

# Leitfaden RessourcenPlan

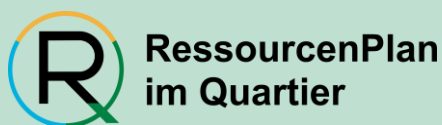


## Teil 2: Elemente des RessourcenPlans

### 2.1: Ressourcenmanagement Niederschlagswasser



## Ergebnisse des Projekts



Februar 2023



## Impressum

### Autoren und beteiligte Institutionen

Autoren	Institution	Fachliche Bearbeitung
<b>Birgitta Hörnschemeyer</b> <b>Mareike Lewe</b> <b>Pascal Teichner</b> <b>Alexander Giesen</b> <b>Sarah Soumagné</b> <b>Mathias Uhl</b>	FH Münster, IWARU, Institut für Infrastruktur-Wasser-Ressourcen-Umwelt	Konzeption & Koordination, Wasserhaushalt, Emissionen
<b>Malte Zamzow</b> <b>Wolfgang Seis</b> <b>Andreas Matzinger</b>	Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH, Berlin	Immissionen
<b>Stefanie Maßmann</b>	Institut für technisch-wissenschaftliche Hydrologie GmbH, Hannover	Überflutung
<b>Christoph Plogmeier</b>	Gelsenwasser AG, Gelsenkirchen	Straßen- und Kanalzustand
<b>Rosalie Arendt</b> <b>Vanessa Bach</b> <b>Matthias Finkbeiner</b>	Technische Universität Berlin, Sustainable Engineering	Ökobilanzierung

### Herausgeber

FH Münster  
IWARU Institut für Infrastruktur-Wasser-Ressourcen-Umwelt  
Corrensstraße 25  
48149 Münster

### Ansprechpartner

Birgitta Hörnschemeyer  
FH Münster  
IWARU Institut für Infrastruktur-Wasser-Ressourcen-Umwelt  
Mail: [b.hoernschemeyer@fh-muenster.de](mailto:b.hoernschemeyer@fh-muenster.de)

### Danksagung

Die vorgestellten Arbeiten wurden im Rahmen des Forschungsprojektes R2Q „RessourcenPlan im Quartier“ durchgeführt. Das Projekt wurde unter den Förderkennzeichen 033W102A-K durch das BMBF im Rahmen der Fördermaßnahme des Bundesministeriums für Bildung und Forschung RES:Z „Ressourceneffiziente Stadtquartiere“ gefördert (<https://ressourceneffiziente-stadtquartiere.de/>). Die Fördermaßnahme ist Teil der Leitinitiative Zukunftsstadt innerhalb des BMBF-Rahmenprogramms „Forschung für Nachhaltige Entwicklung – FONA<sup>3</sup>“.

### Verfügbarkeit und Verwendung

Dieses Dokument ist Teil der Publikationsreihe „Leitfaden RessourcenPlan“. Sie ist online verfügbar unter [www.fh-muenster.de/r2q-leitfaden-ressourcenplan](http://www.fh-muenster.de/r2q-leitfaden-ressourcenplan).

---

Bitte zitieren als:

Hörnschemeyer, B., Zamzow, M., Seis, W., Matzinger, A., Maßmann, S., Plogmeier, C., Arendt, R., Lewe, M., Teichner, P., Giesen, A., Soumagné, S., Bach, V., Finkbeiner, M., Uhl, M. (2023): *Leitfaden RessourcenPlan – Teil 2.1: Ressourcenmanagement Niederschlagswasser. Ergebnisse des Projekts R2Q RessourcenPlan im Quartier*. Münster: FH Münster, IWARU Institut für Infrastruktur·Wasser·Ressourcen·Umwelt. doi: [10.25974/fhms-15753](https://doi.org/10.25974/fhms-15753).



Dieses Dokument ist unter einer Open Access Creative Commons CC BY 4.0-Lizenz lizenziert ([Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)). Das bedeutet, dass das Dokument kostenlos heruntergeladen und gelesen werden kann. Darüber hinaus darf das Dokument wiederverwendet und zitiert werden, sofern die veröffentlichte Originalversion zitiert wird.

Münster, Februar 2023

## Hinweis: Struktur des „Leitfaden RessourcenPlan“

Der „Leitfaden RessourcenPlan“ dient der anwendergerechten Darstellung der Ergebnisse des BMBF-Projekts „RessourcenPlan im Quartier (R2Q)“. Der Leitfaden

- *definiert den RessourcenPlan* als neuen Planungsansatz für das Ressourcenmanagement im Quartier inklusive seiner Anwendungs- und Bewertungsroutinen;
- diskutiert darauf aufbauend einzelne *Elemente des Ressourcenmanagements* für die Schwerpunkte (i) Wasser, (ii) Baustoffe, (iii) Energie und (iv) Fläche und
- stellt ergänzende *Anwendungs- und Planungshilfen* bereit.

Zur übersichtlichen Lesbarkeit und Anwendbarkeit untergliedert sich der Leitfaden in mehrere Teile, die in der folgenden Grafik dargestellt werden. Die einzelnen Teile stehen unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-leitfaden-ressourcenplan> zum Download zur Verfügung.

<p><b>Teil 1:</b> <b>Konzeption des RessourcenPlans</b></p>	<p><i>Definition RessourcenPlan</i> <i>Definition RessourcenPlan als Planungsinstrument inkl. Bewertungssystematik</i> <i>Herleitung RessourcenPlan als rechtliches Instrument</i> <i>Empfehlungen für Beteiligungsformate</i></p>	
<p><b>Teil 2:</b> <b>Elemente des RessourcenPlans</b></p>	<p><i>Sektorale Betrachtungen zu</i> <i>(i) Werkzeugen des Ressourcenmanagements und</i> <i>(ii) Bewertung der Ressourceneffizienz</i></p> <p><i>Aufstellung sektoraler RessourcenPläne</i></p>	<p><b>2.5:</b> Ressourcenmanagement Fläche <i>Integrierte, lokal-funktionale Betrachtungen zu</i> <i>(i) Werkzeugen des Ressourcenmanagements und</i> <i>(ii) Bewertung der Ressourceneffizienz</i></p> <p><i>Aufstellung RessourcenPlan</i></p>
<p><b>2.1:</b> Ressourcenmanagement Niederschlagswasser</p>		
<p><b>2.2:</b> Ressourcenmanagement Schmutzwasser</p>		
<p><b>2.3:</b> Ressourcenmanagement Baustoffe</p>		
<p><b>2.4:</b> Ressourcenmanagement Energie</p>		
<p><b>Teil 3:</b> <b>Anwendungs- und Planungshilfen</b></p>	<p><b>3.1:</b> Kurzanleitung RessourcenPlan <i>Schritt-für-Schritt-Anleitung; Kurzübersichten zu Treibern, Indikatoren, Instrumenten und Daten</i></p> <p><b>3.2:</b> Lernen von anderen – Booklet „Best-Practice“ <i>Best-Practice-Beispiele für Planungs- und Beteiligungsprozesse, Verwaltungsstrukturen und Quartiersgestaltung</i></p> <p><b>3.3:</b> Maßnahmensteckbriefe <i>Maßnahmensteckbriefe für Maßnahmen des Quartiersmanagements für Wasser, Baustoffe und Energie</i></p> <p><b>3.4:</b> Stakeholder-Beratung blau-grüne Infrastrukturen <i>Empfehlungen und Materialien für die Stakeholderberatung zum Thema blau-grüner Infrastrukturen</i></p> <p><b>3.5:</b> Baukonstruktionskatalog <i>Katalog zur Abschätzung von Materialmengen und -zusammensetzungen verschiedener Baukonstruktionen</i> 3.5.1: Erläuterungen 3.5.2: Steckbriefkatalog</p>	

## Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>1</b>
<b>1 Einführung</b> .....	<b>3</b>
<b>I. WERKZEUGKASTEN</b> .....	<b>4</b>
<b>2 Instrumente</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1 Modelle der Siedlungsentwässerung</b> .....	<b>5</b>
2.1.1 Modellanwendungen zur Aufstellung des RessourcenPlans .....	5
2.1.2 Empfehlungen zur Modellauswahl im planerischen Kontext .....	22
2.1.3 Fokus: Modellierung des Wasserhaushalts im Quartier .....	28
<b>2.2 Entscheidungsunterstützung zur Aufstellung wasserwirtschaftlicher Transformationsplanungen</b> .....	<b>30</b>
2.2.1 Private Flächen.....	30
2.2.2 Öffentliche Flächen.....	36
<b>2.3 Bewertung des wasserwirtschaftlichen Flächenpotentials</b> .....	<b>38</b>
<b>3 Maßnahmen des Quartiersmanagements</b> .....	<b>42</b>
<b>3.1 Speicherbewirtschaftung im Quartier</b> .....	<b>42</b>
3.1.1 Verortung von Speichern im urbanen Raum .....	42
3.1.2 Dimensionierung von Regenspeichern.....	47
<b>3.2 Potential von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung zur Starkregenvorsorge</b> .....	<b>51</b>
<b>3.3 Potential von blau-grünen Quartierskonzepten zur Anpassung an Transformationsszenarien</b> .....	<b>53</b>
<b>3.4 Maßnahmenkatalog: Werkzeugkasten blau-grüne Infrastruktur</b> .....	<b>60</b>
<b>II. BEWERTUNG</b> .....	<b>61</b>
<b>4 Systemisch-sektorale Bewertung</b> .....	<b>62</b>
<b>4.1 Methodik</b> .....	<b>62</b>
<b>4.2 Quartier Baukau</b> .....	<b>65</b>
4.2.1 Wasserhaushalt .....	66
4.2.2 Emissionen .....	72
4.2.3 Immissionen.....	75

4.2.4	Überflutung .....	83
4.2.5	Straßen- und Kanalzustand .....	96
<b>4.3</b>	<b>Quartier Pantringshof .....</b>	<b>97</b>
4.3.1	Wasserhaushalt .....	98
4.3.2	Emissionen .....	103
4.3.3	Immissionen .....	104
4.3.4	Überflutung .....	108
4.3.5	Straßen- und Kanalzustand .....	111
<b>5</b>	<b>Ökobilanzierung .....</b>	<b>112</b>
5.1	Ziel und Untersuchungsrahmen .....	112
5.2	Sachbilanz .....	114
5.3	Ergebnisse und Interpretation .....	115
5.4	Implikationen für die nachhaltige Quartiersplanung .....	118
<b>III.</b>	<b>ANHANG .....</b>	<b>119</b>
	<i>Literaturverzeichnis .....</i>	<i>120</i>
	<i>Abbildungsverzeichnis .....</i>	<i>124</i>
	<i>Tabellenverzeichnis .....</i>	<i>127</i>
	<i>Anhang .....</i>	<i>129</i>

## 1 Einführung

Das folgende Dokument stellt die Ergebnisse des Projekts „R2Q RessourcenPlan im Quartier“ für die Ressourcenbewirtschaftung von Niederschlagswasser im Quartier vor.

