteilungskonflikten

Aufgrund ihrer Multifunktionalität helfen BGI nicht nur der Aufgabenerfüllung des Fachbereichs, der sie errichtet und betreibt, sondern darüber hinaus auch weiteren Fachbereichen. Dies zeigt Tabelle 20 exemplarisch für ausgewählte BGI-Maßnahmen unter Rückgriff auf Rahmenbedingungen für Hannover. Bei allen aufgeführten Beispielen teilen sich mehrere Fachbereiche die Nutzen der Maßnahmen.³⁷ Beispielsweise dienen Mulden im Straßenraum nicht nur der ordnungsgemäßen Entwässerung des Straßenraumes (Aufgabe des FB Tiefbau), sondern zugleich dem Gewässerschutz (Aufgabe der Stadtentwässerung) und erweitern möglicherweise in begrenztem Umfang auch die Grünflächen (Aufgabe des FB Umwelt und Stadtgrün). Zugleich ist mit der Mehrfachnutzung von Grünflächen zum temporären Rückhalt von Wasser als Überflutungsschutz ein Beispiel aufgeführt, bei dem der verantwortliche Fachbereich keinen eigenen Nutzen hat, sondern nur Nutzen für andere anbietet.³⁸

In der Konsequenz ist die Nutzen-Kosten-Abwägung eines jedes Fachbereiches unvollständig, solange er nicht die externen Effekte für die anderen Fachbereiche berücksichtigt. Dies stellt sich als Verteilungskonflikt dar, indem Nutznießer und Kostenträger nicht übereinstimmen. Da bei den betrachteten BGI Kooperationen zwischen den Fachbereichen als Koordinationsmodi dominieren, müssen diese Verteilungsaspekte explizit geregelt werden (Scharpf 1992). Nur so lassen sich für kommunal sinnvolle Projekte die Flächenverantwortlichen dazu motivieren, die BGI aufzugreifen. Das heißt konkret, dass die den anderen Fachbereichen entstehenden Nutzen auch denjenigen Fachbereichen zugutekommen müssen, die für die Errichtung und den Betrieb der BGI verantwortlich sind und somit die

³⁶ Anstelle oder ergänzend zu den hier vorgeschlagenen strukturellen Aufgabenveränderungen könnten auch kooperative Managementansätze, die unter dem Schlagwort „Urban Commons“ diskutiert werden (stellvertretend Foster und Iaione 2017), in ihrer Eignung als Lösungsansatz untersucht werden. Dies stand aber nicht im Mittelpunkt der Untersuchung.

³⁷ Als fachbereichsspezifischer Nutzen wird der Beitrag der Maßnahmen zur Erfüllung der Aufgaben der Fachbereiche verstanden. Die Fachbereiche stellen über die Aufgabenerfüllung Dienstleistungen für die Bürger*innen bereit, arbeiten somit in deren Auftrag und optimieren im Idealfall deren Wohlfahrt.

³⁸ Die Aufgabenzuordnung orientiert sich an der Situation in Hannover. In anderen Kommunen ist die Aufgabenzuordnung anders gestaltet.

Kosten tragen. Durch die Lösung der Verteilungskonflikte gelingt es, Win-win-Lösungen bzw. einen Interessenausgleich zwischen allen Beteiligten zu erreichen.

Tabelle 20: Nutzenverteilung von ausgewählten BGI zwischen den Fachbereichen in ihrer Rolle als Anbieter öffentlicher Güter für die Bürger*innen – vereinfacht [S. Geyler, A. Diemar]

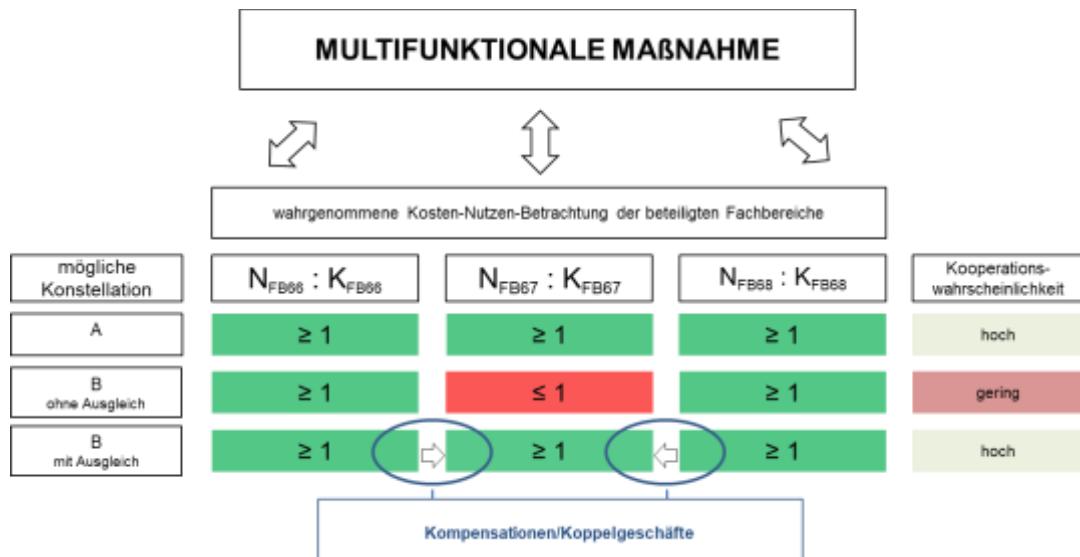
Maßnahme	Verantwortlicher FB / eigener Nutzen*	Externe Effekte auf
Mehrfachnutzung von Grünflächen Rückhalt von Starkregen	Umwelt und Stadtgrün / kein eigener Nutzen	+ Tiefbau (Überflutungsschutz) + Stadtentwässerung (Überflutungsschutz) + Verkehrsteilnehmende und Grundstückseigentümer (Überflutungsschutz)
Mulde auf Straßen	Tiefbau / ordnungsgemäße Straßenentwässerung	+ Stadtentwässerung (Schadstoffreduktion bzw. -rückhalt, Entlastung Kanalisation, Gewässerschutz, Überflutungsschutz) + Umwelt und Stadtgrün (Erweiterung Grünflächen, Klimaanpassung) + Quartiersnutzer (Ästhetik)
Mulde auf Straßen mit Notüberlauf	Stadtentwässerung/ Entlastung Kanalisation, Gewässerschutz	+ Tiefbau (ordnungsgemäße Straßenentwässerung) - internalisiert über Entgelte auf versiegelte Fläche + Umwelt und Stadtgrün (Erweiterung Grünflächen, Klimaanpassung)
Notwasserwege für Starkniederschläge und Ableitung auf Grünflächen	Tiefbau bedingt eigener Nutzen**	+ Grundstückseigentümer + Verkehrsteilnehmende - Grünflächenamt (Zusatzkosten durch Rückhalt von Starkregen)

Der Überflutungsschutz ist vereinfacht abgebildet und nicht hinsichtlich der Stärke der Niederschläge differenziert; * im Sinne von Zielerreichung der pflichtigen Aufgaben der Fachbereiche in Hannover – siehe Abschnitt 4.1.3; ** z. B. wenn hierdurch Befahrbarkeit der Straße bei Starkniederschlägen ermöglicht wird.

Die Veränderung der Aufgabenverantwortung ist ein Lösungsansatz, um die Eigenmotivation zu erhöhen und externe Nutzen als solche wahrzunehmen. Dies wurde im Abschnitt 4.1.3 betrachtet. Als Alternative hierzu, aber auch ergänzend, stellen Kompensationsregelungen und Koppelgeschäfte praktikable Lösungsmöglichkeiten von Verteilungskonflikten dar (Scharpf 1992) (vgl. Abbildung 54). Bei Kompensationen honorieren die Nutznießer die Kostenträger für deren Leistungen. Koppelgeschäfte verknüpfen Handlungen der Fachbereiche miteinander, so dass die Nutzen der beiden Maßnahmen zusammen aus Sicht aller Beteiligten die Kosten überwiegen. Beide Ausgleichsansätze verändern die spezifischen Nutzen-Kosten-Verhältnisse aus Perspektive der jeweiligen Fachbereiche, so dass Verteilungskonflikte in Win-win-Situationen aufgelöst werden. Abbildung 54 illustriert dies. Konstellation A beschreibt eine Situation, bei der alle drei Fachbereiche einer multifunktionalen BGI-Maßnahme zustimmen, da für jeden FB die spezifischen Nutzen höher als die Kosten ausfallen. Bei Konstellation B ohne Ausgleich ist demgegenüber die Wahrscheinlichkeit einer Kooperation gering, da die Maßnahme zumindest aus Sicht des FB Umwelt und Stadtgrün nicht sinnvoll wäre (zu geringes Nutzen-Kosten-Verhältnis). Konstellation B mit Ausgleich illustriert, wie sich die Perspektive für FB Umwelt und Stadtgrün verändert, wenn die Nutznießer der Maßnahme, die FB Umwelt und Stadtgrün sowie FB Tiefbau aufgrund ihrer guten Nutzen-Kosten-Verhältnisse Kompensationen leisten. Die Nutznießer verschlechtern zwar ein Stück weit ihr Nutzen-Kosten-Verhältnis, allerdings ohne den positiven Bereich zu verlassen. Zugleich kann nun auch FB Umwelt und Stadtgrün der Maßnahme zustimmen.

Eine kooperative Orientierung der Fachbereiche, die Einhaltung von Fairnessregeln aber auch die Einforderung von BGI-Lösungen durch die Verwaltungsspitze sowie die wiederholte Zusammenarbeit der Partner unterstützen die Kooperationen maßgeblich (Scharpf

1992; Komosinski 2022). So hilft Vertrauen zwischen den Beteiligten offenbar dabei, integrale Projekte einfacher zu planen, zu bauen und abzurechnen. Sie verringern dann den Verhandlungsaufwand (Komosinski 2022, S. 73; Matschek 2011, S.69).



$N_{FB\ X}$ = Nutzen des Fachbereiches (FB) X, $K_{FB\ X}$ = Kosten des FB X, FB 66 – Tiefbau, FB 67 – Umwelt und Stadtgrün, FB 68 – Stadtentwässerung.

Abbildung 54: Erfolgsbedingung für die Kooperation zwischen Fachbereichen bei multifunktionalen Ansätzen [S. Geyler, A. Diemar]

Anhand von theoretischen Überlegungen lassen sich folgende Anforderungen an kooperative Finanzierungsansätze stellen:

- Sie ermöglichen, dass alle Fachbereiche die Teilmaßnahmen errichten und betreiben, die für eine integrale, abgestimmte Gesamtlösung notwendig sind und die nicht durch andere Fachbereiche errichtet und betrieben werden können.
- Sie verringern oder beseitigen die Spannungen und Verteilungskonflikte zwischen Fachbereichen, die durch eine ungenügende Aufgabenstruktur, durch Budgetrestriktionen sowie den externen Effekten erwachsen, und erhöhen so den Nutzungsumfang von BGI.

Sie erlauben Effizienzgewinne, indem sie einerseits Leistungserbringung und Kostenträgerschaft ggf. trennen und somit ermöglichen, dass der wirtschaftlichste Partner die Leistung erbringt und hierfür honoriert wird und andererseits alle Teilkomponenten (z. B. Notwasserwege und Kapazität zur Versickerung) in einem abgestimmten, optimalen Umfang errichtet werden.