Die Struktur gliedert sich in die beiden Abschnitte „I – Werkzeugkasten“ und „II – Bewertung“ auf.

Der Abschnitt I stellt zunächst Instrumente zur Aufstellung des RessourcenPlans vor (Kapitel 2). Dabei werden Untersuchungen für die Themenschwerpunkte (i) Wasserhaushalt, (ii) Emissionen, (iii) Immissionen, (iv) Überflutung und (v) Straßen- und Kanalzustand vorgesehen. Anschließend werden Einsatz und Wirkung unterschiedlicher Maßnahmen diskutiert (Kapitel 3). Der Abschnitt II beinhaltet die exemplarische Anwendung der zuvor beschriebenen Instrumente für die beiden Quartiere in Herne.

# I. Werkzeugkasten



## 2 Instrumente

### 2.1 Modelle der Siedlungsentwässerung

#### 2.1.1 Modellanwendungen zur Aufstellung des RessourcenPlans

Für die Aufstellung und Umsetzung des RessourcenPlans werden Modelle benötigt, die in frühen Planungsphasen einfache Bewertungen des Quartiers zulassen und zur Strategiefindung beitragen. Für tiefergehende Betrachtungen können dann bestehende Modelle eingesetzt werden (Kapitel 2.1.2).

Grundsätzlich erfolgt die Bewertung in drei Schritten:

- (1) Bewertung des Ist-Zustands;
- (2) Ableitung von planerischen Zielgrößen, die vereinfacht Orientierung zur Zielerreichung geben können.
- (3) Aufstellung einer Transformationsplanung (Planungs-Zustand), die schrittweise durch die Kommune umgesetzt wird.

Die im Folgenden beschriebenen Anwendungen decken Untersuchungen Themenschwerpunkte (i) Wasserhaushalt, (ii) Emissionen, (iii) Immissionen, (iv) Überflutung sowie (Straßen- und Kanalzustand ab. Die Untersuchungen lassen vereinfachte wasserwirtschaftliche Betrachtungen des Quartiers zu. Sie orientieren sich an etablierten Nachweisverfahren (DWA-A/M 102/ BWK-A/M 3 2020; DWA-M 119 2016), decken wichtige wasserwirtschaftlichen Zielgrößen des Quartiers ab und integrieren, falls möglich, bestehende Modellanwendungen.

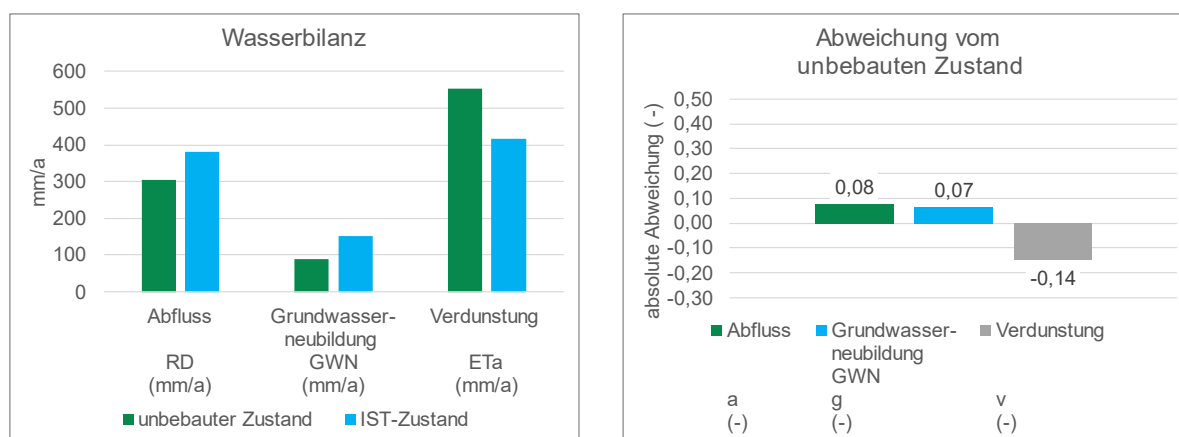
##### 2.1.1.1 Wasserhaushaltsbilanzierung nach DWA-A 102-2 bzw. DWA-M 102-4

Die Betrachtung des Wasserhaushalts erfolgt auf Grundlage des DWA-A 102-2/ BWK-A 3-2 (2020) bzw. DWA-M 102-4/ BWK-M 3-4 (2022). Zur Durchführung des Wasserhaushaltsnachweis kann die Software „Wasserbilanz-Expert“ (DWA 2017) genutzt werden. Die für den Nachweis notwendigen Eingangsgrößen sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Unterschieden wird zwischen grundlegende Quartiersinformationen, die für das gesamte Quartier angegeben werden, und Informationen zu Flächennutzung und -versiegelung. Es empfiehlt sich die Aufbereitung mit Geoinformationssystemen.

Als Ergebnis werden die Abweichungen der Wasserhaushalts-Komponenten Abfluss, Grundwasserneubildung und Verdunstung von dem Wasserhaushalt des unbebauten Zustands ermittelt (Abbildung 1). Die Abweichungen können sowohl für den Ist-Zustand als auch für Planungs-Zustände ermittelt werden und geben Orientierung für eine notwendige Transformation des Wasserhaushalts-Regimes des Quartiers.

**Tabelle 1** Eingangsgroßen zur vereinfachten Bewertung Wasserhaushalt/ AFS<sub>63</sub>-Emissionen

Datentyp	Datensatz	Einheit
<b>Grundlagendaten (Ebene Quartier)</b>	<b>Hydrologische Kennwerte:</b>	
	mittlerer jährlicher Niederschlag P (unkorrigiert)	mm/a
	mittlerer jährlicher Niederschlag P <sub>Korr</sub> (korrigiert)	mm/a
	<b>Wasserhaushalt unbebauter Zustand:</b>	
	mittlere jährliche potentielle Grasreferenzverdunstung ET <sub>0</sub>	mm/a
	mittlere jährliche Direktabflusshöhe R <sub>D</sub>	mm/a
	mittlere jährliche Grundwasserneubildung GWN	mm/a
<b>Flächeninformationen (Ebene Einzelfläche)</b>	<b>Bodenkundliche Kenndaten:</b>	
	mittlere jährliche Verdunstung ET <sub>a</sub>	mm/a
	Durchlässigkeitsbeiwert des Bodens für das Quartier k <sub>f</sub>	mm/h
	Flächentyp in Anlehnung an DWA-M 102-4	m <sup>2</sup>



**Abbildung 1** Exemplarische Ergebnisse einer Wasserhaushaltsbilanzierung

Mit einer einfachen Excel-Anwendung können im nächsten Schritt planerische Zielgrößen ermittelt werden, die mit dem RessourcenPlan festgelegt werden und zur späteren vereinfachten Erfolgskontrolle dienen. Dazu müssen die Ergebnisse der Wasserhaushaltsbilanzierung in die Excel-Anwendung eingegeben werden.

Diese berechnet für jede Wasserhaushaltskomponente einen Versiegelungsgrad, bei dem eine vormals definierte Abweichung vom unbebauten Zustand fiktiv eingehalten werden kann. Die Anwendung ermittelt den Zielzustand in folgenden Zwischenschritten:

- (1) Manuelle Festlegung des Toleranzwertes für die maximale Abweichung vom Wasserhaushalt des unbebauten Zustands (z. B. 0%, 5%, 10%)
- (2) Ermittlung des flächengewichteten mittleren Wasserhaushalts der befestigten Flächen
- (3) Ermittlung des flächengewichteten mittleren Wasserhaushalts der unbefestigten Flächen
- (4) Berechnung der mit dem Wasserhaushalt des unbebauten Zustands (3) zu entsiegelnden Fläche, bis dass der Toleranzwert (1) eingehalten wird – für jede Komponente einzeln

- (5) Formulierung des Ziel-Versiegelungsgrads als % der aktuell versiegelten Fläche – für jede Komponente einzeln

Der Ziel-Versiegelungsgrad stellt eine grobe Orientierung für spätere Erfolgskontrollen dar. Die Integration von RWB-Maßnahmen und damit eine Schwerpunkt-Förderung einzelner Wasserhaushalts-Komponenten, werden nicht betrachtet.

### 2.1.1.2 Vereinfachte Emissionsabschätzung nach DWA-A 102-2

Der Emissionsnachweis wird nach DWA-A 102-2/ BWK-A 3-2 (2020) durchgeführt. Die AFS<sub>63</sub>-Belastungskategorien der Flächen im Quartier können geodatenbasiert, beispielsweise mit dem Verfahren von (Wessels und Leutnant 2021), ermittelt werden. Die (Zwischen-)Ergebnisse des Nachweises werden wie in Tabelle 2 zusammengetragen.

Von den ermittelten Stoffausträgen können ebenfalls planerische Zielgrößen abgeleitet werden, die zur Orientierung für spätere Planungen dienen. Als Nachweisgröße zugrunde liegt dabei der vom DWA-A 102-2/ BWK-A 3-2 (2020) festgelegte flächenspezifische Stoffabtrag AFS<sub>63</sub> von 280 kg/(ha·a).

Als planerische Zielgrößen können einerseits konkrete Angaben zum Wirkungsgrad einer Behandlungsanlage sowie zur notwendigen AFS<sub>63</sub>-Reduktion getätigt werden. Andererseits kann, ähnlich wie bei der Wasserhaushaltsbetrachtung, ein Orientierungswert gegeben werden, der die aktuelle Flächennutzung des Quartiers in Bezug zur Zielgröße setzt. Dieser formuliert die maximal angeschlossene Fläche als Anteil an aktuell angeschlossener befestigter Fläche formuliert. Die Excel-Anwendung ermittelt ihn unter der Annahme, dass die abgekoppelten Flächen im Mittel denselben jährlichen flächenspezifischen Stoffaustrag haben, wie das Quartier im Ist-Zustand.