Good-Practice-Beispiele kooperativer Finanzierung und Perspektiven

Das Erproben von Ansätzen zur kooperativen Bereitstellung von BGI ist ein zentraler Schritt zur Verankerung dieser Maßnahmen in die kommunale Praxis. Daher wurden Good-Practice-Beispiele für die kooperative Finanzierung blau-grüner Infrastrukturansätze erfasst und

verglichen. Hierzu erfolgten eine Literaturauswertung, ergänzt durch Gespräche mit Experten bzgl. der Fallbeispiele, und es wurde ein Erfahrungsaustausch mit Kommunen³⁹ durchgeführt.

Kooperative Finanzierung

In Bericht Teil B 1.9 sind 15 Beispiele für finanzielle Lösungen der Kooperationen aufgeführt. Sie beziehen sich auf Bau und Betrieb von Mulden, auf die Mehrfachnutzung von Flächen zum Überflutungsschutz bei Starkniederschlägen sowie auf Notwasserwege.⁴⁰ Die Kooperationen dienen der ordnungsgemäßen Regenwasserbewirtschaftung und dem Überflutungsschutz bei Stark- und Extremniederschlägen.

Die gefundenen Finanzierungsansätze beschäftigen sich mit der Aufteilung der realisierten Kosten zwischen Akteuren. Hierbei werden verschiedene Ansätze zur Abgrenzung und Zuordnung genutzt bzw. miteinander kombiniert:

- Kosten werden anhand von Lebenszyklusphasen aufgeteilt. So werden bei straßenbegleitenden Mulden sowie bei Maßnahmen zum Starkregenrückhalt Kosten für Planung, Bau/Errichtung, Betrieb/Pflege/Instandhaltung, Schadensbeseitigung (Reinigung und Instandsetzung nach Starkregen), Erneuerung etc. von unterschiedlichen Beteiligten finanziert.
- Kosten werden nach Kostenstellen aufgeteilt, indem einzelne Bestandteile der Maßnahmen von unterschiedlichen Beteiligten finanziert werden (z. B. Betrieb von Anlagen zum Starkregenrückhalt auf Grünflächen)
- Es wird bei der Kostenverteilung auf die Zuständigkeit für die Aufgabe bzw. Fläche zurückgegriffen und/oder auf das Verursacherprinzip.

Insgesamt sind die Lösungen komplex und offenbar individuell an die kommunalen Rahmenbedingungen angepasst.

Weiterhin bieten die Verteilungskriterien einen gewissen Spielraum, um situationsspezifische Lösungen zu finden, so dass alle notwendigen Teilmaßnahmen errichtet werden können. Beispielsweise zeigt sich wiederholt, dass die Kosten für Ableitung, temporären Rückhalt und Versickerung in Abhängigkeit von der Intensität der Niederschläge (ordnungsgemäße RW-Bewirtschaftung, Starkregenvorsorge, ...) unterschiedlich verteilt werden. Kompenstationen scheinen hierbei sowohl über Finanztransfers (z. B. Hannover – Errichtung von Mulden im öffentlichen Raum und Refinanzierung über Entgelte) stattzufinden, aber auch über die Aufgabenverteilung. Dies zeigt sich beispielsweise bei den Lösungen zum Reinigen von Überflutungsflächen nach Starkregenereignissen.

Einige der einfachen Finanzierungsoptionen kommen Verteilungsschlüsseeln nahe, die regelmäßig genutzt werden und somit auch den Abstimmungsaufwand maßgeblich reduzieren (z. B. Völker et al. 2018, S. 29); beispielsweise die Finanzierung von Mulden im öffentlichen Raum in Hannover. Es überwiegen aber Einzelbeispiele, die noch nicht verallgemeinert werden können. Entsprechend wurde auf dem durchgeföhrten Erfahrungsaustausch

³⁹ Am 7.2.2022 als Online-Workshop.

⁴⁰ Dort sind auch zwei Beispiele zu Baumrigolen aufgeführt und somit Maßnahmen, die auch der Hitzevorsorge und dem Erhalt von Stadtgrün dienen. Allerdings sind die beiden Beispiele aus Hamburg und Leipzig stark von Forschungsprojekten abhängig und daher schwer auf normale kommunale Verhältnisse zu übertragen.

zur kooperativen Finanzierung⁴¹ betont, dass man noch davon entfernt ist, Verteilungsschlüssel im Sinne von regelmäßig nutzbaren Blaupausen zur Kostenverteilung zu haben. Beim Erfahrungsaustausch wurden darüber hinaus folgende Ansätze zur Förderung von kooperativen Ansätzen deutlich:

- Eine langfristige Zusammenarbeit der Fachbereiche (gemeinsame Arbeitsgruppen), gemeinsam geteilte Zielvorstellungen und ein gemeinsames Verständnis zu den Perspektiven der jeweiligen Fachbereiche fördern auch die Abstimmung zu Finanzierungsfragen;
- Die gemeinsame Lösungssuche erleichtert die Zuständigkeits- und Kostenverteilung entsprechend Kompetenzen, Verantwortlichkeit und Nutzen;
- Ausreichende Informationstools zur Bewertung der Wirkungen von BGI hinsichtlich der Oberziele sind notwendig. Hierdurch können die Beteiligten den Lösungsbeitrag für ihre jeweiligen spezifischen Ziele und somit ihre Nutzen besser abschätzen und ihre Bereitschaft zur Kostenübernahme entsprechend anpassen. Es wurden aber keine Ansätze zur Begründung von Co-Finanzierung aufgrund von Zusatznutzen gefunden.

Beiträge weiterer Finanzierungsquellen

Durch finanzielle Kooperationen lassen sich Konflikte zwischen den Fachbereichen reduzieren, solange ein Fachbereich bereit und fähig ist, andere Fachbereiche zu kompensieren bzw. Aufgaben zu übernehmen. Sie beseitigen daher nicht das Problem einer ungenügenden Finanzausstattung der Fachbereiche. Zusätzliche Finanzierungsquellen unterstützen daher die Fachbereiche bei der verstärkten Nutzung von BGI. Als weitere Finanzierungsquellen werden eingesetzt⁴²:

- Öffentliche Fördermittel (Zuschüsse, zinsgünstige Kredite) durch unterschiedliche föderale Ebenen (z. B. das Förderprogramm zur Entsiegelung in Hannover⁴³, oder der Europäische Fonds für regionale Entwicklung (EFRE), über den einen Großteil der wassersensiblen Umgestaltung eines Schützenplatzes in Köln finanziert wurde (Schwerdorf 2022; Komosinski 2022 ; s. auch Bericht Teil B, Kap. 1.6);
- Bürgerbeteiligungsgesellschaften, Crowdfunding und Sponsoring (z. B. die Spenden- und Pflanzaktion „Für eine baumstarke Stadt“ in Leipzig, (Stadt Leipzig 2017, S. 145; Altenburg und Sommer 2019, S. 9–11));
- Contracting (Difu 2018, S. 64), im Bereich Energieeffizienz genutzt, für die RW-Bewirtschaftung wurden keine Beispiele gefunden;
- Klimaschutz- und Stadtentwicklungsfonds wurden bereits in vielen deutschen Städten auferlegt, u. a. in Leipzig und Hannover (Stadt Leipzig 2014, S. 125)⁴⁴;

⁴¹ Der Erfahrungsaustausch fand am 9. Februar 2022 statt. Er wurde mit Unterstützung des Difu Berlins durchgeführt. Dadurch konnten die Kommunen, die schon bei dem Projekt „Planer im Dialog“ (Völker et al. 2018) beteiligt waren, angesprochen werden. Weitere Informationen hierzu im Bericht Teil B 1.6.

⁴² Für eine detaillierte Beschreibung der unterschiedlichen Finanzierungsquellen siehe Bericht Teil B, Kap. 1.9.

⁴³<https://bund-region-hannover.de/bund-aktiv/begruentes-hannover/foerderprogramm-fuer-gebaeudebe-gruenung-und-entsiegelung-in-hannover/>, abgerufen am 12.6.2022.

⁴⁴ Von Andresen et al. 2012 wurden weiterhin mit Stiftungen, gGmbH, privaten Investorenmodellen mit Wasser- und Bodenverband noch die Errichtung von separaten Organisationen zur Finanzierung von Mitbenutzung von Grün-, Frei- und Verkehrsflächen diskutiert.

- Im Bereich Überflutungsvorsorge können Gebühren und Beiträge das Bereitstellen finanzieller Mittel für Kommunen erleichtern. Durch die Kostendeckung lassen sich Maßnahmenkosten umlegen und belasten nicht mehr die steuerfinanzierten Budgets der Fachbereiche. Während diese Möglichkeit in Nordrhein-Westfalen gesetzlich verankert wurde, besteht in anderen Bundesländern jedoch Rechtsunsicherheit (Völker et al. 2018, S. 30; Nisipeanu 2018a, 2018b)⁴⁵. Im Rahmen von Fallstudien zeigte sich, dass auch in NRW tlw. Unsicherheit zur konkreten Umsetzung des Paragraphen besteht bzw. die Möglichkeiten eher für schwächere Starkregen genutzt werden (Komosinski 2022, S. 78, 90).

Diese Finanzierungsquellen verbessern hierbei i. d. R. das Nutzen-Kosten-Verhältnis aus Sicht der Fachbereiche, die ansonsten die Kosten alleine zu tragen hätten. Sie reduzieren die Kostenbelastung bei bestimmten Lebenszyklusphasen; z. B. werden Kosten für Errichtung von BGI durch Fördermittel oder Sponsoring getragen, Betriebskosten weiter über die Fachbereiche gedeckt. Allerdings sind die Finanzierungsoptionen nicht überall verfügbar bzw. hängen auch von der Bewilligung (Fördermittel) ab. Zugleich ist es unwahrscheinlich, dass alle Kostenkomponenten abgedeckt werden. Daher ist davon auszugehen, dass die aufgeführten Finanzierungsquellen die kooperative (Teil-) Finanzierungsansätze von BGI i. d. R. nur ergänzen, nicht aber ersetzen.

4.2 Anreizsysteme gegenüber Grundstückseigentümern

Um die urbane Regenwasserbewirtschaftung für eine Zukunft unter klimatischen Veränderungen und Nachverdichtung zu ertüchtigen, sollen verstärkt neue, ortsnahe Systemelemente im öffentlichen und privaten Raum eingebunden werden: von Gründächern, Versickerungs- und Verdunstungslösungen in Höfen und auf öffentlichen Grünflächen bis zur Mehrfachnutzung von Flächen als Notwasserwege und Retentionsräume. Hierfür müssen verschiedene Fachbereiche der Verwaltung zusammenarbeiten und zugleich private Grundstückseigentümer eingebunden werden. Dies wird erst dann gelingen, wenn entsprechende Ansätze zur Kostenverteilung zwischen den Beteiligten, zur Honorierung von Leistungen durch Einzelne und für eine nachhaltige Finanzierungsbasis vorhanden sind (s. o.). In TransMiT wurde daher der rechtliche Rahmen für die Verwendung von Abwasser-Gebühren untersucht – also die Frage gestellt, inwieweit kommunale Gemeinschaftsaufgaben (im Sinne der Multifunktionalität und gesamtwirtschaftlichen Optimums) sich mit dem Auftrag der Stadtentwässerung decken und damit über die Gebühren mitzufinanzieren sind. Zudem wurden Wohnungsbaugenossenschaften als Unternehmen mit großen zusammenhängenden Flächen und Liegenschaften zu ihren Unterstützungsbedarfen befragt. Im Ergebnis stellte sich heraus, dass die rechtlichen Möglichkeiten der Umverteilung und Honorierung von Leistungen im privaten Raum durch Gebühren gering sind. Dies liegt insbesondere an der nutzungsbezogenen Erhebung von Gebühren und steht damit im direkten Zusammenhang mit der Aufgabenpflichtigkeit, die ggf. neu zu definieren wäre (s. o.). Steuern oder Fonds könnten aufgrund der „flexiblen“ Zuordnung eher zur Co-Finanzierung genutzt werden. Hinzu kommen Fragen nach der Haftungs- und Verkehrssicherungspflicht, sollten

⁴⁵ Zur entsprechenden Erweiterung des Niedersächsischen Wassergesetzes bzgl. der Starkregenvorsorge – siehe Fußnote 35.

Anlagen im privaten Raum von einem öffentlichen Träger gewartet werden, was sich aber durch Dienstleistungsverträge lösen ließe.

Folgende Ansätze, die im Zuge der Verfestigung zusammen mit Wohnungsunternehmen auf Wirkung, Umsetzbarkeit und Akzeptanz geprüft werden sollen, wurden in Workshops zwischen der SEH und Vertretern der Wohnungsgesellschaften ermittelt:

- Als gut umsetzbares Potential stellte sich die Honorierung in der Regenwassergebühr von Anlagen unterhalb der regelwerksbasierten Bemessung heraus. Hierfür müsste die Abwassersatzung geändert werden, was einfacher realisierbar wäre als die Schaffung zusätzlicher Paragraphen in den Landeswassergesetzen, um Gebühren umlegen zu können.
- Es wurde ein Betreibermodell vorgeschlagen. Die Stadtentwässerung kümmert sich hierbei um den Betrieb einer Anlage, welche von Wohnungsunternehmen errichtet wurde. Sie könnte somit als Dienstleister den ordnungsgemäßen Betrieb sicherstellen. Erwartet wird eine erhöhte Wirtschaftlichkeit durch die Zentralisierung der Aufgabe bei gleichzeitiger Sicherstellung der Qualität des Betriebs.
- Mit Blick auf den erhöhten Flächenbedarf für Abkopplungsmaßnahmen wird ein Potential darin gesehen, dass die Stadtentwässerung von den Wohnungsunternehmen Gelände pachten und dort Anlagen errichten und betreiben könnte. Diese Option würde helfen, Flächenreserven für nachhaltige Bewirtschaftungsansätze zu erschließen, die im öffentlichen Raum nicht verfügbar sind. Für die Umsetzung sind Pachtzeiten, die mit den Abschreibungszeiten der zu errichtenden Anlagen harmonieren notwendig (voraussichtlich mindestens 30 Jahre);
- Die Stadtentwässerung könnte Planungsleistungen (Musterplanung, Standardmodule) gegenüber den Wohnungsunternehmen anbieten. Dies könnte helfen, die Wohnungsunternehmen zur Nutzung von grundstücksbezogenen Regenwasseranlagen zu motivieren, wo, wie beispielsweise im Wohnungsbestand, die rechtlichen Verpflichtungen zur grundstücksbezogenen Regenwasserbewirtschaftung nicht greifen. Gleichzeitig die Überplanung auch der privaten Flächen durch die Stadtentwässerung Planungskosten bei den Wohnungsunternehmen reduzieren bei gleichzeitig für das Quartier optimalen Ergebnissen.

Die Option der Musterplanung wird im Teil B 2.2 beispielhaft vertieft dargestellt.

5. Literaturverzeichnis

- Aevermann, Tim; Schmude, Jürgen (2015): Quantification and monetary valuation of urban ecosystem services in Munich, Germany. In: *Zeitschrift für Wirtschaftsgeographie* 59 (3), S. 189. DOI: 10.1515/zfw-2015-0304.
- Altenburg, Corinna; Sommer, Britta (2019): Fokus Klimaschutzfonds, Crowdfunding und Sponsoring. Wie alternative Finanzierungswege Klimaprojekte möglich machen. Berlin.
- Andresen, S.; Dickhaut, Wolfgang; Hölzer, A.; Steinke, W.; Stemme, S. (2012): Finanzierungsmodelle für die wasserwirtschaftliche Mitbenutzung von Grün-, Frei- und Verkehrsflächen. Risa-Fachdialog. Dokumentation. Hamburg. Online verfügbar unter https://www.risa-hamburg.de/fileadmin/risa/FachinformationenderArbeitsgruppen/AG%202/RISA-Fachdialog_Finanzierungsmodelle%20Mitbenutzung_120927.pdf, zuletzt geprüft am 03.04.2020.
- ATV-DVWK-A 198 (2003): Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen. Hennef.
- Banner, Gerhardt (1998): Von der Ordnungskommune zur Dienstleistungs- und Bürgerkommune. In: *Der Bürger im Staat* (4), S. 179–186. Online verfügbar unter https://www.buergerundstaat.de/4_98/bis498c.htm.
- Basedow, H.-W. (2015): Flächenverbrauch und Bodenversiegelung in Niedersachsen. 2. Aufl. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie. Hannover.
- Bauerfeld, K. (2020): Ergebnisse der Literaturdatenauswertung zu Mikroplastikkonzentrationen. In: Meyer, S. und Bauerfeld, K. (Hg.): Mikroplastikverbleib in kommunalen Kläranlagen und im Klärschlamm. DWA Seminar Mikroplastik im Abwasser – ein Problem? Kassel.
- Benden, J.; Broesi, R.; Illgen, M.; Leinweber, U.; Lennartz, G.; Scheid, C.; Schmitt, Theo (2017): Multifunktionale Retentionsflächen. Teil 1: Wissenschaftliche Grundlagen (MURIEL Publikation). Online verfügbar unter https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-32223_01.pdf, zuletzt geprüft am 20.04.2020.
- Berardi, Umberto; GhaffarianHoseini, AmirHosein; GhaffarianHoseini, Ali (2014): State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. In: *Applied Energy* 115 (0), S. 411–428. DOI: 10.1016/j.apenergy.2013.10.047.
- Bertling, J.; Bertling, R.; Hamann, L. (2018): Kunststoffe in der Umwelt: Mikro- und Makroplastik. Ursachen, Mengen, Umweltschicksale, Wirkungen, Lösungsansätze, Empfehlungen. Kurzfassung der Konsortialstudie. Hg. v. Fraunhofer Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik Umsicht. Oberhausen.
- Bin, Z.; Rybski, D.; Kropp, J. P. (2013): On the statistics of urban heat island intensity. In: *Geophys. Res. Lett.* (40), S. 5486–5491.
- BMBF (2022): Verbundprojekt REPLAWA: Reduktion des Eintrags von Plastik über das Abwasser in die aquatische Umwelt. Schlussbericht. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Online verfügbar unter http://www.replawa.de/wordpress/wp-content/uploads/2022/09/REPLAWA_Schlussbericht_Mikroplastik-Eintr%C3%A4ge-%C3%BCber-Abwasser_02WPL1445A-ff_220828.pdf.

BMBF (2017) Bekanntmachung der Richtlinie "Ressourceneffiziente Stadtquartiere für die Zukunft" zu den Themen Wasserwirtschaft, Flächennutzung und Stoffstrommanagement als Beitrag zur Umsetzung der Leitinitiative Zukunftsstadt. Bundesanzeiger vom 14.03.2017 https://www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/bekanntmachungen/de/2017/03/1331_bekanntmachung.html

Boer, Elke Kristina de (2022): Entwicklung von Ansätzen zur Bewertung sektorübergreifender Infrastrukturelemente auf Basis von Kosten-Wirksamkeits-Analysen (Teilll). Masterarbeit. Leibniz Universität Hannover, Hannover. Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abwassertechnik (ISAH).

Böhm, Katharina; Gehne, David (2018): Vernetzte kommunale Gesundheitsförderung für Kinder und Jugendliche : Überblick über den Status quo in Deutschland. In: *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz* 61 (10), S. 1208–1214. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1007/s00103-018-2803-2>.

Bollmann, E.; Vollertsen, J.; Carmeliet, J.; Bester, K. (2014): Dynamics of biocide emissions from buildings in a suburban stormwater catchment - Concentrations, mass loads and emission processes. In: *Water Research* (56), S. 66–76. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2014.02.033>.

Börzel, Tanja (2008): Der „Schatten der Hierarchie“ – Ein Governance-Paradox? In: Gunnar Folke Schuppert und Michael Zürn (Hg.): Governance in einer sich wandelnden Welt. Zeitschrift der Deutschen Vereinigung für Politische Wissenschaft (PVS). Wiesbaden: VS Verl. für Sozialwiss, S. 118–131.

Breuer, K.; Mayer, F.; Scherer, C.; Scherd, R.; Sedlbauer, K. (2012): Wirkstoffauswuschung aus hydrophoben Fassadenbeschichtungen: verkapselte versus unverkapselte Bioidssysteme. In: *Bauphysik* 34 (1), S. 19–23. DOI: 10.1002/bapi.201200002.

Brombach, H.; Weiss, G.; Fuchs, S. (2005a): A new database on urban runoff pollution: comparison of separate and combined sewer systems. In: *Water Sci Technol* 51 (2), S. 119–128. DOI: 10.2166/wst.2005.0039.

Brombach, H.; Weiss, G.; Fuchs, S. (2005b): A new database on urban runoff pollution: comparison of separate and combined sewer systems. In: *Water Sci Technol* 51 (2), S. 119–128. DOI: 10.2166/wst.2005.0039.

Brudler, Sarah; Rygaard, Martin; Arnbjerg-Nielsen, Karsten; Hauschild, Michael Zwicky; Ammitsøe, Christian; Vezzaro, Luca (2019): Pollution levels of stormwater discharges and resulting environmental impacts. In: *The Science of the total environment* 663, S. 754–763. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.01.388.

Bundesministerium für Umwelt; Naturschutz; Bau und Reaktorsicherheit (BMUB); www.bmub.bund.de (2015): Grün in der Stadt – Für eine lebenswerte Zukunft. Online verfügbar unter www.bmub.bund.de, zuletzt geprüft am 23.08.2022.

Burkhardt, M.; Rohr, Mirko & Wicke, Daniel; Tatis-Muvdi, Roberto; Rouault, Pascale; Baar, Patricia; Dünnbier, Uwe. (2021). Urbanes Niederschlagsabwasser – Emissionen, Belastungen und wirksame Maßnahmen. 10. 34-41.

Burkhardt, M.; Schmidt, S.; Gohl, M.; Zenker, A.; Schmocke, M.; Zbinden, D. et al. (2017): Behandlung von Regenwasser: Grosstechnische Erfahrung mit unterirdischer Retention und nachgeschaltetem Adsorberfilter. In: *Aqua & Gas* (4), S. 78–85.