**Tabelle 2** Eingangsgroßen- und Ergebnisgrößen des Emissionsnachweis zur Aufstellung des RessourcenPlans

Datentyp	Datensatz	Einheit
<b>Eingangsgroßen</b>	kanalisierte Einzugsgebietsfläche ( $A_{E,k}$ )	ha
	angeschlossene befestigte Fläche ( $A_{b,a}$ )	ha
	angeschlossene befestigte Fläche Kategorie I-III ( $A_{b,a,I-III}$ )	ha
<b>(Zwischen-) Ergebnisse</b>	jährlicher Stoffabtrag Kategorie I-III ( $B_{R,a,AFS63,I-III}$ )	kg/a
	jährlicher Stoffabtrag AFS <sub>63</sub> des Gesamt-Gebiets ( $B_{R,a,AFS63}$ )	kg/a
	flächenspezifischer Stoffabtrag AFS <sub>63</sub> des Gesamt-Gebiets ( $b_{R,a,AFS63}$ )	kg/(ha·a)
<b>Planerische Zielgröße</b>	erforderlicher Wirkungsgrad einer Behandlungsmaßnahme ( $\eta_{r,erf}$ )	%
	benötigte Reduktion AFS <sub>63</sub> aus Gebiet ( $B_{R,r,AFS63,erf}$ )	kg/a
	<b>maximal angeschlossene Fläche als Anteil an aktuell angeschlossener befestigter Fläche (<math>\eta_{A,b,a,erf}</math>)</b>	%

### 2.1.1.3 Vereinfachte Immissionsabschätzung von Regenwasser in Kleingewässern

Der Regenwasserabfluss aus urbanisierten Gebieten kann erhebliche Schadstoffmengen beinhalten, die das Ökosystem in den Oberflächengewässern beeinträchtigen können. Im Rahmen von R2Q wurde ein an das Merkblatt DWA M102-3 angelehnter, um geregelte Schadstoffe erweiterter Ansatz als einfaches R-Tool für die Aufstellung und die Anwendung des RP umgesetzt und steht auf der Plattform Github zum Download zur Verfügung (<https://github.com/KWB-R/r2q>). Die Immissionsabschätzung verknüpft die mit dem Regenwasserabfluss in ein Gewässer eingetragene Schadstofffracht mit gewässerseitigen Grenzwerten und hat das Ziel das mögliche Anschlusspotential an eine Trennkanalisation, bzw. die maximal zulässige Fracht zu berechnen. Es werden Stoffe aus den Gruppen Schwermetalle, Nährstoffe, Biozide, PAK und Phthalate sowie feine abfiltrierbare Stoffe (AFS<sub>63</sub>) berücksichtigt. Die Auswahl der Schadstoffe basiert auf Messwerten des OgRe-Projekts (Wicke et al. 2021) bei dem Schadstoffkonzentrationen im Regenwasserabfluss für unterschiedliche Stadtstrukturtypen gemessen wurden. Sie erfolgte durch eine Abschätzung, wieviel Liter unbelastetes Wasser durch einen Liter Niederschlagsabfluss in relevantem Ausmaß kontaminiert werden, sodass Umweltqualitätsnormen (UQN, v.a. ZHK-UQN aus der OGeV, 2016) nicht mehr eingehalten werden (Abbildung 2).

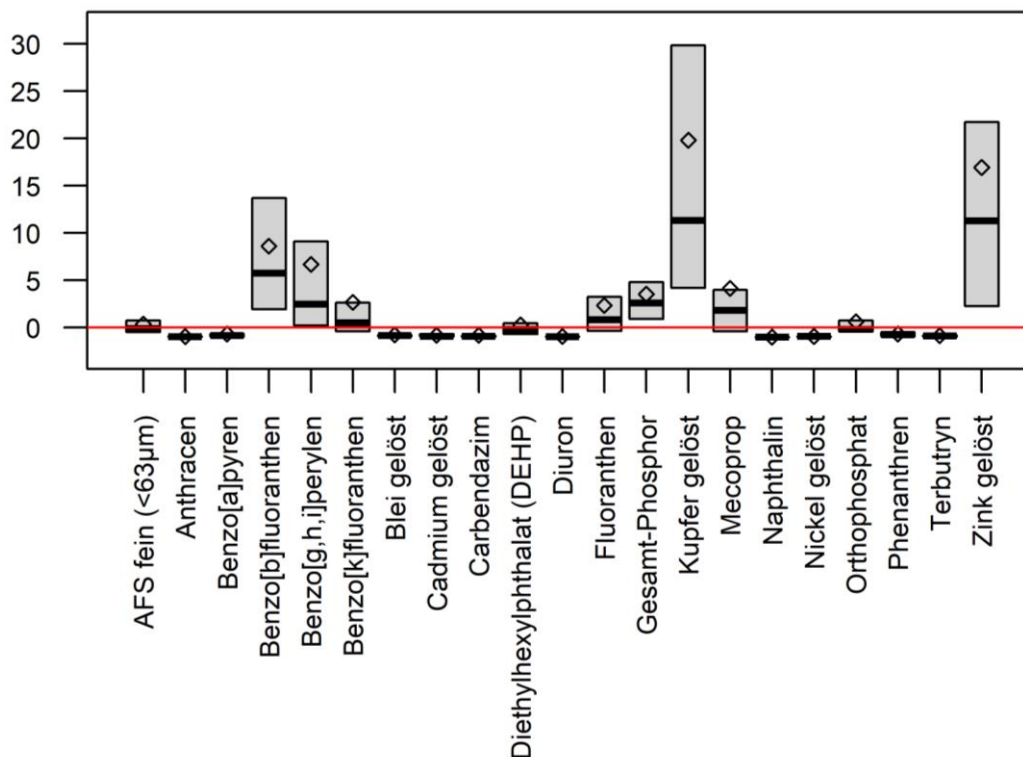


Abbildung 2 Durch einen Liter Regenwasserabfluss kontaminierte Liter unbelastetes Wasser. Abgebildet sind die mittleren 50 % der Messwerte aus dem Projekt OgRe. Mehr als 100 Messungen pro Substanz mit Ausnahme von AFS63.

Die Immissionsabschätzung kann in zwei Schritte unterteilt werden:

1. Aufstellung des RessourcenPlans - Die Erfassung der gegenwärtigen Emissionen aus urbanen Gebieten in Fließgewässer mit Ableitung der maximal einleitbaren Schadstofffracht, bzw. maximal im Trenngebiet anschließbaren Flächen. Dadurch werden für den weiteren Anschluss an die Trennkanalisation relevante Schadstoffe identifiziert.
2. Vergleich von Planszenarien im Rahmen der Anwendung des RessourcenPlans - Die Erfassung der Emissionen aus dem Planungsgebiet mit detaillierter Flächenbetrachtung, bei der die Berechnung verschiedener Szenarien möglich ist. Ableitung des Anschlusspotentials bzw. Identifikation der zu behandelnden Flächen.

Für beide Schritte müssen allgemeine Informationen zum Standort und zum Planungsgebiet angegeben werden. Die Maske dafür ist ein Excel-Tabellenblatt (Abbildung 3). Datenein- und ausgabe erfolgen in englischer Sprache und mit Punkt als Dezimalzeichen.

ID	Variable	Unit	Value	Description
<b>River and Rain Data</b>				
1	SUW_name		Creek	Name of surface water body
2	LAWA_type		19	LAWA type of surface water body (if unknown enter "default")
3	Q_mean	m3/s	0.5	Average annual river runoff MQ
4	river_cross_section	m2	1	average river cross section
5	river_length	m	5000	length of affected urban river stretch
6	rain_year	mm/yr	650	annual rainfall [mm/yr]
<b>Catchment Data</b>				
7	City_name		City	Name of the location
8	x_coordinate		3813634.44	x value in ETRS 89 - Coordinate System
9	y_coordinate		2753912.5	y value in ETRS 89 - Coordinate System
10	area_catch	km2	5	Complete river catchment area upstream of planning area
11	area_urban	km2	0.1	urbanised area around planning area
12	area_plan	km2	0.01	planning area
13	area_urban_upstream	km2	0	urbanised area further upstream that is not considered in "area_urban"
14	Hq1pnat_catch	l/(s*km2)		Natural run-off of urban area ("area_catch") for a yearly rain event
15	Hq2pnat_catch	l/(s*km2)		Natural run-off of urban area ("area_catch") for a biennial rain event
16	slope_catch	%	0.1	Average slope of the catchment area

### Abbildung 3 Beispielhafte Eingabe zu den Standorteigenschaften

Die fett geschriebenen Variablen sind Pflichtfelder. Es folgt eine genaue Beschreibung der Eingangsvariablen.

#### *SUW\_name und City\_name*

Die Namen des Fließgewässers und des urbanen Betrachtungsgebiets. Sie werden nicht für die Berechnung benötigt, aber bei der Ergebnisausgabe gelistet, sodass die Ergebnisse besser eingeordnet werden können.

#### *LAWA\_type*

Der LAWA Typ des Gewässers (siehe LAWA, 2021). Falls nicht bekannt ist, um welchen LAWA Typ es sich bei dem vorliegenden Fließgewässer handelt, kann an dieser Stelle

„default“ eingegeben werden. Der LAWA-Typ hat Auswirkungen auf die Bewertung bezüglich der Phosphorindikatoren, da sich hier die Grenzwerte nach LAWA-Typ unterscheiden.

#### *Q\_mean*

Der mittlere Durchfluss des Fließgewässers in m<sup>3</sup>/s durch das urbane Betrachtungsgebiet.

#### *River\_cross\_section* und *River\_length*

Die mittlere Querschnittsfläche des Fließgewässers in m<sup>2</sup> sowie die Fließstrecke innerhalb des urbanen Betrachtungsgebiets.

#### *Rain\_year*

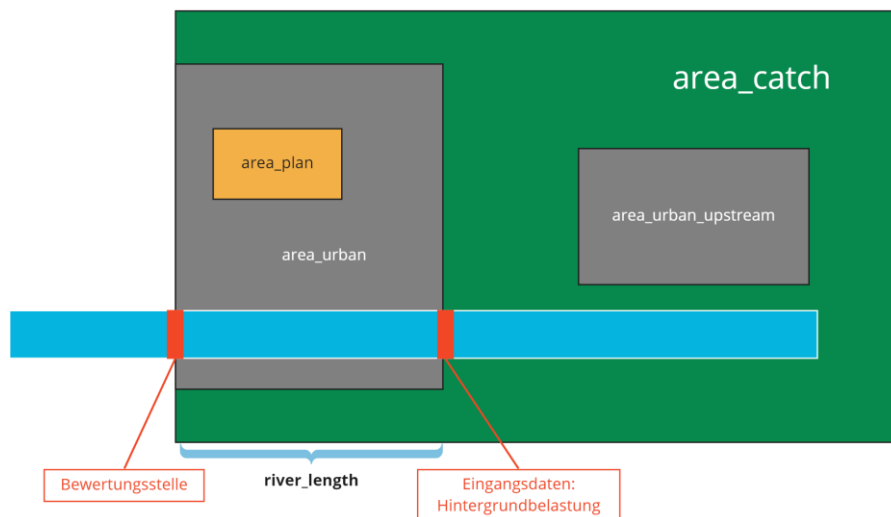
Der Jährliche Niederschlag im urbanen Betrachtungsgebiet in mm/Jahr. Dieser Niederschlag wird verwendet für die Bewertung mit jährlichen Grenzwerten (Phosphor und AFS63)

#### *x\_coordinate* und *y\_coordinate*

Die GPS-Daten des urbanen Betrachtungsgebiets. Ein Mittelwert für die Fläche ist ausreichend. Die Daten werden benötigt, um typische Regencharakteristika für die Region aus den KOSTRA-Daten des DWD abzuleiten. Dafür müssen die Koordinaten im ETRS-89 System vorliegen. Weitere Informationen gibt es hier: <https://epsg.io/3034>. Die Umrechnung von WGS84 (Ausgabe z.B. bei Google) nach ETRS-89 kann hier durchgeführt werden: [https://epsg.io/transform#s\\_srs=4326&t\\_srs=3034](https://epsg.io/transform#s_srs=4326&t_srs=3034).

#### *Area\_catch*, *area\_urban*, *area\_plan*, *area\_urban\_upstream*

Die einzelnen Flächen sind in der Abbildung 4 definiert. Bei *area\_catch* handelt sich um das gesamte Einzugsgebiet bis zur Bewertungsstelle am Ende des Stadtgebiets. *area\_plan* ist das Planungsgebiet des Vorhabens, das von *area\_urban*, dem Stadtgebiet, umgeben ist. Parkanlagen oder andere nicht abflusswirksamen Flächen können später bei der Definition der Strukturtypen angegeben und herausgerechnet werden Die Hintergrundkonzentration im Fließgewässer können in einem separaten Tabellenblatt eingegeben werden (siehe unten) und sollten möglichst vor dem Stadtgebiet gemessen werden.



**Abbildung 4 Schematische Darstellung der Eingangsdaten**

*Hq\_1pnat\_catch, Hq\_2pnat\_catch*

Die natürlichen Abflussspenden eines Einzugsgebiets bei Starkregen, die einmal pro Jahr bzw. alle zwei Jahre auftreten. Diese Werte sind oft nicht bekannt, da in den meisten Fällen der natürliche Zustand nicht mehr im kompletten EZG vorliegt. Sie werden in der DWA-M 102-3 mit dem durchschnittlichen Gefälle und der Größe des EZG abgeschätzt. Diese Abschätzung ist ebenfalls im Bewertungstool implementiert und wird ausgeführt, falls hier keine Werte vorgegeben werden. Falls Werte manuell eingegeben werden, muss die Eingabe in  $L/(s \cdot km^2)$  erfolgen.

*Slope\_catch*

Das durchschnittliche Gefälle des Einzugsgebiets in %. Im Bewertungstool werden nur die Fälle „kleiner als 0,2 %“, „zwischen 0,2 % und 1 %“ und „größer als 1 %“ unterschieden. Es ist also nicht notwendig sehr detaillierte Zahlen bereitzustellen. Für die meisten EZG im Flachland trifft die erste Kategorie „kleiner als 0,2 %“ zu.

In einem weiteren Tabellenblatt müssen Angaben zu den zur Zeit angeschlossenen Stadtstrukturtypen im urbanen Gebiet gemacht werden. Pro Strukturtyp muss der Anteil innerhalb des urbanen Gebiets („proportion“) angegeben werden sowie deren aktueller Anschlussgrad an eine Trennkanalisation („separate\_sewer“). Beide Werte müssen zwischen 0 und 1 (100%) liegen. Die Anteile aller Strukturtypen müssen sich zu 1 aufsummieren. Die bereitgestellten Abflussbeiwerte sind Durchschnittswerte aus dem OgRe-Projekt und passen damit direkt zu den verwendeten Durchschnittskonzentrationen pro Strukturtyp. Sie können jedoch manuell angepasst werden. Für den Strukturtyp „no\_runoff“ ist der Abflussbeiwert sowie der Anschlussgrad nicht relevant, da hier kein Wasser in eine Kanalisation abfließt.

landuse	fD	proportion	separate_sewer
residential_city	0.75	0.25	0
residential_suburban	0.71	0.25	1
commercial	0.73	0.25	0
main_road	0.94	0.1	1
no_runoff		0.15	

### Abbildung 5 Beispielhafte Eingabe zu den Stadtstrukturtypen

Bei den Stadtstrukturtypen handelt es sich um eine grobe Flächeneinteilung. Sie sind typische Mischungen aus Flächenfunktionen und müssen nicht gebäudescharf, sondern großflächig definiert werden. Der Unterschied zwischen Wohngegend im Innenstadtbereich und in Außenbezirken ist in Tabelle 3 genauer beschrieben. Hauptstraßen sind in den Strukturtypen „residential\_city“ und „commercial“ mit inbegriffen und müssen nicht extra ausgewiesen werden. Im Strukturtyp „residential\_suburban“ fehlen sie hingegen. In Außenbezirken mit vielbefahrenen Hauptstraßen sollte der Anteil von Hauptstraßen deshalb zusätzlich angegeben werden.

**Tabelle 3 Qualitative Unterscheidung der Wohngegend im Innenstadtbereich und Außenbezirken**

Wohngegend im Innenstadtbereich „residential_city“	Wohngegend in Außenbezirken „residential_suburban“
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eher Mehrfamilienhäuser / mehrgeschossige Wohngebäude</li> <li>• Wenig Grünflächen</li> <li>• Höherer Anteil an Flachdächern</li> <li>• Höhere Verkehrsdichte auf den Straßen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hauptsächlich Einfamilienhäuser</li> <li>• Viele Gartenflächen</li> <li>• Meistens Ziegeldächer</li> <li>• Geringe Verkehrsdichte</li> </ul>

Ein Beispiel für die Einteilung der Stadtstrukturtypen kann auch Abbildung 35 für Herne Baukau entnommen werden.

In einem dritten Tabellenblatt kann die mittlere Hintergrundkonzentration im Fließgewässer eingegeben werden. Ist die Konzentration eines Stoffes nicht bekannt, greift die Berechnung auf die halben Grenzwerte zurück.

#### 1. Berechnung der maximal einleitbaren Schadstofffracht

Je nach Typ des Grenzwertes (*chronisch*: Phosphor, Orthophosphat und AFS<sub>63</sub>; *akut*: alle übrigen Stoffe) erfolgt die Berechnung der tolerierbaren Schadstofffracht auf Basis einer jährlichen Regenmenge bzw. eines einjährigen Regenereignisses.

Für die chronische Betrachtung wird vereinfacht von einem stationären Problem ausgegangen, bei dem sich das Wasservolumen des Flusses, das in einem Jahr durch das urban geprägte Gebiet fließt mit dem Regenwasserabfluss eines Jahres aus diesem Gebiet vermischt. Die jährliche Wassermenge, die durch das urbane Gebiet fließt  $Q_{F_a}$ , wird über den mittleren Durchfluss ausgerechnet. Mit den Differenzen zwischen Hintergrundkonzentration im Fluss  $c_F$  und



Grenzwert  $c_{gw}$ , sowie Konzentration im Regenwasserabfluss  $c_R$  und Grenzwert kann anschließend eine maximal einleitbarer Regenwasserabflussmenge  $Q_{Ra}$  berechnet werden.

$$Q_{Ra} = Q_{Fa} \cdot \frac{(c_{gw} - c_F)}{(c_R - c_{gw})} \quad (1)$$

Für die akute Betrachtung wird ein statistisch gesehen einmal im Jahr auftretendes Regenereignis als Berechnungsgrundlage verwendet. Einjährige Regenereignisse sind lokal aus langjährigen Regenreihen abgeleitet und werden durch eine Dauerstufe und Intensität charakterisiert. Im R-Paket sind die „Koordinierte Starkniederschlagsregionalisierung und -auswertung des DWD“ (KOSTRA-DWD) hinterlegt, um für sämtliche Deutschen Regionen Regenereignisse definieren zu können. Genauere Informationen zu den Regendaten sind auf der Internetseite des DWD zu finden. Die Dauerstufe ergibt sich aus den Standorteigenschaften und entspricht der Zeit, die das Wasser benötigt, um im Einleitfall durch das Stadtgebiet zu gelangen. In Anlehnung an die DWA-M 102-3 wird dies über eine vereinfachte Abschätzung der Summe aus der Aufenthaltszeit im Kanal und der Fließgewässer erreicht. Eine genaue Beschreibung der Herleitung der Dauer ist in der Dokumentation des R-Pakets enthalten.

Für die Berechnung der maximal einleitbaren Fracht wird vereinfacht davon ausgegangen, dass das Wasservolumen im Fließgewässer innerhalb der Strecke des urbanen Gebiets zur Niederschlagszeit mit dem einfließenden Regenwasserabfluss perfekt durchmischt wird. Unter dieser Annahme ergibt sich für die Konzentration im Fließgewässerabschnitt zum Zeitpunkt  $t$ :

$$c(t) = c_{\infty} + (c_R - c_{\infty})e^{-\frac{(Q_{FE} + Q_R) \cdot t}{V_F}} \quad (2)$$

wobei  $c_R$  die Konzentration im Regenwasserabfluss ist und  $c_{\infty}$  die Konzentration die sich im Fließabschnitt nach unendlich langer Regendauer einstellen würde.  $Q_{FE}$  ist der einjährige natürliche Durchfluss im Gewässer, abgeleitet aus der Eingangsvariable  $Hq\_1pnat\_catch$ ,  $Q_R$  ist der Regenwasserabfluss aus dem gesamten urbanen Gebiet und  $V_F$  ist das Wasservolumen im Fließgewässerabschnitt im Einleitfall. Die Konzentration im perfekt durchmischten Reaktor ist abhängig von der Zeit. Je länger es regnet, desto größer wird der Anteil des Regenwassers im Fließgewässer. Die Menge des eingeleiteten Regenwassers ist wiederum abhängig von der angeschlossenen Fläche. Im Paket wird durch einen Optimierungsalgorithmus numerisch das  $Q_R$  (bzw. die angeschlossene versiegelte Fläche) gesucht, bei dem die Konzentration  $c(t)$  nach der Dauer des charakteristischen Regens möglichst nah an dem Grenzwert liegt. Das Ergebnis ist eine maximal anschließbare Fläche bei definiertem Stadtstrukturmix, aus der eine maximal einleitbare Schadstofffracht abgeleitet wird.

Die Konzentration im Regenwasser ist abhängig von dem Stadtstrukturmix des urbanen Gebiets. In Tabelle 4 sind die Konzentrationen im Regenwasserabfluss der einzelnen Stadtstrukturtypen aufgelistet, die als Berechnungsgrundlage dienen. Es kann wahlweise mit Mittelwerten (Median) oder Worst-Case (95. Quantil) gerechnet werden.