- Burkhardt, M.; Zuleeg, S.; Vonbank, R.; Bester, K.; Carmeliet, J.; Boller, M.; Wangler, T. (2012): Leaching of Biocides from Façades under Natural Weather Conditions. In: *Environmental science & technology*, S. 5497–5503.
- Burkhardt, M.; Zuleeg, S.; Vonbank, R.; Schmid, P.; Hean, S.; Lamani, X. et al. (2011): Leaching of additives from construction materials to urban storm water runoff. In: *Water science and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research* 63 (9), S. 1974–1982. DOI: 10.2166/wst.2011.128.
- Burkhardt, M.; Junghans, M.; Zuleeg, S.; Boller, M.; Schoknecht, U.; Lamani, X. et al. (2009): Biozide in Gebäudefassaden – ökotoxikologische Effekte, Auswaschung und Belastungsabschätzung für Gewässer. In: *Environ Sci Eur* 21 (1), S. 36–47. DOI: 10.1007/s12302-008-0033-1.
- Burkhardt, M.; Kupper, T.; Hean, S.; Haag, R.; Schmid, P.; Kohler, M.; Boller, M. (2007): Biocides used in building materials and their leaching behavior to sewer systems. In: *Water science and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research* 56 (12), S. 63–67. DOI: 10.2166/wst.2007.807.
- Czorny, Elisabeth; Schmidt, Dirk; Elsner, Kristina; Beier, Maike (2020): Resilienzstärkung urbaner Quartiere. Reduzierte Hitzebelastung durch Integration des Wassersektors. In: *Transforming Cities* 5 (01).
- Dettmar, J.; Brombach, H. (2019): Spiegel der Statistik: Abwasserkanalisation und Regenwasserbehandlung in Deutschland. DOI: 10.3242/kae2019.05.001.
- Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH (Difu) (2018): Klimaschutz in Kommunen. Praxisleitfaden. 3., aktualisierte und erweiterte Auflage. Deutsches Institut für Urbanistik. Berlin.
- Durak, Justyna; Rokoszak, Tomasz; Skiba, Alicja; Furman, Przemysław; Styszko, Katarzyna (2021): Environmental risk assessment of priority biocidal substances on Polish surface water sample. In: *Environmental science and pollution research international* 28 (1), S. 1254–1266. DOI: 10.1007/s11356-020-11581-7.
- DWA (2013): Technische Maßnahmen zur Behandlung von erhöhten Mischwasserabflüssen in der Kläranlage. DWA-Themenband, Hrsg.: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. -DWA-, Hennef
- DWA-A 100 (2006): Leitlinien der integralen Siedlungsentwässerung (ISiE), zuletzt geprüft am 2017, DWA-Regelwerk, Hrsg.: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. -DWA-, Hennef
- DWA-A 102 (2020): Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer - Teil 1; DWA-Regelwerk, Hrsg.: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. -DWA-, Hennef
- DWA-A 102-1 (2020): Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer - Teil 1: Allgemeines. DWA-Regelwerk, Hrsg.: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. -DWA-, Hennef
- DWA-A 178 (2019): Retentionsbodenfilteranlagen; DWA-Regelwerk, Hrsg.: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. -DWA-, Hennef

DWD (n.D.): Wetter- und Klimalexikon. Tropennacht. Online verfügbar unter <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?nn=103346&lv2=102672&lv3=102802>, zuletzt geprüft am 23.09.2021.

DWD, Regionales Klimabüro Hamburg, Krugmann, G. (2021): Informationen über die Umgebung der mobilen Wetterstationen des DWD, persönliche Kommunikation, 14.07.2021. E-Mail an Jessica Gerstendorfer.

Eckart, J.; Fesser, J. (2021): Notwasserwege für die Klimaanpassung. Die temporäre Rückhaltung und Notableitung von Starkniederschlägen im Straßenraum. In: *Transforming Cities* 6 (4), S. 20–23.

Ellis, J. Bryan; Mitchell, Gordon (2006): Urban diffuse pollution: key data information approaches for the Water Framework Directive. In: *Water & Environment J* 20 (1), S. 19–26. DOI: 10.1111/j.1747-6593.2006.00025.x.

DIN EN 752, 2017: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden - Kanalmanagement, <https://dx.doi.org/10.31030/2584355>

Erbe, V. (2004): Entwicklung eines integralen Modellansatzes zur immissionsorientierten Bewirtschaftung von Kanalnetz, Kläranlage und Gewässer. Dissertation. Bauhaus-Universität Weimar, Weimar. Fakultät Bauingenieurwesen.

Europäische Kommission (2014): Eine Grüne Infrastruktur für Europa. Luxemburg.

Europäische Union (Hg.) (2022): Sustainable development in the European Union. Monitoring report on progress towards the SDGs in an EU context : 2022 edition. 6th edition. Luxembourg (Statistical books).

EU-Wasserrahmenrichtlinie (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik.

Federal Office for the Environment (Bundesamt für Umwelt/BAFU) (2018): Heat in Cities: Basis for Climate-Adapted Urban Development. Hitze in Städten: Grundlage für Eine Klimaangepasste Stadtentwicklung. Federal Office for the Environment. Sachsen.

Floh, Johannes (2017): Interkommunale Kooperation und Kompensationsmechanismen im präventiven Hochwasserschutz. Technische Universität Wien.

Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen (2021): Richtlinien für die Entwässerung von Straßen. REwS.

Foster, Sheila; Iaione, Christian (2017): Ostrom in the city: design principles for the urban commons. Online verfügbar unter <https://www.thenatureofcities.com/2017/08/20/ostrom-city-design-principles-urban-commons>, zuletzt geprüft am 12.06.2022.

Frechen, Franz-Bernd (2013): Retentionsbodenfilter (RBF) in Hessen - Ergänzungsuntersuchungen zum Phosphor- und Schwermetallrückhalt. Kassel: Kassel Univ. Press (Wasser - Abwasser - Umwelt, Bd. 35).

Geiger, F. W. (1984): Characteristics of combined sewer runoff. In: Peter Balmer, Pe-Arne Malmquist und Anders Sjöberg (Hg.): Proceedings of the Third International Conference on Urban Storm Drainage. 3rd International Conference on Urban Storm drainage. Göteborg, Sweden, 4-8 June. Göteborg, Sweden: Chalmers University of Technology.

Geiger, F. W. (1987): Flushing effects in combined sewer systems. In: *Proc. 4th International Conference on Urban Storm Drainage*, S. 40–46.

GEO-NET Umweltconsulting GmbH (2021): Datenübergabe, Auftrag PALM-Simultation, persönliche Kommunikation. Hannover, 2021. E-Mail an Gerstendorfer, J. (ISAH).

Günther (2019): Das Bypassverfahren. Möglichkeiten zur vermehrten Mischwasserbehandlung und zur Verringerung der Nachklärbeckenbehandlung. Online verfügbar unter <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa2-355020>.

Gupta, Kapil; Saul, Adrian J. (1996): Specific relationships for the first flush load in combined sewer flows. In: *Water Research* 30 (5), S. 1244–1252. DOI: 10.1016/0043-1354(95)00282-0.

Habernickel, Tobias (2022): Stoffstrombilanzielle Untersuchung des Einsatzes von Küchenabfallzerkleinerern auf die Abwasserreinigung (Masterarbeit). Masterarbeit.

Hermann, T. und Schmida, U. (1999): Rainwater Utilisation in Germany: Efficiency, Dimensioning, Hydraulic and Environmental Aspects. In: *Urban Water* 1 (4).

Hielscher, Volker (2020): Ressortübergreifende Kooperation in der Kommunalverwaltung. Aspekte für eine gelingende Umsetzung. Institut für Sozialforschung und Sozialwirtschaft e. V. Saarbrücken (iso). Saarbrücken. Online verfügbar unter https://www.zukunftswerkstatt-kommunen.de/fileadmin/user_upload/Werkzeuge/DWK_Werkzeug_Ressortuebergreifende_Kooperation.pdf, zuletzt geprüft am 13.08.2019.

Hörler, A. (1995): Zur Frage der Zulassung von Küchenkehrichtzerkleinerungsapparaten (Küchenmühlen). In: *Zeitschr. für Hydrologie* 17 (2), S. 348–368.

Hornig, Sören; Bauerfeld, Katrin; Beier, Maike (2022): Dynamization of Urban Runoff Pollution and Quantity. In: *Water* 14 (3), S. 418. DOI: 10.3390/w14030418.

Hüttner, A., Richter, F., Kern, M., Raussen, T., Turk, T., & Koj, U. (2019): Leitfaden zur Hochwertige Behandlung und Verwertung von Bio- und Grüngut im Freistatt Thüringen. - Materialband-. Witzenhausen: Thüringer Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz. Online verfügbar unter https://umwelt.thueringen.de/fileadmin/001_TMUEN/Unsere_Themen/Abfallwirtschaft/Leitfaden_Bioabfall_Materialband.pdf, zuletzt geprüft am 24.02.2023.

Arbeitsblatt DWA-A 118, 2006: Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen.

Institut für Meteorologie und Klimatologie (IMuK), Meusel, G. (2020): Datenübergabe nach Drohnenbefliegung, persönliche Kommunikation, 2020 an Gerstendorfer, J. (ISAH).

Institut für Meteorologie und Klimateologie (IMuK), Schilke, H. (2021): Messwerte der Klimastation Herrenhausen, persönliche Kommunikation, 2021. E-Mail an Gerstendorfer, J. (ISAH).

Kanning, Helga; Richter-Harm, Bianca; Czorny, Elisabeth; Kramer, Andreas; Schneider, Jennifer (2020): Das KlimaWohL-Prinzip. Praxisleitfaden. Hannover (sustainify Tools und Texte, 1). Online verfügbar unter https://klimawohl.net/files/klimawohl/content/download/klimawohl_praxisleitfaden_2020.pdf, zuletzt geprüft am 23.02.2022.

Karlsruhe Institut für Technologie et al. (2015): Analyse der Leistungsfähigkeit von Regenüberlaufbecken und Überwachung durch Online Messtechnik, 14.04.2015.

Kegebein, Jörg (2006): Die Verwendung von Küchenabfallzerkleinerern (KAZ) aus abwasser- und abfallwirtschaftlicher Sicht. Dissertation. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.

Kobencic, R. (2002): Verunreinigung des Regenwasserabflusses von Dachflächen. Diplomarbeit. Technische Universität Graz, Graz. Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau.

Koch, Florian; Krellenberg, Kerstin (2021): Nachhaltige Stadtentwicklung. Die Umsetzung der Sustainable Development Goals auf kommunaler Ebene. Wiesbaden, Heidelberg: Springer VS (essentials).

Kolditz et al. (2012): OpenGeoSys: an open-source initiative for numerical simulation of thermo-hydro-mechanical/chemical (THM/C) processes in porous media.

Komosinski, Carla (2022): Finanzierung von integralen Maßnahmen zur nachhaltigen Regenwasserbewirtschaftung im öffentlichen Raum. Masterarbeit. Universität Leipzig, Leipzig. Institut für Infrastruktur und Ressourcenmanagement.

Köster, Stephan (2022): Ansätze zur Weiterentwicklung des Schwammstadt-konzeptes im In- und Ausland. DWA Dialog 2022. DWA. Berlin, 26.09.2022.

Köster, Stephan; Beier, Maike (2022): Die Schwammstadt als Innovationstreiber für die Siedlungswasserwirtschaft 9-11.3.2022. digitale 55. ESSENER TAGUNG für Wasserwirtschaft "Wasserwirtschaft im Klimawandel". Hg. v. Wintgens und Pinnekamp. Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen e.V. (2022). Aachen (Gewässerschutz - Wasser & Abwasser – GWA, 254).