**Tabelle 4 Schadstoffkonzentration im Regenwasserabfluss der Stadtstrukturtypen**

Substance	Unit	Wohngegend außerhalb		Wohngegend Innenstadt		Industrie und Gewerbe		Hauptverkehrsstraße		
		Med	Q95	Med	Q95	Med	Q95	Med	Q95	
<b>Abfiltrierbare Stoffe</b>	AFS <sub>63</sub>	mg/L	26	100	26	100	26	100	26	100
<b>PAK</b>	Benzo(a)pyren	ug/L	0,012	0,083	0,034	0,34	0,05	0,18	0,16	0,59
	Benzo(b)fluoranthen	ug/L	0,057	0,16	0,098	0,43	0,16	0,34	0,34	0,61
	Benzo(g,h,i)perylen	ug/L	0,013	0,07	0,025	0,22	0,044	0,15	0,11	0,31
	Benzo(k)fluoranthen	ug/L	0,01	0,057	0,022	0,21	0,032	0,2	0,11	0,46
	Fluoranthen	ug/L	0,081	0,32	0,18	1,4	0,34	0,98	0,76	2,9
<b>Phthalat</b>	Diethylhexyl-phthalat	ug/L	0,52	2	0,69	2,4	1,6	3,7	2	11
<b>Biozid</b>	Mecoprop	ug/L	0,2	1,3	0,44	2,1	0,16	0,98	0,02	0,02
<b>Nährstoff</b>	Gesamt-Phosphor	mg/L	0,45	1,1	0,36	0,96	0,22	0,76	0,58	1,8
	Orthophosphat	mg/L	0,14	0,43	0,04	0,22	0,03	0,21	0,04	0,084
<b>Schwermetall</b>	Kupfer gelöst	ug/L	50	100	14	61	110	150	14	28
	Zink gelöst	ug/L	200	400	270	550	960	2500	100	200

Es gibt zwei Fälle, bei denen eine Berechnung der maximalen Einleitfracht nicht durchgeführt wird:

1. Liegen sowohl die Konzentration im Fließgewässer als auch die Konzentration im Regenwasserabfluss oberhalb des Grenzwertes, sollte eine weitere Stoffbelastung vermieden werden, obwohl der Regenwasserabfluss nicht die alleinige Ursache für die erhöhten Werte ist.
2. Ist hingegen die Konzentration im Regenwasserabfluss geringer als der Grenzwert, ergibt sich keine Limitierung für den Anschluss an eine Trennkanalisation unabhängig von der Vorbelastung des Fließgewässers.

Die Ergebnisdarstellung pro Substanz soll im Folgenden kurz erläutert werden.

### **Substance**

Der Name der Substanz, um die es geht

### **Unit for loads**

Die verwendete Einheit für die Einleitfracht

### **Description**

An dieser Stelle können drei unterschiedliche Sätze stehen.

1. „... might be a constraint for the implementation of separate sewers in the planning area.“ In diesem Fall liegt die Konzentration im Fließgewässer unterhalb und die Konzentration im Regenwasserabfluss oberhalb des Grenzwertes
2. „... does not pose any high risk for the surface water“. In diesem Fall ist die Konzentration im Regenwasserabfluss unterhalb des Grenzwertes.
3. „Prevent ... from entering the surface water. Upstream concentration is already too high and stormwater runoff increases the risk“. In diesem Fall liegen beide Konzentrationen (Fließgewässer und Regenwasserabfluss) oberhalb des Grenzwertes

Ob es sich bei der untersuchten Substanz um eine Gefährdung für das Gewässer handeln kann, wird über die potentielle Regenwasserabflusskonzentration ermittelt, die sich ergeben würde, wenn alle Flächen im urbanen Gebiet an die Trennkanalisation angeschlossen wären.

***Currently connected area ha, Currently connected area %***

Die zur Zeit angeschlossene Fläche im gesamten Stadtgebiet in ha bzw. in % der gesamten urbanen Fläche.

***Currently discharged pollutant***

Die zur Zeit eingeleitete Stofffracht in das Fließgewässer aus dem gesamten urbanen Gebiet. Diese Fracht wurde berechnet mit dem Stadtstrukturmix, der derzeit an die Trennkanalisation angeschlossen ist.

***Connectable area mix ha (urban area), Connectable area mix %, Connectable area mix ha (planning area)***

Die maximal anschließbare Fläche aus dem gesamten urbanen Gebiet in ha bzw. in % bezogen auf die gesamte urbane Fläche. Die Fläche wurde außerdem auf das Planungsgebiet herunterskaliert und in ha ausgegeben. Die anschließbaren Flächen wurden berechnet mit dem Stadtstrukturmix, der vorläge, wenn alle Strukturtypen gleichermaßen an die Trennkanalisation angeschlossen wären. Die Prozentzahl bezieht sich auf die gesamte urbane Fläche ohne den Strukturtyp „no\_runoff“.

***Tolerable pollutant load mg (urban area)***

Die maximale einleitbare Stofffracht aus dem gesamten Urbanen Gebiet in das Fließgewässer. Diese wurde direkt aus der maximal anschließbaren Fläche „Connectable area mix ha (urban area)“ berechnet.

***Tolerable pollutant load mg (planning area), Scaled tolerable pollutant load mg (planning area)***

Zwei Werte für die maximal einleitbare Stofffracht aus dem Planungsgebiet. Die Unterscheidung beider Zahlen wird vor allem dann interessant, wenn bisher ein geringer Teil des urbanen

Gebiets an eine Trennkanalisation angeschlossen ist. Während die „Tolerable pollutant load mg (planning area)“ die Differenz aus maximal einleitbarer Stofffracht aus dem gesamten Urbanen Gebiet und der zur Zeit eingeleiteten Stofffracht zeigt, wird die einleitbare Stofffracht aus dem Gesamtgebiet bei der zweiten Kennzahl flächenproportional herunterskaliert. Welche Zahl man als Vergleichsgröße während dem zweiten Planungsschritt verwenden möchte hängt davon ab, ob das Planungsgebiet als Teil des gesamten Gebiets überproportional viel einleiten darf oder nicht. Hierbei spielen umliegende Planungen des Gesamtgebiets eine große Rolle. Wird die einleitbare Fracht hingegen herunterskaliert, dann ist man von diesen weiteren Planungen unabhängig in der Bewertung.

Basierend auf den beiden Kennwerten zur maximalen Eintragsfracht aus dem Planungsgebiet werden außerdem maximal anschließbare Flächen pro Strukturtyp ausgegeben. Das ist hilfreich, um die Zahl besser interpretieren zu können. Während die Bedeutung einer Eintragsfracht von  $x$  mg pro Regenereignis schwierig einzuschätzen ist, zeigt die anschließbare Fläche klar, welche Stoffe hier problematisch werden können.

### 3. Szenarienrechnung im Planungsgebiet

Im Rahmen von R2Q wurde mit der Funktionstabelle der lokal-funktionalen Bewertung (Kapitel 2.3) ein Instrument entwickelt, mit dem Flächen unterschiedliche Funktionen zugeordnet werden können. Eine Fläche kann dabei auch die Funktion einer Schadstoffquelle oder -senke einnehmen. Wurden Schadstoffe im ersten Schritt als problematisch identifiziert, sollten in der weiteren Planung möglichst wenig Flächen mit Quellenfunktion für diese Schadstoffe an eine Trennkanalisation angeschlossen werden ohne weitere Behandlung.

Die Detailplanung kann im R-Paket in die Immissionsbewertung integriert werden. Dadurch können Szenarien aufgrund der Flächenfunktionen auf Zielerreichung geprüft werden. Hierzu gibt es eine weitere Eingabemaske, bei der die geplanten Flächen von Gebäuden, Höfen und Straßen eingetragen werden können. Zusätzlich zur Fläche kann angegeben werden wieviel Prozent bezüglich der betrachteten Schadstoffgruppen aus dem Regenwasserabfluss entfernt werden, falls es eine Behandlung gibt. Wie bereits bei der Eingabe der Stadtstrukturtypen gibt es hier bereits Vorschläge für die  $f_D$ -Werte. Sie können jedoch auch manuell angepasst werden. Die zur Auswahl stehenden Flächen orientieren sich an den Flächen, die im Rahmen der Funktionstabelle für mindestens eine der Schadstoffgruppen als Quelle dienen.

f_id	primary_function	characaterisation 1	characaterisation 2	characaterisation 3	fd	area_m2	pah	Treatment in % (either average removal or area with complete removal)					
								nutrients	heavy metals	biocides	suspended_solids	phthalate	
1	Residential Building	in high traffic area	Zinc roof		1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Residential Building	in high traffic area	Green roof	With biocides / unknown	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Residential Building	in high traffic area	Green roof	Without biocides	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Residential Building	in high traffic area	Bitumen roof	With biocides / unknown	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0
5	Residential Building	in high traffic area	Bitumen roof	Without biocides	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0
6	Residential Building	in high traffic area	Tiles, glas, other metal roof		1	0	0	0	0	0	0	0	0
7	Residential Building	in low traffic area	Zinc roof		1	0	0	0	0	0	0	0	0
8	Residential Building	in low traffic area	Green roof	With biocides / unknown	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0
9	Residential Building	in low traffic area	Green roof	Without biocides	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0
10	Residential Building	in low traffic area	Bitumen roof	With biocides / unknown	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0
11	Residential Building	in low traffic area	Bitumen roof	Without biocides	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0
12	Residential Building	in low traffic area	Tiles, glas, other metal roof		1	0	0	0	0	0	0	0	0
13	Commercial/Industrial Building	in high traffic area	Zinc roof		1	0	0	0	0	0	0	0	0
14	Commercial/Industrial Building	in high traffic area	Green roof	With biocides / unknown	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0
15	Commercial/Industrial Building	in high traffic area	Green roof	Without biocides	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0
16	Commercial/Industrial Building	in high traffic area	Bitumen roof	With biocides / unknown	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0
17	Commercial/Industrial Building	in high traffic area	Bitumen roof	Without biocides	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0
18	Commercial/Industrial Building	in high traffic area	Tiles, glas, other metal roof		1	0	0	0	0	0	0	0	0
19	Commercial/Industrial Building	in low traffic area	Zinc roof		1	0	0	0	0	0	0	0	0
20	Commercial/Industrial Building	in low traffic area	Green roof	With biocides / unknown	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0
21	Commercial/Industrial Building	in low traffic area	Green roof	Without biocides	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0
22	Commercial/Industrial Building	in low traffic area	Bitumen roof	With biocides / unknown	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0
23	Commercial/Industrial Building	in low traffic area	Bitumen roof	Without biocides	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0
24	Commercial/Industrial Building	in low traffic area	Tiles, glas, other metal roof		1	0	0	0	0	0	0	0	0
25	Yard	in high traffic area	Without gaps		0.9	0	0	0	0	0	0	0	0
26	Yard	in high traffic area	Open gaps		0.5	0	0	0	0	0	0	0	0
27	Yard	in low traffic area	Without gaps		0.9	0	0	0	0	0	0	0	0
28	Yard	in low traffic area	Open gaps		0.5	0	0	0	0	0	0	0	0
29	Street	High traffic			0.9	0	0	0	0	0	0	0	0
30	Street	Medium traffic			0.9	0	0	0	0	0	0	0	0
31	Street	low traffic			0.9	0	0	0	0	0	0	0	0
32	Street	very low traffic			0.9	0	0	0	0	0	0	0	0

Abbildung 6 Dateieingabe für die Detailplanung

Für alle Flächen außer den Straßen selbst wird auf erster Ebene unterschieden, ob es sich um eine Fläche in einer verkehrsreichen oder verkehrsarmen Gegend handelt. Anschließend werden die Höfe nur noch nach Durchlässigkeit unterschieden. Für Gebäude ist hingegen die Dachart und eine eventuelle Imprägnierung des Dachs mit Bioziden entscheidend. Straßen werden nach ihrer Verkehrsdichte in hoch (> 15 000 KFZ/Tag), mittel (2 000 < KFZ/Tag ≤ 15 000), gering (300 < KFZ/Tag ≤ 2 000) und sehr gering (< 300 KFZ/Tag) eingeteilt.

Die Schadstoffkonzentration im Regenwasserabfluss der einzelnen Flächen sind im R-Paket hinterlegt und basieren ebenfalls auf einer Auswertung der OgRe-Daten. Eine detaillierte Beschreibung befindet sich in der Dokumentation des R-Pakets.

Aus dem Flächenmix wird wie bereits mit dem Strukturtypmix eine gebietstypische Regenwasserabflusskonzentration und darauf aufbauend ein Stoffeintrag berechnet. Dieser Stoffeintrag aus dem Planungsgebiet kann mit dem maximal einleitbaren Stoffeintrag verglichen werden. Durch die schnelle Eingabemöglichkeit können verschiedene Szenarien durchgerechnet werden, in denen bestimmte Flächen abgekoppelt werden oder der Regenwasserabfluss teilweise behandelt wird.

### 2.1.1.4 Überflutung

Angesichts der Starkregenereignisse in den vergangenen Jahren, die mehrfach schwere Überflutungen verursacht und dadurch zu Personenschäden und hohen Sachschäden geführt haben, wurden Bürger und Kommunen für das Thema Überflutung stärker sensibilisiert.

Als eine gemeinschaftliche Aufgabe aller Beteiligten und Betroffenen muss hierbei die Überflutungsvorsorge gesehen werden.

Auf der Basis von z. B. 2D-Oberflächenabflusssimulationen können Gefahren analysiert und in Form von Starkregengefahrenkarten zusammenfassend dargestellt und kommuniziert werden. Die **Starkregengefahrenkarten** stellen somit ein wichtiges **Instrument** für die Überflutungsrisikokommunikation dar. Durch Kenntnis der Gefährdungsbereiche können dann gezielte Vorsorge- und Schutzmaßnahmen ergriffen werden, um mögliche Schäden zu vermeiden bzw. zu vermindern.

Basierend auf dem Merkblatt DWA-M 119 (2016) werden Starkregengefahrenkarten erstellt, die als Grundlage zur Bewertung von Überflutungsrisiken durch Starkregen dienen. Durch eine einheitliche Erarbeitung und Darstellung können die Karten für die BürgerInnen und AnwenderInnen verschiedener Fachbereiche (Stadt-, Raum-, Grünflächen-, GebäudeplanerInnen) als wesentliches Hilfsmittel im Starkregenrisikomanagement behilflich sein.

In den letzten Jahren wurden unterschiedliche Werkzeuge und Methoden zur Ermittlung der Überflutungsgefährdung entwickelt.

Folgende Auswahl enthält dabei die gängigsten und wichtigsten Ansätze:

- GIS-basierte Methoden (Topografische Analyse der Oberfläche) zur Ermittlung von Fließwegen und Geländetiefpunkten
- 2D-hydrodynamische Oberflächenabflussmodelle
- gekoppelte 1D/2D-Überflutungsmodelle

Die oben genannten Modellierungsansätze reichen dabei in ihrer gelisteten Aufführung von einfachen Ansätzen mit kurzen Rechenzeiten (z. B. GIS-basierte Methoden) bis hin zu komplexen Ansätzen mit längeren Simulationszeiten (z. B. hydrodynamische integrierte 1D-2D-Modelle); entsprechend nimmt die Datengrundlage und -aufbereitung in ihrem Umfang zu. Allgemein können folgende Punkte als Datengrundlage für die Gefährdungsanalyse gelistet werden:

- Topografie: hochaufgelöstes digitales Geländemodell (z. B. DGM1),
- Daten zum Entwässerungssystem (Schächte, Haltungen, Wasser-/Abwasserkanäle, Becken/Speicher, Pumpen, Straßeneinläufe etc.),

- Niederschlagsdaten: seltene und außergewöhnliche Starkregenereignisse (Regenschreiberdaten  $\Delta t = 5$  min, Radarregendaten, Modellregen  $T=30$ ,  $T=50$ ,  $T=100$ ),
- Digitale Stadtgrundkarten, Orthofotos, Satellitenbilder,
- Betriebsbeobachtungen zu Überflutungen (über Kanalnetzbetreiber, Feuerwehr),
- Digitale Liegenschaftskataster / Flächennutzung (z. B. ALKIS),
- Daten zu kritischen Infrastrukturen (z. B. Gleisanlagen, U-Bahnzugänge, Kreuzungsbauwerke/Unterführungen),
- Angaben zum Schadenspotential.

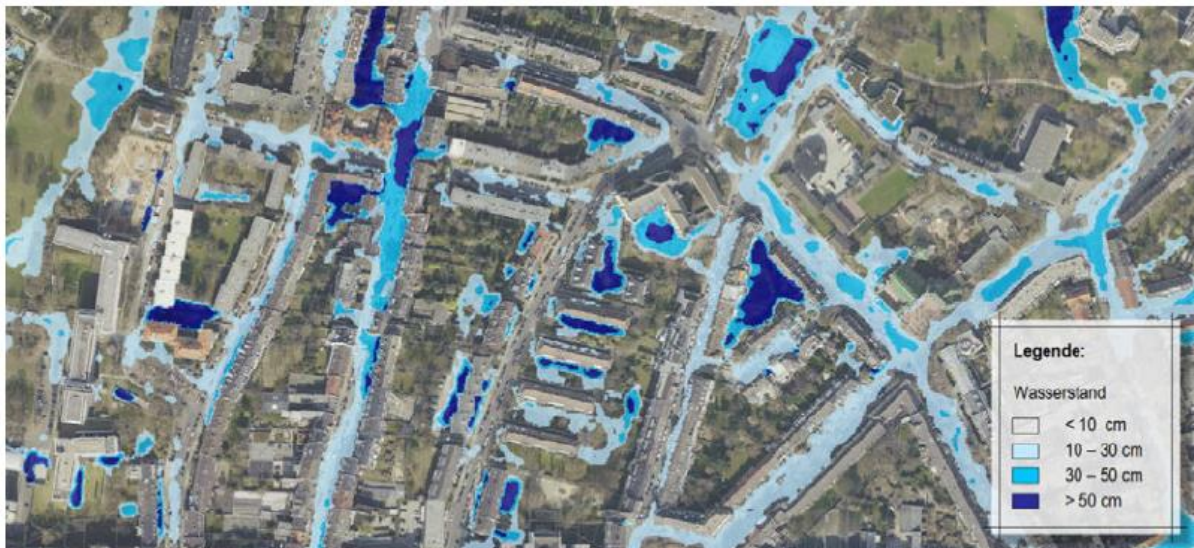
Für die unterschiedlichen Modellansätze steht diverse Software zur Verfügung. Diese wird einerseits kommerziell vertrieben, ist als Open-Source-Software zugänglich oder auch als Free-ware-Produkt nutzbar:

- Auswahl von GIS-Produkten zur topografischen Gefährdungsanalyse:
  - CatchmentSIM, DEMETERR, ESRI ArcGIS, GAT, GRASS, QGIS, SAGA
- Auswahl von 1D-, 2D- und 1D/2D-Softwareprodukten:
  - ANUGA, Delft3D, Flowroute-i TM, HYSTEM EXTRAN 2D, HEC-RAS, HYDRO\_AS-2D, InfoWorks ICM, ISIS 2D, Jabron, JFLOW+, KALYPSO, MIKE 11, MIKE FLOOD, OpenFOAM, SOBEK, Telemac-2D, TUFLOW, TUFLOW FV, WSPWIN, XPSTORM

Die urbanen Gefahrenkarten können mit folgenden, themenspezifischen Darstellungen, je nach Modellansatz, als Grundlage einer Risikoanalyse dienen:

- Fließwege und Senken (GIS-basierte Methode)
- Wasserstände und Fließgeschwindigkeiten auf der Geländeoberfläche (2D)

In Abbildung 7 ist exemplarisch ein Ausschnitt einer Überflutungsberechnung dargestellt. Die Karte zeigt die Überflutungsfläche mit der Überflutungstiefe (in drei Klassen farblich unterteilt), wobei nur Wasserstände größer 10 cm angezeigt werden.



**Abbildung 7 Ergebnisdarstellung zur Überflutungsberechnung mittels 2D-Simulation (Quelle: DWA-M 119 (2016))**

Abbildung 8 zeigt einen Ausschnitt eines stadtgebietsweiten 1D/2D-Modells, bei dem die niederschlagsabhängigen Wasserstände (Überflutungstiefe in vier Klassen) ermittelt wurden. Zusätzlich sind hier die Kanalschächte nach ihren Überstauvolumina farblich klassifiziert dargestellt.



**Abbildung 8 Ergebnis einer 1D/2D-gekoppelten Simulation (Quelle: itwh GmbH)**

Die Karten sind ein Instrument des Werkzeugkastens und können der Bauleitplanung zur Verfügung gestellt werden. Sie dienen als maßgebliche Arbeits- und Entscheidungsgrundlage bei der Planung kombinierter Maßnahmen zur Überflutungsvorsorge im Kanalnetz und auf der Oberfläche. Sie bilden eine gute Informationsbasis für alle Akteure und Betroffenen, vom Bürger und Bauherren bis zum Fachplaner.