Landeshauptstadt Hannover (Hg.) (2017): Leben mit dem Klimawandel – Hannover passt sich an (Schriftenreihe kommunaler Umweltschutz). Online verfügbar unter [https://e-government.hannover-stadt.de/IhhSIM-webdd.nsf/C16677957419A489C12580810020ACD2/\\$FILE/2460-2016_Anlage1.pdf](https://e-government.hannover-stadt.de/IhhSIM-webdd.nsf/C16677957419A489C12580810020ACD2/$FILE/2460-2016_Anlage1.pdf).

Lange, Philipp; Pagel, Johannes; Schick, Carlo; Eichhorn, Sebastian; Reuter, Klaus (2020): Der Beitrag kommunaler Nachhaltigkeitsstrategien zur Umsetzung der Agenda 2030 - die handlungsleitende Ebene (operative Ziele und Maßnahmen) auf dem Prüfstand.

Leal Filho, Walter (2019): Die Nachhaltigkeitsziele der UN: eine Chance zur Vermittlung eines besseren Verständnisses von Nachhaltigkeitsherausforderungen. In: *Walter Leal Filho (Hg.): Aktuelle Ansätze zur Umsetzung der UN-Nachhaltigkeitsziele*, S. 1–20.

Leutnant, D. (2018): Monitoring, analysis and modelling of urban stormwater quality. Dissertation. Technische Universität Graz, Graz. Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau.

LUBW (2020). Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg.

Marcantini et al. (2016): Ein hierarchischer Regelungsalgorithmus. Praxistaugliche Abflussregelung von Entwässerungsnetzen. In: *Aqua & Gas* 10 (48). Online verfügbar unter https://www.dora.lib4ri.ch/eawag/islandora/object/eawag%3A10703/datastream/PDF/Garbani_Marcantini-2016-Ein_hierarchischer_Regelungsalgorithmus._Praxistaugliche_Abflussregelung-%28published_version%29.pdf.

Matschek, Markus (2011): Interkommunale Zusammenarbeit (IKZ). Rahmenbedingungen kooperativer gemeindlicher Aufgabenerfüllung, Organisationsformen und Erfolgsfaktoren sowie empirische Studien zum Thema (Beispiel Kärnten). Wien: MANZ (Schriftenreihe Recht & Finanzen für Gemeinden, 2011,2).

- Mayntz, Renate; Scharpf, Fritz W. (1995): Der Ansatz des akteurzentrierten Institutionasmus. In: Renate Mayntz und Fritz W. Scharpf (Hg.): *Gesellschaftliche Selbstregulierung und politische Steuerung*. Frankfurt (Main): Campus. Online verfügbar unter <http://hdl.handle.net/11858/00-001M-0000-0012-5A0F-B>.
- Merkel, w. (1951): Abschwemmung der Küchenabfälle und Zukunft des Stadtkomposts. In: *Gesundheitsingenieur* 72 (10), S. 171–172.
- Müller, Alexandra; Österlund, Hélène; Marsalek, Jiri; Viklander, Maria (2020): The pollution conveyed by urban runoff: A review of sources. In: *The Science of the total environment* 709, S. 136125. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.136125.
- Müller, Roland; van Afferden, Manfred; Khurelbaatar, Ganbaatar; Ueberham, Maximilian; Reese, Moritz; Fischer, Henrik et al. (2021): Wege zum abflussfreien Stadtquartier - Potentiale, Wirkungen und Rechtsrahmen des ortsnahen Schmutz- und Regenwassermanagements. Abschlussbericht. im Auftrag des Umweltbundesamtes. Leipzig.
- MUNLV (2015): Retentionsbodenfilter. Handbuch für Planung, Bau und Betrieb. Hg. v. Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV). Online verfügbar unter https://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/Broschueren/retentionbodenfilter_handbuch.pdf, zuletzt geprüft am 26.01.2023.
- Nickel, Jan Philip; Fuchs, Stephan (2021): Large-Volume Samplers for Efficient Composite Sampling and Particle Characterization in Sewer Systems. In: *Water* 13 (20), S. 2831. DOI: 10.3390/w13202831.
- Nisipeanu, Peter (2018a): Starkregenereignisse – Rechts- und Finanzierungsfragen (Teil 1). In: *NuR* 40 (11), S. 753–760. DOI: 10.1007/s10357-018-3428-9.
- Nisipeanu, Peter (2018b): Starkregenereignisse – Rechts- und Finanzierungsfragen (Teil 2). In: *NuR* 40 (12), S. 825–839. DOI: 10.1007/s10357-018-3447-6.
- NuTree: Sensor- & KI-gestützte Wertschöpfungskette Baum. Online verfügbar unter <https://www.nutree-eip.de/>.
- Oke, T. R. (1982): The energetic basis of the urban heat island. In: *Q. J. R. Meteorol. Soc.* (108), S. 1–24.
- Pabst, M., Beier, M., Rosenwinkel, K.-H., Schütze, M., Alex, J., Peikert, D., Niclas, C. (2010): Adaption und Entwicklung einer vorkonfektionierten Steuerungsbox zur Abflussteuerung von Kanalnetzen (ADESBA). Methodik und konzeptionelle Umsetzung am Beispiel der Stadt Hildesheim. In: *KA Korrespondenz Abwasser, Abfall* 57 (6), S. 551–557.
- Paijens, Claudia; Bressy, Adèle; Frère, Bertrand; Moilleron, Régis (2020): Biocide emissions from building materials during wet weather: identification of substances, mechanism of release and transfer to the aquatic environment. In: *Environmental science and pollution research international* 27 (4), S. 3768–3791. DOI: 10.1007/s11356-019-06608-7.
- Patryk, A.; Swierk, D.; Krzyżaniak, M. (2020): Statistical Review of Quality Parameters of Blue-Green Infrastructure Elements Important in Mitigating the Effect of the Urban Heat Island in the Temperate Climate (C) Zone. In: *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2020 (17), S. 7093.
- Pavlik, D.; Mendzigall, K.; Tils, R. von (2022): Mikroskalige Klimamodellierung Hannover Südstadt. Schlussbericht. Hg. v. GEO-NET Umweltconsulting GmbH. Hannover.

Peter, Katherine T.; Hou, Fan; Tian, Zhenyu; Wu, Christopher; Goehring, Matt; Liu, Fengmao; Kolodziej, Edward P. (2020): More Than a First Flush: Urban Creek Storm Hydrographs Demonstrate Broad Contaminant Pollutographs. In: *Environmental science & technology* 54 (10), S. 6152–6165. DOI: 10.1021/acs.est.0c00872.

Pinnekamp, J.; Koenen, S.; Stappert, U.; Tondera, K.; Dahmen, H.; Baxpehler, H.; Kiese-wski, R. (2013): Betriebsoptimierung von Retentionsbodenfiltern im Mischsystem. Abschlussbericht, Aachen.

Prodanovic, V.; Jamali, B.; Kuller, M.; Wang, Y.; Bach, P. M.; Coleman, R. A. et al. (2022): Calibration and sensitivity analysis of a novel water flow and pollution model for future city planning: Future Urban Stormwater Simulation (FUSS). In: *Water science and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research* 85 (4), S. 961–969. DOI: 10.2166/wst.2022.046.

Richardson, Leslie; Loomis, John; Kroeger, Timm; Casey, Frank (2015): The role of benefit transfer in ecosystem service valuation. In: *Ecological Economics* 115, S. 51–58. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2014.02.018.

Riechel, M.; Remy, C.; Matzinger, A.; Schwarzmüller, H.; Rouault, P.; Schmidt, M. et al. (2017): Maßnahmensteckbriefe der Regenwasserbewirtschaftung - Ergebnisse des Projektes KURAS. Berlin. Online verfügbar unter http://kuras-projekt.de/fileadmin/Dokumenten_Verwaltung/pdf/Steckbriefe_komplett_web.pdf.

Ruppelt, J.; Tondera, K.; Pinnekamp, J.; Schreiber, C.; Kistemann, T.; Arnold, U.; Welp, G. (2018): Einfluss verschiedener Betriebsparameter auf die Reinigungsleistung von Retentionsbodenfiltern im Mischsystem. In: J. Pinnekamp (Hg.): 51. Essener Tagung für Wasserwirtschaft "Wasserwirtschaft im Umbruch". 14.3. - 16.3.2018 in Essen. Unter Mitarbeit von V. Kölling. Aachen (Gewässerschutz, Wasser, Abwasser, 247), 32/1–32/14.

Saget, Agnès; Chebbo, Ghassan; Bertrand-Krajewski, Jean-Luc (1996): The first flush in sewer systems. In: *Water science and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research* 33 (9), S. 101–108. DOI: 10.2166/wst.1996.0186.

Sartorius, Christian; Hillenbrand, Thomas; Niederste-Hollenberg, Jutta (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.

Scharpf, Fritz W. (1992): Koordination durch Verhandlungssysteme: Analytische Konzepte und institutionelle Lösungen. In: Arthur Benz, Fritz W. Scharpf und Reinhard Zintl (Hg.): Horizontale Politikverflechtung. Zur Theorie von Verhandlungssystemen. Frankfurt (Main), New York: Campus, S. 51–96.

Schebek, L.; Lützkendorf, T.; Uhl, M.; Hirschfeld, J. (2022): Handreichung zur Typologie von Indikatoren sowie ihrer Anwendung in Planungsprozessen und Projekten zur nachhaltigen Quartiersentwicklung. Projektübergeifende Arbeitsgruppe "Indikatoren", Ressourceneffiziente Stadtquartiere, zuletzt geprüft am 21.06.2022.

Holger Scheer, Tim Fuhrmann, Peter Wulf, Dr. Ingo Urban, Matthias Barjenbruch, Philipp Lau, Luisa Reinhold, Julia Stein, Katrin Bauerfeld, Johanna Scheele, Anja P. Jakobi, Bas-tian Loges, Ronja Hänschen, Karl-Georg Schmelz, Issa Nafo, Andrea Holte, Ulrich Grabbe, Thomas Fundneider, Andreas Sack, Hansjörg Lenz, Sonja Winandi, Jose Ordo-