### 2.1.1.5 Gekoppelte Straßen- und Kanalsanierungsplanung

Eine integrale Betrachtung der Sanierungsplanung für die Infrastrukturen Straße und Kanal ist sinnvoll, da sich Synergieeffekte im Tiefbau ergeben, wenn eine gemeinsame Sanierung erfolgen kann. Außerdem trägt eine Minimierung der notwendigen Baustellen zur Lärm- und Verkehrsbelastung der Anlieger bei. Um eine integrale Betrachtung machen zu können, sind Kenntnisse über den Zustand der Sparten Straße und Kanal notwendig. Für den Bewertung von Kanalnetzobjekten gibt im europäischen Raum die DIN EN 13508-2 die Rahmenbedingungen vor. Diese wird in Deutschland durch ein nationales technisches Regelwerk der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) mit dem Merkblatt M 149-2 ergänzt. Hier wird beschrieben, wie Bewertungskennzahlen, die eine Dringlichkeit des Sanierungsbedarfs ausdrücken, aufgrund des Schadensbildes des Objektes vergeben werden. Die dort ermittelten Objektklasse geht von Klasse 0 (sofortiger Handlungsbedarf, sehr starker Mangel) bis zur Objektklasse 5 (schadensfrei, kein Mangel). Das in Deutschland ebenfalls gebräuchliche Bewertungssystem nach der Arbeitshilfe Abwasser des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen soll an dieser Stelle nur erwähnt werden. Es unterscheidet sich im Detail, verfügt aber über eine andere Objektklassifizierung, in der die Klasse 5 einen sehr starken Mangel und die Klasse 0 eine Schadensfreiheit bezeichnet. Beiden Systemen verweisen aber lediglich auf die Dringlichkeit einer Sanierung und lassen keine Rückschlüsse auf eine Sanierungsart zu.

Sanierungsarten können in investive und nicht investive Maßnahmen unterteilt werden. Bei nicht investiven Maßnahmen werden punktuelle Reparaturen an den Objekten durchgeführt. Zu den investiven Maßnahmen zählen die Erneuerung und die Inliner-Renovierung von Objekten. Insbesondere die Erneuerung ist in diesem Kontext wichtig, da hier bei dieser Sanierungsart ein Teil der Straße nach der Sanierung wieder hergestellt werden muss. Die endgültige Entscheidung für eine Sanierungsverfahren wird aufgrund von baulichen, hydraulischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten getroffen und ist bisher nicht automatisiert möglich. Das notwendige bauliche Sanierungsverfahren kann durch eine Betrachtung der baulichen Substanz vorgenommen werden. Hierbei werden Schadensbilder zu einer Substanzklasse aggregiert, die eine Tendenz für eine notwendige investive oder nicht investive Sanierung anzeigen kann.

Die Berechnung von Substanzklassen ist bisher noch nicht standardisiert. In dieser Arbeit werden Substanzklassen nach einer Methode berechnet, die im Forschungsprojekt SubKanS erarbeitet wurde (Kerres et al. 2021). Hierbei wird die Abnutzung der Kanalhaltung als gewichtete Schadensdichte errechnet und einer Substanzklasse zugeordnet. Die Substanzklasse kann Werte von 0 bis 5 annehmen, wobei 5 ein vollständig zur Verfügung stehende Substanz

bezeichnet und 0 eine aufgebrauchte Substanz beschreibt, bei der die Haltung in der Regel nur durch eine Erneuerung zu sanieren ist.

Die Zustandserfassung für Straßen kann nach dem Regelwerk der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) erfolgen. Hierbei werden Einzelzustandsgrößen der Straßenbeschaffenheit wie Unebenheiten im Querprofil, Risse oder Schlaglöcher bzw. Oberflächenschäden zur einer Zustandsklasse aggregiert, die Aussage über die Sanierungsbedürftigkeit der Straße trifft. Nach FGSV können für Straßen ebenfalls Substanzklassen ermittelt werden, um ein Erhaltungsmanagement zu etablieren.

Die Sanierungsentscheidung ist von unterschiedlichen Faktoren abhängig, die nur zum Teil technischer Natur sind. So können beispielsweise stadtplanerische Aspekte ebenfalls eine Objektsanierung oder einen Umbau der Kanalinfrastruktur oder der Straße notwendig machen. Diese sind frühzeitig zu identifizieren und mitzudenken.

Zur integralen Betrachtung werden die aufgenommenen Zustands- und Substanzklassen der Sparten Straße und Kanal übereinandergelegt und gemeinsame Sanierungsprioritäten identifiziert. Liegen Haltungen mit einer schlechter Substanzklasse in Straßen, deren Zustand ebenfalls auf ein Sanierungspotenzial schließen lassen, ist eine integrale Sanierung zu prüfen. Hierbei sind weitere Faktoren, wie Lage der Haltung in der Straße, Abschreibungswerte und Möglichkeiten von grabenlosen Sanierungsverfahren wichtige Randbedingungen.

### 2.1.2 Empfehlungen zur Modellauswahl im planerischen Kontext

Müssen im Kontext des RessourcenPlans oder zur Klärung sonstiger planerischer Fragestellungen weitergehende Untersuchungen durchgeführt werden, bestehen bereits zahlreiche Modelle, die für unterschiedliche Aufgaben- und Problemstellungen eingesetzt werden können. Sie unterscheiden sich in Detailschärfe, Komplexität und Datenbedarf.

Um Planer\*innen einen guten Überblick zu geben und die Wahl eines geeigneten Modells zu erleichtern, wurde im Projekt ein Katalog zur Modellauswahl bei unterschiedlichen Aufgaben- und Problemstellungen entwickelt.

Tabelle 5 und Tabelle 6 stellen typische planerische Handlungsfelder für den Siedlungs- und Gewässerkontext zusammen und weisen ihnen geeignete Modell- und Verfahrensansätze zu. Diese werden in Tabelle 7 und Tabelle 8 nähergehend definiert. Die zugehörigen Referenzen werden in Tabelle 9 dargestellt.

**Tabelle 5 Handlungsfelder der wasserwirtschaftlichen Planung und empfohlene Modellwahl – SIEDLUNG**

Handlungsraum			Modellwahl (ID)*					Richtlinie zur Problemfeststellung			
Handlungsfeld	Einzugsgebiet	Objekt	Aufgaben-/ Problemstellung	Leitparameter	empfohlen (+)			Bemerkung	Richtlinie	Referenz**	
					empfohlen (+)	möglich (o)	nicht empfohlen/nicht möglich (-)				
<b>SIEDLUNG</b>											
Berechnung Entwässerungssystem		X	Bemessung von Regenrückhalteräume bei Einzugsgebiet $A_{E,k} \leq 200$ ha, Fließzeiten $t_f \leq 15$ min, Überschreitungshäufigkeit $n \geq 0.1/a$ oder Regenanteil der Drosselabflussspende $q_{Dr,R,u} \geq 2 l/(s \cdot ha)$	V	[1]				DWA A-117	[1]	
		X	Bemessung von Regenrückhalteräume bei Einzugsgebiet $A_{E,k} > 200$ ha, Fließzeiten $t_f > 15$ min, Überschreitungshäufigkeit $n < 0.1/a$ oder Regenanteil der Drosselabflussspende $q_{Dr,R,u} < 2 l/(s \cdot ha)$	Q, h	[3][4]			Auswahl Modell entspr. den örtlichen Gegebenheiten. Bei flachen, rückstaubehafteten Gebieten kann der Einsatz eines hydrodynamischen Modells sinnvoll sein.	DWA A-117	[1]	
		X	Nachweis von Regenrückhalteräumen	Q, h	[3][4]			Auswahl Modell entspr. den örtlichen Gegebenheiten. Bei flachen, rückstaubehafteten Gebieten kann der Einsatz eines hydrodynamischen Modells sinnvoll sein.	DWA A-117	[1]	
		X	X	Neubemessung von Entwässerungsnetzen	Q, h	[2]	[3][4]		Auswahl Modell entspr. dem Bemessungsumfang.	DWA A-118	[2]
		X	X	Nachrechnung bestehender Systeme	Q, h	[3]	[2][4]		Auswahl Modell entspr. den örtlichen Gegebenheiten.	DWA A-118	[2]
		X	X	Berechnung von Sanierungsvarianten	Q, h	[3]	[2][4]		Auswahl Modell entspr. den örtlichen Gegebenheiten.	DWA A-118	[2]
		X	X	Nachweis Überstauhäufigkeit	Q, h	[4]		[2][3]		DWA A-118	[2]
	X	X	Überflutungssicherheit	Q, h	[4]				DWA A-118	[2]	
Emissionsbetrachtung	X	X	emissionsorientierter Nachweis von Jahreseinleitungsfrachten in ein oder mehrere Gewässer im Misch- und Trennsystem	AFS <sub>63</sub> , (CSB, BSB, TKN, NH4-N und P)	[5]	[6]			DWA-A 102-1, DWA-A 102-2	[5][6]	
	X	X	emissionsorientierter Nachweis von Jahresentastungsfrachten in ein oder mehrere Gewässer im Misch- und Trennsystem	AFS <sub>63</sub> , (CSB, BSB, TKN, NH4-N und P)	[5]	[6]			DWA-A 102-1, DWA-A 102-2	[5][6]	
		X	Bereitstellung von Abfluss- und Konzentrationsganglinien im Zulauf zu einer Kläranlage	AFS <sub>63</sub> , (CSB, BSB, TKN, NH4-N und P)	[6]		[5]		DWA-A 102-1, DWA-A 102-2	[5][6]	
Gefährdungsanalyse/ Überflutungsvorsorge	X	X	Überflutungsrisiko	Überflutungsfläche, Überstauvolumen, Wasserstand, Fließgeschwindigkeit, -richtung	[8], [12], [13]	[7], [9], [10], [11]		Eine gestufte Herangehensweise kann sinnvoll sein (z. B. [8] vereinfachte Methode, anschließend [13] detailliertere Betrachtung).	DWA-M 119	[d]	
Detailanalyse Bauwerk		X	Ermittlung von Strömungszuständen	u, v, w, T	[14]				DWA-A 102-1, DWA-A 102-2, DWA-A 166	[5][6][8]	
		X	Ermittlung von hydraulischen Verlusten in Bauwerken	u, v, w, T	[14]				DWA-A 102-1, DWA-A 102-2, DWA-A 166	[5][6][8]	
		X	Untersuchung von Stofftransport und Sedimentation in Regenbecken	u, v, w, T	[14]				DWA-A 102-1, DWA-A 102-2, DWA-A 166	[5][6][8]	
		X	Berechnung von Spülwellen	u, v, w, T	[14]				DWA-A 102-1, DWA-A 102-2, DWA-A 166	[5][6][8]	
Wasserhaushaltsbilanzierung	X		vereinfachter Wasserhaushaltsnachweis nach DWA-A 102-2 bzw. DWA-M 102-4	R <sub>D</sub> , GWN, ET <sub>a</sub>	[15]	[16]			DWA-A 102-2, DWA-M 102-4	[6][7]	
	X		erweiterte Wasserhaushaltsbilanzierung	R <sub>D</sub> , GWN, ET <sub>a</sub>	[16]				DWA-A 102-2, DWA-M 102-4	[6][7]	