- nez, Stefanie Meyer (2022): REPLAWA Schlussbericht. Reduktion des Eintrags von Plastik über das Abwasser in die aquatische Umwelt; <https://bmbf-plastik.de/de/publikation/replawa-schlussbericht-mikroplastik-eintraege-ueber-das-abwasser>
- Schmuck, Peter (2019): Zukunftskommunen. Zur Umsetzung von 16 Sustainable Development Goals in der Praxis. In: Walter Leal Filho (Hg.): Aktuelle Ansätze zur Umsetzung der UN-Nachhaltigkeitsziele. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 178–199.
- Schroeder, Christian A. (2014): Sculpture "Staendehausbrunnen" by Emil Cimiotti (*1927) located at Karmarschstrasse / Staendehausstraße in Hanover, Germany. Online verfügbar unter https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sculpture_Staendehausbrunnen_Emil_Cimiotti_Karmarschstrasse_Hanover_Germany_01.jpg.
- Schwerdorf, Ingo (2022): Überflutungsvorsorge: Erfahrungsaustausch zu Finanzierungsoptionen aus Sicht der StEB Köln. StEB Köln. TransMiT, 07.02.2022.
- Seggelke, Katja (2002): Integrierte Bewirtschaftung von Kanalnetz und Kläranlage zur Reduzierung der Gewässerbelastung. Dissertation. Universität Hannover, Hannover. Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik.
- Siegel, H.; Thyen, E. (2020a): Pilotscreening nach Mikroplastik am Zentralklärwerk Lübeck. Aufkommen und Verteilung von Mikroplastik in einer kommunalen Kläranlage. In: *KA : Korrespondenz Abwasser, Abfall* 67 (2), S. 105–111.
- Siegel, Henrik; Thyen, Enno (2020b): Pilotscreening nach Mikroplastik am Zentralklärwerk Lübeck. Aufkommen und Verteilung von Mikroplastik in einer kommunalen Kläranlage. In: *KA : Korrespondenz Abwasser, Abfall* 67 (2), S. 105–111.
- Stadt Hannover (2019): Global denken, lokal handeln - Lokale Agenda 21. Hannover stellt sich seiner globalen Verantwortung. Online verfügbar unter [https://www.hannover.de/Leben-in-der-Region-Hannover/Umwelt-Nachhaltigkeit/Nachhaltigkeit/Nachhaltige-Kommune/Agenda-2030-f%C3%BCr-nachhaltige-Entwicklung/Vom-Umweltprogramm-zur-Agenda-2030/Agenda-21/Lokale-Agenda-21](https://www.hannover.de/Leben-in-der-Region-Hannover/Umwelt-Nachhaltigkeit/Nachhaltigkeit/Agenda-21-Nachhaltigkeit/Nachhaltige-Kommune/Agenda-2030-f%C3%BCr-nachhaltige-Entwicklung/Vom-Umweltprogramm-zur-Agenda-2030/Agenda-21/Lokale-Agenda-21), zuletzt aktualisiert am 11.03.2019, zuletzt geprüft am 14.12.2022.
- Stadt Hannover (2022a): Umwelt - Neubaugebiet Kronsberg-Süd. Online verfügbar unter <https://www.hannover.de/Leben-in-der-Region-Hannover/Umwelt-Nachhaltigkeit/Umweltinformation/%C3%96kologisches-Bauen/Neubaugebiet-Kronsberg-S%C3%BCd>, zuletzt geprüft am 14.12.2022.
- Stadt Hannover (2022b): Vorsorge treffen - Hannover im Klimawandel. Anpassungsstrategie zum Klimawandel. Online verfügbar unter <https://www.hannover.de/Leben-in-der-Region-Hannover/Umwelt-Nachhaltigkeit/Klimawandel-und-anpassung/Hannover-im-Klimawandel>, zuletzt aktualisiert am 18.07.2022, zuletzt geprüft am 14.12.2022.
- Stadt Hannover (2022c): Weltweite Nachhaltigkeitsziele - Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung. Zukunft gemeinsam gestalten. Online verfügbar unter <https://www.hannover.de/Leben-in-der-Region-Hannover/Umwelt-Nachhaltigkeit/Nachhaltigkeit/Agenda-21-Nachhaltigkeit/Nachhaltige-Kommune/Agenda-2030-f%C3%BCr-nachhaltige-Entwicklung>, zuletzt aktualisiert am 08.11.2022, zuletzt geprüft am 14.12.2022.
- Stadt Leipzig (Hg.) (2014): Energie- und Klimaschutzprogramm der Stadt Leipzig 2014–2020. Auf dem Weg zur europäischen Energie- und Klimaschutzkommune. Dezernat Umwelt, Ordnung und Sport; Amt für Umweltschutz.

- Stadt Leipzig (Hg.) (2017): Lebendige Grüne Stadt Am Wasser. Freiraumstrategie der Stadt Leipzig. Dezernat Umwelt, Ordnung und Sport; Amt für Stadtgrün und Gewässer.
- Stewart, I. D.; Oke, T. R. (2012): Local climate zones for urban temperature studies. In: *Bull. Am. Meteorol. Soc.* (93), S. 1879–1900.
- StGB NRW (1997): Stellungnahme Küchenabfallzerkleinerer; StGB NRW-Mitteilung - Umwelt, Abfall, Abwasser 602/1997 vom 05.12.1997
- Thaler, S. (1996): Küchenabfallzerkleinerer - ja oder nein. In: *Korrespondenz Abwasser (KA)* (10), S. 1822–1823.
- Thaler, S. (2003): Argumente gegen den Einsatz von Küchenabfallzerkleinerern in Deutschland? In: *Korrespondenz Abwasser (KA)* (5), S. 606.
- UBA (2021): Wege zum abflussfreien Stadtquartier - Potentiale, Wirkungen und Rechtsrahmen des ortsnahen Schmutz- und Regenwassermanagements. Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau.
- Umweltbundesamt (Hg.) (2015): Organische Mikroverunreinigungen in Gewässern. Vierte Reinigungsstufe für weniger Einträge. Deutschland. Dessau-Roßlau (Für Mensch & Umwelt / Umweltbundesamt, März 2015).
- Umweltbundesamt (Hg.) (2017): Empfehlungen zur Reduzierung von Mikroverunreinigungen in den Gewässern. Unter Mitarbeit von M. Ahting, F. Brauer, A. Duffek, I. Ebert, A. Eckhardt, E. Hassold et al. Deutschland. Stand: 12/2017. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt (Hintergrund / Umweltbundesamt, April 2018).
- Umweltbundesamt (2020): Indikator: Heiße Tage. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umweltindikatoren/indikator-heisse-tage#die-wichtigsten-fakten>.
- UNRIC - Regionales Informationszentrum der Vereinten Nationen (o.D.): Ziele für nachhaltige Entwicklung. Online verfügbar unter <https://unric.org/de/17ziele/>, zuletzt geprüft am 07.09.2022.
- Völker, Vera; Jolk, Anna-Kristin; Illgen, Marc; Willen, Luise (2018): Kommunale Überflutungsvorsorge - Planer im Dialog. Projektergebnisse. Hg. v. Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH (Difu). Köln.
- Welker, A. (2006a): Emission von gefährlichen Stoffen aus den Abwasserentsorgungssystemen vor dem Hintergrund der EG-WRRL. Abschlussbericht. Hg. v. Technische Universität Kaiserslautern. Institut Wasser Infrastruktur Ressourcen. Kaiserslautern.
- Welker, Antje (2006b): Emissionen von gefährlichen Stoffen aus den Abwasserentsorgungssystemen vor dem Hintergrund der EG-WRRL. Abschlussbericht. Technische Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern. Institut Wasser Infrastruktur Ressourcen.
- Wendler, D.; Rosenwinkel, K.-H. (2003): Einflüsse von Küchenabfallzerkleinerern auf Kanalisation, Abwasserreinigung und anaerobe Schlammbehandlung (5), S. 596–605.
- Wicke, D.; Matzinger, A.; Rouault, P. (2015): Relevanz organischer Spurenstoffe im Regenwasserabfluss Berlins. Abschlussbericht. Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH. Online verfügbar unter <https://publications.kompetenz-wasser.de/pdf/Wicke-2015-801.pdf>.
- Wicke, Daniel; Matzinger, Andreas; Sonnenberg, Hauke; Caradot, Nicolas; Schubert, Rabea-Luisa; Dick, Robert et al. (2021): Micropollutants in Urban Stormwater Runoff of Different Land Uses. In: *Water* 13 (9), S. 1312. DOI: 10.3390/w13091312.

- Wicke, Daniel; Tatis-Muvdi, Roberto; Rouault, Pascale; Zerball-van Baar, Patricia; Dünnbier, Uwe; Rohr, Mirko; Burkhardt, Michael (2022): Emissions from Building Materials—A Threat to the Environment? In: *Water* 14 (3), S. 303. DOI: 10.3390/w14030303.
- Yang, Yun-Ya; Lusk, Mary G. (2018): Nutrients in Urban Stormwater Runoff: Current State of the Science and Potential Mitigation Options. In: *Curr Pollution Rep* 4 (2), S. 112–127. DOI: 10.1007/s40726-018-0087-7
- Zhang, Wei; Li, Juan; Sun, Huichao; Che, Wu (2021): Pollutant first flush identification and its implications for urban runoff pollution control: a roof and road runoff case study in Beijing, China. In: *Water science and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research* 83 (11), S. 2829–2840. DOI: 10.2166/wst.2021.157.
- Zhao, Li; Liu, Xiaodong; Wang, Peng; Hua, Zulin; Zhang, Yuan; Xue, Hongqin (2021): N, P, and COD conveyed by urban runoff: a comparative research between a city and a town in the Taihu Basin, China. In: *Environmental science and pollution research international* 28 (40), S. 56686–56695. DOI: 10.1007/s11356-021-14565-3.
- Zimmermann, Karsten (2018): Kooperation, interkommunale und regionale, In: ARL – Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Ed.): Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung, ISBN 978-3-88838-559-9, ARL - Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Hannover, pp. 1211-1219, <https://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0156-55991135>.

6. Veröffentlichungen im Projekt TransMiT

Publikationen

- Beier, M.; Gerstendorfer, J.; Mendzigall, K.; Pavlik, D.; Trute, P.; von Tils, R. (2022): Climate Impact and Model Approaches of Blue-Green Infrastructure Measures for Neighborhood Planning. *Sustainability* 2022, 14, 6861.
- Beier, M.; (2020): Zukunftsfähige resiliente Städte – nicht nur eine technologische Herausforderung., *gwf-Wasser, Abwasser* 05/2020, S. 18
- Carpio Vallejo, E. D.; Düker, U.; Nogueira, R.: Microbiological water quality and derived health risks from exposure to ornamental water fountains in the city of Hannover, accepted in *Risk Analysis: An International Journal* – eingereicht -
- Czorny, E.; Schmidt, D.; Elsner, K.; Beier, M. (2020): Resilienzstärkung urbaner Quartiere - Reduzierte Hitzebelastung durch Integration des Wassersektors. In: *Transforming Cities* (1 -2020). Urbane Systeme im Wandel. Das technisch-wissenschaftliche Fachmagazin. Zwischen Klimawandel und Klimaanpassung
- Feng, Y.; Xiao, Q.; Brenner, C.; Peche, A.; Yang, J.; Feuerhake, U.; Sester, M. (2022): Determination of building flood risk maps from LiDAR mobile mapping data, *Computers, Environment and Urban Systems*, Volume 93, 2022, DOI: 10.1016/j.compenvurb-sys.2022.101759
- Hornig, S.; Bauerfeld, K.; Beier, M. (2022): Dynamization of Urban Runoff Pollution and Quantity. *Water* 2022, 14(3), 418; doi:10.3390/w14030418.
- Kabisch, N.-K.; Beier, M.; Köster, S. (2021): Qualitätsbasierte Entwässerung von Niederschlagswasser. Potenzialanalyse am Beispiel der Stadt Hildesheim. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall*, Heft 9 (68), S. 709-721
- Kabisch, N.-K.; Hornig, S.; Bauerfeld, K.; Beier, M. (2020): Urbane Entwässerung neu gedacht. In: *Transforming Cities. Urbane Systeme im Wandel. Das technisch-wissenschaftliche Fachmagazin. Zwischen Klimawandel und Klimaanpassung*
- Kaiser, M.; Hilgers, S. (2023): Gründachsatzung - Instrument zur Implementation der Dachbegrünung in Neubau und Bestand, in: *GebäudeGrün – Dach-Fassade-Raum-Grün*, S. 10-13, Heft 1/2023, Patzer Verlag, Berlin, ISSN2568-9177
- Kaiser, M. (2023): Dachbegrünung im Bestand – „Konzeptionelle Ansätze für eine Weiterentwicklung von Dachbegrünungspotenzialkatastern“, in: *GebäudeGrün – Dach-Fassade-Raum-Grün*, Heft 2/2023, Patzer Verlag, Berlin
- Köster, S.; Beier, M.; (2022): Die Schwammstadt als Innovationstreiber für die Siedlungswasserwirtschaft., 55. ESSENER TAGUNG für Wasserwirtschaft 09. bis 11. März 2022; Gewässerschutz - Wasser - Abwasser, Aachen 2022, ISBN: 978-3-938996-60-7
- Köster, S.; Beier, M.; (2021): Weiterentwicklung der Schwammstadt zu einer komplementären Wasserversorgungsinfrastruktur, *gwf Wasser, Abwasser* 162 (11), S. 85-92
- Köster, S.; (2021): How the Sponge City becomes a supplementary water supply infrastructure., *Water Energy Nexus* 4, S. 35 40. DOI: 10.1016/j.wen.2021.02.002

Vorträge
Beier, M. (2021): Weiterentwicklung grauer Infrastrukturen im Kontext blau grüne Zukunftsstadt, Vortrag im Rahmen der Veranstaltungsreihe „Aktuelle Themen des Umwelt ingenieurwesens“
Feng, Y. (2020): High-resolution Digital Terrain Model and Volunteered Geographic Information for urban flood research. 2020 International PhD Academic Colloquium of Peking University, 08/2020, online.
Kaiser, M. (2022): Dachbegrünung im Bestand – „Konzeptionelle Ansätze für eine Weiterentwicklung von Dachbegrünungspotenzialkatastern“: BuGG – Forschungstag, 10.05.2022, Stuttgart; BuGG-Städtedialog Gebäudegrün, 16.11.2022, Frankfurt / Düsseldorf, 07.12.2022 Leipzig / Hannover; in Modul 3 Bestandserfassung und Potenzialanalyse (Inventarisierung, Potenzialkataster, Erfolgskontrolle)
Köster, S.; Beier, M.; Kabisch, N.; (2021): Quality-based drainage of urban rainwater: Potential analysis for the catchment of Hildesheim, Germany; 15th International Conference on Urban Drainage, Melbourne, October, 2021
Köster, S. (2021): Die blau-grüne Schwammstadt zu Ende denken - Vortrag auf dem Zukunftsforum der Wasserwirtschaft, online verfügbar unter: https://www.isah.uni-hannover.de/de/institut/aktuelle-meldungen/news/aktuelles-detailansicht/news/die-blau-gruene-schwammstadt-zu-ende-denken-vortrag-auf-dem-zukunftsforum-der-wasserwirtschaft/
Köster, S. (2021): Quality-based drainage of urban rainwater: Potential analysis for the catchment of Hildesheim, Germany. 15th International Conference on Urban Drainage Abstract online verfügbar unter: http://icud-2021.p.asnevents.com.au/days/2021-10-28/abstract/76582
Öffentlichkeitsarbeit
Bauerfeld, K. (2022): Projekt zum Klimaschutz in Broitzem – Beitrag des BMBF Forschungsverbunds TransMit. ADFC Tour, 11.06.2022, Braunschweig.
Birkenfeld, J. (2021): Neues Regenrückhaltebecken: Forschung, Schadstofffilter und Hochwasserschutz, Weststadt aktuell, Ausgabe 233, 01/2021, p.5.
regionalHeute.de (2021): Niederschlagswasser-Forschungsprojekt: Neue Anlage soll Mikroplastik und Biozide filtern. regionalheute.de (18.09.2020). https://regionalheute.de/niederschlagswasser-forschungsprojekt-neue-anlage-soll-mikroplastik-und-biozide-filtern-1600427903/
Stachura, J. (2021): Braunschweiger Forscher filtern Mikroplastik aus Regenwasser. Braunschweiger Zeitung, 14.10.2020.
Veolutions (2021): Spuren im Regen. Veolutions Magazin, Ausgabe 2/2020, p. 20.
Beitrag zur Abschlussbroschüre der RES:Z Fördermaßnahme, April 2022
Beiträge „Niederschlagswasserqualität“ und „Retentionssodenfilter“ zum digitalen Lernmodul der RES:Z- Fördermaßnahme, Mai 2022

Poster und Workshopbeitrag zum Verbundprojektauftritt bei der Schlussveranstaltung der RES:Z För-dermaßnahme am 04.05. und 05.05.2022 bei der Dechema e.V. in Frankfurt am Main

Vorstellung des Projektes TransMiT auf der KickOff-Veranstaltung Ressourceneffiziente Stadtquartiere für die Zukunft – RES:Z vom BMBF am 05.06. und 06.06.2019 bei der Dechema e.V. in Frankfurt am Main

Czorny, E.; Beier, M.; Lund-Weiβ, Y. (2022): „Stadtinterne Prozesse zur Stärkung integraler Planung von Bestandsquartieren“ Projektübergreifender Workshop unter Federführung von TransMiT, RES:Z Transferkonferenz, 04.-05.05.2022, Frankfurt/M

Czorny, E.; Beier, M.; Lund-Weiβ, Y. (2022): Institutionalisierung integraler Klimaanpassungsmaßnahmen, RES:Z-Online-Transferveranstaltung II „Verwaltungen umbauen?!” 11.05.2022

Diemar, A. (2022): Kooperative Finanzierung/Verteilungsschlüssel - Bedeutung und Förderung. Vortrag auf TransMiT-Workshop Erfahrungsaustausch zu kooperativen Finanzierungsoptionen für eine integrale Bewirtschaftung von Regenwasser, online, 07.02.2022

DWA (2022): Unterrichtseinheit zum Thema „Kooperation von Fachbereichen zur Nutzung von integralen blau-grünen Infrastrukturen im öffentlichen Raum“, DWA-Schulung „Ressourcenmanager Regenwasser“ – organisiert durch DWA-Landesverband Sachsen/Thüringen im September 2022 in Dresden

Studentische Arbeiten

Masterarbeiten

Baier, M. (2021): Entwicklung und Umsetzung einer web-basierten Visualisierung für 3D-Punktwolken

Carpio Vallejo, D. E. (2021): Health Impact Assessment of four water fountains and one pond in Hannover city Master thesis

De Boer, E. (2022): Entwicklung von Ansätzen zur Bewertung sektorübergreifender Infrastrukturelemente auf Basis von Kosten-Wirksamkeits-Analysen (Teil 2)

Delert, F. (2020): Modellierung des Eintritts von Bioziden aus Gebäudefassaden in eine Trennkanalisation, Braunschweig

Dey, D.: Investigation of the microbiological water quality and associated health risks for rainwater stored in cisterns and ponds

Diemar, A. (laufend): Beschreibung der kooperativen Bereitstellung blaugrüner Infrastrukturen mit Hilfe agentenbasierter Modellierung

Eisenhauer, F. (2022): Thema: Konzeption zur Mischwasserüberleitung und -entlastung am Pumpwerk Kahnsdorf, Braunschweig

Findt, A. (2020): Multifunktionale Dachflächen – Wissen generieren, Ergebnisse kommunizieren, Akteure aktivieren

Geers, J. (2022): Entwicklung von Ansätzen zur Bewertung sektorübergreifender Infrastrukturrelemente auf Basis von Kosten-Wirksamkeits-Analysen (Teil 1)
Habernickel, Tobias (2022) Stoffstrombilanzielle Untersuchung des Einsatzes von Küchenabfallzerkleinerern auf die Abwasserreinigung
Heisrath, J. (2021) Machbarkeitsstudie zur Planung von Baumrigolen zur Regenwasserbewirtschaftung in der Sedanstraße, Hildesheim
Hilgers, S. (2022): Gründachsatzungen als Treiber der Dachbegrünung im Bestand?
Komosinski, C. (2022): Finanzierung von integralen Maßnahmen zur nachhaltigen Regenwasserbewirtschaftung im öffentlichen Raum
Meyer, A. F. (2020): Regenwassermanagement im Kontext von Schwammstädten: Auswertung von Klima- und Qualitätsdaten bei der Speicherung von Regenwasser zur Bewertung des Regenwassermanagements in städtischen Quartieren
Möller, D. (2021): Optimierung des Mischwassermanagements auf der Kläranlage Hannover Herrenhausen unter Anwendung des Bypassverfahrens zur Minimierung von Mischwasserabschlägen
Oelke, Paul (2021) Untersuchung der Auswirkungen des Küchenabfallzerkleinerers im Untersuchungsgebiet der Stadt Hildesheim auf die Bioabfallentsorgung und Abwasserreinigung
Polania, A. (2019): Comparative water system analysis of urban quarters under consideration of different climate conditions
Schäfer, P. (2021): Maßnahmen zur Niederschlagswasserbehandlung im urbanen Raum, Braunschweig
Seybold, P. (2021): Untersuchung des Einflusses der Umsetzung einer qualitätsbasierten Entwässerung auf die Abflussmengen zur Kläranlage am Beispiel des Einzugsgebiets Hildesheim
Siegers, L. (2021): Bestimmung der Niederschlagswasserqualität aus Siedlungsflächen mit Trennkanalisation
Skirpyuk, I. (2020): Ermittlung der Potenziale der verschmutzungsbasierten Entwässerung im Hinblick auf die Reduzierung der Emissionen von Schadstoffen aus der Stadtentwässerung am Beispiel der Stadt Hildesheim
Stepputat, L. (2020): Regenwassermanagement – Untersuchung der Leistungsfähigkeit zur Niederschlagsretention von (Flach-) Dächern
Xiao, Q. (2021): Building flood risk mapping from mobile mapping data
Xie, W. (2020): Classification of Road Roughness in Mobile Mapping Data
Zhang, Z. (2020): Evaluation of green infrastructure performance on a building scale in the light of climate change – A comparative case study for Beijing and Hanover

Seminararbeiten / Interdisziplinäres Projekt
Baier, M. (2021): Entwicklung und Umsetzung einer web-basierten Visualisierung für 3D-Punktwolken
Bröker, M. (2019): Modelltechnische Untersuchung angepasster Betriebsstrategien zur Maximierung der Aufnahmekapazität im Mischwasserfall am Beispiel der Kläranlage Paderborn
Budde, A. (2021): Machbarkeitsstudie: Das COnstruction Material LEAching Model (COMLEAM) zur Simulation von Grün-dächern
Delert, F. (2021): Modellierung des Eintrags von Bioziden aus Gebäudefassaden in eine Trennkanalisation
Jeß, A.-L. (2021): Untersuchung des Einflusses des Schlammindexes und der Schlammbauweise auf das Absetzverhalten von Belebtschlamm bei unterschiedlichen Trockensubstanzkonzentrationen
Kaiser, N. (2019): Auswertung der Auswirkungen von Mischwasserbelastungen auf eine kommunale Kläranlage
Kaiser, N. (2020): Modelltechnische Untersuchung der dynamischen Bewirtschaftung des Kläranlagenzulaufs bei Mischwasserabfluss am Beispiel der Kläranlage Hildesheim
Khalilnejad, M. (2019): Erstellung eines Wasserhaushaltsmodells für das urbane Quartier Linden-Nord, Masterarbeit.
Klose, R. (2021): Zusammenstellung und Einordnung (siedlungswasserwirtschaftlicher) Strukturtypen und Zuordnung technischer Maßnahmen zur Potenzialabschätzung blau-grüner Infrastrukturelemente
Armgardt, X. (2020): Regenwassermanagement im Kontext von Schwammstädten - Teil B - Entwicklung eines quantitativen mikrobiellen Risikobewertungsinstruments (QMRA) zur Bewertung des Risikos durch die Exposition gegenüber Mikroorganismen
Junker, S. (2020): Regenwassermanagement im Kontext von Schwammstädten - Teil A - Szenarienanalyse zur Bewertung der Qualität des in Zisternen und Teichen gespeicherten Regenwassers
Bachelorarbeiten
Becker, J. (2021): Retentionsbodenfilter – Technische Lösung zur Behandlung von Misch- und Niederschlagswasser?, Braunschweig
Fröhlich, A. (2020): Leistungsfähigkeit von Versickerungs- und Retentionselementen – vergleichende Betrachtung von Kenngrößen natürlicher Böden und technischer Substrate anhand von HYPROP-Messungen
Gherasimov, E. (2021): Ermittlung der Eliminationsleistung einer halbtechnischen Versuchsfilteranlage zur Behandlung von Niederschlagswasser

Kielhorn, M. (2021): Erstellung eines Wasserbilanzmodells eines Innenhofs in Hannover zur Bewertung des Regenwassermanagements in städtischen Quartieren in SWMM
Kuper, M. (2021): Klassifizierung und Beschreibung städtischer Wasserelemente im Hinblick auf Bewirtschaftung und Verfahrenstechnik
Lehne, S. (2021): Vergleichende Analyse zur Umsetzung von kommunalen Maßnahmen zum Überflutungsschutz bei Starkniederschlägen
Löchte, C. (2022): Beitrag von Dachbegrünungen im Bestand zur Anpassung an den Klimawandel unter Berücksichtigung der baulichen Realisierbarkeit und der klimarelevanten Leistungen
Moritz, L. (2022): Nutzung von Umweltmanagementsystemen bei Wohnungsunternehmen und Auswirkungen auf deren Umgang mit Regenwasser
Plath, F. (2020): Bewertung des Eintrags von Mikroplastik durch urbanen Niederschlagswasserabfluss in die Umwelt mit besonderem Fokus auf Reifenabrieb
Rohner, M. (2019): Entwicklung und Umsetzung einer Versuchsmethodik zur Messung der Absetzgeschwindigkeit von Belebtschlamm
Schenk, K. (2019): Einträge von Bioziden aus Baumaterialien in das Niederschlagswasser, Braunschweig
Schütte, T. (2020): Untersuchung von betrieblichen und externen Wirkungen von Gründächern
Sejpi, N. (2020): Abschätzung der möglichen Belastung von Niederschlagswasser mit Bioziden aus Siedlungsflächen mit Trennkanalisation anhand von beispielhaften Einzugsgebieten
Siebenlist, C. (2021): Bestimmung der Niederschlagswasserqualität eines Neubaugebietes mit Trennkanalisation, Braunschweig
Sommer, M. (2021): Vergleich von Gründachsatzungen ausgewählter Kommunen im Hinblick auf Effektivität und Effizienz bei der urbanen Regenwasserbewirtschaftung
Strzelczyk, L. (2021): Charakterisierung und Inbetriebnahme einer halbtechnischen Versuchsfilteranlage zur Behandlung von Niederschlagswasser
Thoms, A. K. (2020): Potentiale des Urban Gardenings aus Sicht der Siedlungswasserwirtschaft
Tran Thi, T. A. (2020): Luftschadstoff-Reduktionspotential von Moos - methodischer Ansatz zur Konzeptionierung eines Laborversuchs
Projektarbeiten & Studienarbeiten
Böhm, D. (2019): Elimination anthropogener Spurenstoffe im Regenwasserabfluss aus Siedlungsgebieten, Studienarbeit, Braunschweig

- Gottsmann, J. (2021): Technische Optionen für die Behandlung von Niederschlagswasserentlastungen, Braunschweig
- Hinrichs, M. (2019): Zusammenstellung von Planungsgrundsätzen zur wassersensiblen Gestaltung städtischer Quartiere am Beispiel umgesetzter Modellquartiere in Deutschland
- Linden, C. (2020): Untersuchungen zur Reinigung von Abwasser mittels granulierter Aktivkohle
- Lüker, E. (2019): Potential von bewachsenen Infiltrationselementen im urbanen Raum unter Berücksichtigung verschiedener klimatischer Randbedingungen
- Strzelczyk, L. (2022): Ermittlung und Bewertung der Leistungsfähigkeit von Retentionsbodenfiltern zur Niederschlagswasserbehandlung mit besonderem Fokus auf die Biozidelimination, Braunschweig
- Stukenborg, L. (2020): Anpassung des kommunalen MS-Excel Stoffstrommodells KOSSMA an den aktuellen Status der Abwasser- und Abfallwirtschaft der Stadt Hildesheim
- Tran Thi, T. A. (2019): Ausführungsarten, Funktionen und Leistungen von Gründächern, Fassadenbegrünungen und Straßenbäumen



BMBF FÖRDERRICHTLINIE

Ressourceneffiziente Stadtquartiere für die Zukunft

RESSOURCENOPTIMIERTE TRANSFORMATION VON MISCH- UND TRENNENTWÄSSERUNGEN IN BESTANDSQUARTIEREN MIT HOHEM SIEDLUNGSDRUCK

FKZ 033W105 A-M



ABSCHLUSSBERICHT TEIL B „DETAILBERICHTE“

Übersicht

Teil B – Detailberichte

B1 - Institutionalisierung

B 1.1	Kooperation von Fachbereichen zur Bereitstellung integraler blau-grüner Maßnahmen im öffentlichen Raum – theoretischer Exkurs	IIRM
B 1.2	Strategische Aufgabenanalyse der Fachbereiche zur Förderung integraler blau-grüner Maßnahmen	IIRM
B 1.3	Dokumentation MQ 2030	LHH FB 67, 68
B 1.4	Dokumentation Workshop 1: Möglichkeiten integrale Planung	UP 1 Gesamt
B 1.5	Dokumentation Workshop 2: Ablauf integrale Planung	UP 1 Gesamt
B 1.6	Dokumentation Workshop 3: Finanzierungsoptionen	UP 1 Gesamt
B 1.7	Toolentwicklung: Nutzenbewertung	IIRM, aqua planer
B 1.8	Toolentwicklung: Scopingtabelle	LHH FB 67, 68
B 1.9	Finanzierungsansätze zur Bereitstellung integraler blau-grüner Maßnahmen im öffentlichen Raum	IIRM

B2 – Blau-grüne Infrastrukturelemente

B 2.1	Toolentwicklung und -beschreibung: Steckbriefe (Konzeptionierung)	LHH FB 68
B 2.2	Musterplanungen	aquaplaner
B 2.3	Beschreibung Fallbeispiel Möhringberg	LHH FB 67, 68
B 2.4	Objektsteckbrief (PV/Dachbegrünung_ Bestandsdächer)	LHH FB 67
B 2.5	Klimamaßnahme Dach - Dachbegrünung im Bestand	TU Dortmund
B 2.6	Begleitung des Umbaus eines Innenhofs mit blau-grüner Infrastruktur in Hannover	GH, aqua _{planer} , ISAH _{ABWA}
B 2.7	Lokale Wasserbilanz - Modellrechnungen und Auswertungen von Messtechnik in einem Innenhof in Hannover Südstadt	ISAH _{ABWA}
B 2.8	Untersuchungen zu Urban Gardening Projekten in Hannover	ISAH _{ABWA}
B 2.9	Machbarkeitsstudie zur Planung von Baumrigolen zur Regenwasserbewirtschaftung in der Sedanstraße, Hildesheim	ISAH _{ABWA}
B 2.10	Auswertung von Messdaten zur Bewertung des lokalen Kleinklimas in Hannover anhand von Kenndaten	ISAH _{ABWA}
B 2.11	Funktionsweise der Moosmaschine der Wohnungsgenossenschaft Gartenheim eG	GH
B 2.12	Untersuchungen zu mit Moos begrünten und frontal bewässerten Vertikalfächern in Hannover	ISAH _{ABWA} , GH
B 2.13	Betriebserfahrung und Herangehensweise für öffentlich zugängliche Regenrückhaltebecken	SEHi
B 2.14	Optimierung von Retentionsbodenfiltern	ISWW, SEBS

B3 – Niederschlagswasserqualität QMRA

B 3.1	Mikrobiologische Untersuchungen / Analytik	ISAH _{Biologie}
B 3.2	Aufnahme des Benutzerverhalten nach der Burano-Methode	planzwei
B 3.3	Beschreibung der untersuchten Elemente und Probenahmekonzept	ISAH _{Biologie, ABWA}
B 3.4	Microbiological water quality and derived health risks from exposure to water from blue elements during recreational activities in an inner court-yard in the Südstadt district and water fountains in the city of Hannover	ISAH _{Biologie}

B4 – Systemintegration

B 4.1	Validierung des Berechnungsmodells zur Überflutungssimulation anhand einer Benchmark-Bibliothek und realen Überflutungsversuchen	BPI, SEHi
B 4.2	Modelltechnische Umsetzung von alternativen Ableitungswegen mittels gekoppelter 1D-Kanalnetz-/ 2D-Oberflächenabflussberechnungen	BPI
B 4.3	Beispielhafte Identifikation von oberflächennahen Ableitungswegen	SEHi, BPI, ISAH _{ABWA}
B 4.4	Modelltechnische Untersuchung zum Abflussverhalten mit Abwasserweiche	BPI, SEHi
B 4.5	qbTE - Zuordnung der Verschmutzungsklassen am Beispiel der Stadt Hildesheim	ISAH _{ABWA}
B 4.6	qbTE - Potentiale der Entflechtung am Beispiel des Kanalnetzes der Stadt Hildesheim	ISAH _{ABWA}
B 4.7	qbTE - Modelltechnische Untersuchungen der Wirksamkeit von Betriebsstrategien zur Erhöhung der hydraulischen Kläranlagenkapazität am Beispiel der KA Hildesheim	ISAH _{ABWA}
B 4.8	qbTE - Untersuchung zur vermehrten Mischwasserannahme auf der Kläranlage Hildesheim und Hannover	SEHi, ISAH _{ABWA}
B 4.9	qbTE - Untersuchungen zum Einfluss der Schlammcharakteristik auf das Absetzverhalten in NKB bei erhöhtem Zufluss	ISAH _{ABWA}
B 4.10	Küchenabfallzerkleinerer als Potential eines ressourcenoptimiertes Stoffstrommanagement im Quartier	ISAH _{Abfall}

B5 – Ermittlung von Daten

B 5.1	DGM-Erstellung und Oberflächentypen-Klassifizierung	ikg
B 5.2	Karte des Hochwasserrisikos von Gebäuden durch Erkennung von Fassadenöffnungen	ikg
B 5.3	Einrichtung eines Webviewers zur Datenvisualisierung	ikg
B 5.4	Messtechnik im Werkhof der Stammestraße 102 und Auswertung Auswertung der Messreihe	LHH 67
B 5.5	Ermittlung der Belastung von Niederschlagswasser - Messungen	ISWW, SEBS

B6 - Beschreibung der Untersuchungsgebiete

B 6.1	Beschreibung Untersuchungsgebiets Neustadt	SEHi
B 6.2	Beschreibung Untersuchungsgebiet Südstadt - Hinterhof	ISAH
B 6.3	Beschreibung Untersuchungsgebiet Linden-Nord	LHH FB 68
B 6.4	Verwendete Regendaten	BPI