\* ID bezieht sich auf Modell- und Verfahrensansatz in Tabelle 7

\*\* Referenz bezieht sich auf Tabelle 9

**Tabelle 6 Handlungsfelder der wasserwirtschaftlichen Planung und empfohlene Modellwahl – GEWÄSSER**

Handlungsfeld	Handlungsraum				Aufgaben-/ Problemstellung	Leitparameter	Modellwahl (ID)*			Richtlinie zur Problemfeststellung		
	stehendes Gewässer		Fließgewässer				empfohlen (+)	möglich (o)	nicht empfohlen/ nicht möglich (-)	Bemerkung	Richtlinie	Referenz**
	klein	groß	klein	groß								
<b>GEWÄSSER</b>												
Stoffliche Belastung von kleinen Fließgewässern (Immissionen)			X		Immissionsorientierte hydrologische Bewertung im Fließgewässer Immissionsorientierte stoffliche Bewertung im Fließgewässer	Q PAK, Schwermetalle, Biozide, Nährstoffe	[17] [17]			R2Q-R-Paket R2Q-R-Paket	DWA-A 102-3 DWA-A 102-3; OGewV	[9][12] [9][12]
Stoffliche Belastung von Gewässern (Emissionen)	x		x		Schadstoffeintrag in ein Gewässer	Diverse Schadstoffe	[18]			OgRe	Diverse Schadstoffsp. Richtlinien	[10][11][12][k][l][m]
Mischungs- und Transportmodell	(x)		x		Mischung und Transport gelöster und suspendierter Stoffe im Gewässer	-	[20,21]			Aquasim, CE-QUAL-W2	-	-
Eutrophierung und Wasserqualität	x		x		Biologische, chemische und physikalische Prozesse in abhängigigkeit des Nährstoff- und Kohlenstoffangebots	P, N, Chlorophyl a, Sichttiefe	[19,20,23]			CE-QUAL-W2, Dyresm-caedym (nur stehende Gewässer), QSim (nur Fließgewässer)	LAWA Trophieklassen	[g][h][12]
Badegewässerhygiene	x		x		Gewässerbelastung im Hinblick auf Badestellen	E.coli, Intestinale Enterokokken				Verknüpfung von Emissionsmodellen und Mischungs- bzw. Transportmodellen	EU Badegewässer-richtlinie	[10]
Modellierung des aquatischen Ökosystems	x		x		Interaktionen zwischen Wasserspezies	Trophie-Abhängigkeiten und Umweltbedingungen	[22]			EcosimR	-	-

\* ID bezieht sich auf Modell- und Verfahrensansatz in Tabelle 7

\*\* Referenz bezieht sich auf Tabelle 9

**Tabelle 7 Übersicht Verfahrens- und Modellansätze – SIEDLUNG**

ID	Verfahren	Verfahrens-/ Modellansatz	weitergehende Informationen*	Ergebnis	Ergebnisparameter	Komplexität Modell-anwendung (einfach, moderat, hoch)	Kosten (keine, moderat, hoch)
<b>SIEDLUNG</b>							
1	Einfaches Verfahren Regenrückhalteanlagen	Vereinfachtes Verfahren zur Bemessung von Regenrückhalteräumen	[1]	erforderliches Volumen der Regenrückhalteanlage	V	einfach	keine
2	Fließzeitverfahren	Zeitbeiwertverfahren	[2][3][3a]	Maximalabfluss im Kanal	$Q_{\text{teil}}/Q_{\text{voll}}$	einfach	keine
3	Niederschlag-Abfluss-Modellierung	Hydrologisches Modell (Übertragungsfunktion)	[2][3][3a]	Abfluss im Entwässerungssystem	Q	moderat	keine-moderat
4	Niederschlag-Abfluss-Modellierung	Hydrodynamisches Modell (Saint-Venant-Gleichung)	[2][3][3a]	Abfluss und Wasserstand im Entwässerungssystem	Q, h	hoch	keine-moderat
5	Schmutzfrachtmodellierung	Schmutzfrachtmodellierung im NA-Modell (Regenwetterabfluss mit KONSTANTER Regenwasserkonzentration)	[3][3a][a]	langfristige Schmutzfracht-Betrachtungen (z.B. Jahresfracht)	AFS63, CSB, BSB, TKN, NH4-N und P	moderat	keine-moderat
6	Schmutzfrachtmodellierung	Schmutzfrachtmodellierung im NA-Modell (Regenwetterabfluss mit VARIABLER Regenwasserkonzentration)	[3][3a][a]	Ereignisabhängig variable Regenwasserkonzentrationen	AFS63, CSB, BSB, TKN, NH4-N und P	hoch	keine-moderat
7	Belastungsunabhängige Gefährdungsanalyse	Topografische Auswertung verfügbarer Karten und Planunterlagen	[4]	Kennzeichnung möglicher Fließwege und überflutungsgefährdeter Örtlichkeiten	$h_{\text{Oberfläche}}$ , qualitativ	einfach	keine
8	Belastungsunabhängige Gefährdungsanalyse	Topografische GIS-Analyse Fließwege und Senken	[4]	qualitative Aussage zur möglichen Ausprägung von Wasseransammlungen in Geländetiefpunkten und Fließwegen	$h_{\text{Oberfläche}}$ , qualitativ	einfach	keine-hoch
9	Belastungsabhängige Gefährdungsanalyse	Hydraulische Analyse Entwässerungssystem (Ergebnisse Generalentwässerungsplanung, Auswertung Überstauberechnung)	[4]	Hinweise auf Netzbereiche besonderer Überflutungsgefährdung (überstaute Schächte, Überstauvolumen, Auslastung der Kanalhaltungen, Schachtwasserstände)	$Q_{\text{kanal}}$ , $h_{\text{Oberfläche}}$ , qualitativ	moderat	keine-hoch
10	Belastungsabhängige Gefährdungsanalyse	Statische Überflutungsberechnung (vereinfachte Überflutungsberechnung)	[4]	Wasserstände in Geländetiefpunkten	$h_{\text{Oberfläche}}$	moderat	keine-moderat
11	Belastungsabhängige Gefährdungsanalyse	Straßenprofilmethode (vereinfachte Überflutungsberechnung)	[4]	Wasserstände in definierten Straßenprofilen, örtliche Wasserübertritte	$h_{\text{Oberfläche}}$	moderat	keine-moderat
12	Belastungsabhängige Gefährdungsanalyse	2D-Überflutungsmodell (Flachwassergleichungen)	[3a][4][b][c][d]	flächendeckende Wasserstände und Fließgeschwindigkeiten an der Oberfläche	$h_{\text{Oberfläche}}$ , $v_{\text{Oberfläche}}$	hoch	keine-hoch
13	Belastungsabhängige Gefährdungsanalyse	Gekoppeltes 1D/2D-Modell (Saint-Venant-Gleichung/ Flachwassergleichungen)	[3a][4][b][c][d]	flächendeckende Wasserstände und Fließgeschwindigkeiten an der Oberfläche, Auslastung der Kanalhaltungen, Schachtwasserstände	$h_{\text{Oberfläche}}$ , $v_{\text{Oberfläche}}$ , $Q_{\text{kanal}}$	hoch	keine-hoch
14	Strömungsmodellierung	CFD (computational fluid dynamics): Detailmodelle auf Grundlage der numerischen Strömungsmechanik (Navier-Stokes-Gleichungen)		Strömungsrichtung, Strömungsgeschwindigkeit, Schubspannungen im dreidimensionalen Raum	$u_x$ , $v_y$ , $w_z$ , $\tau$	hoch	keine-hoch
15	Wasserhaushaltsmodellierung	vereinfachtes Wasserbilanzmodell (z.B. WABILA)	[6][7][e]	Komponenten Direktabfluss $R_D$ , Grundwassererneubildung GWN und Verdunstung $ET_a$ für die kanalisierte Einzugsgebietsfläche $A_{E,K}$	$R_D$ , GWN, $ET_a$	einfach	moderat
16	Wasserhaushaltsmodellierung	erweiterte Wasserhaushaltsbilanzierung mit einem hydrologischen (NA-)Modell	[6][7][e]	Komponenten Direktabfluss $R_D$ , Grundwassererneubildung GWN und Verdunstung $ET_a$ für die kanalisierte Einzugsgebietsfläche $A_{E,K}$ sowie die Einzelflächen	$R_D$ , GWN, $ET_a$	moderat	keine-moderat

\* bezieht sich auf Referenzen in Tabelle 9

Tabelle 8 Übersicht Verfahrens- und Modellansätze – Gewässer

ID	Verfahren	Verfahrens-/ Modellansatz	weitergehende Informationen*	Ergebnis	Ergebnisparameter	Komplexität Modell-anwendung (einfach, moderat, hoch)	Kosten (keine, moderat, hoch)
<b>GEWÄSSER</b>							
17	R2Q-Immissionsmodellierung Regenwasserabfluss	R2Q-Immissionsmodell für kleine Fließgewässer (R-Paket: <a href="https://github.com/KWB-R/r2q">https://github.com/KWB-R/r2q</a> )	[f][9]	Maximal an ein Fließgewässer anschließbare Fläche auf Basis von Schadstoffimmissions und hydrologischer Bewertung. Außerdem ist ein Vergleich verschiedener Planungsszenarien bezüglich der Schadstofffracht möglich.	$A_{\max}$ pro Schadstoff	einfach	keine
18	OgRe-Modell	Landnutzungs-basierte Emissionsberechnung	[u]	Stofffrachten	Diverse Schadstoffe	einfach	keine
19	Dyresm-caedym	Biogeochemische Seemodellierung	[o]	Nährstoff, Chlorophyll und Sauerstoffverläufe in Seen. Das Auftreten von Algenblüten kann simuliert werden.	c(t) von Stickstoff, Phosphor, Chlorophyll (unterschiedliche Algenarten) und Sauerstoff sowie Sichttiefe	moderat	verhandelbar
20	CE-QUAL-W2	CE-QUAL-W2 ist ein Wasserqualitäts- und hydrodynamisches Modell in 2D (longitudinal-vertikal) für Flüsse, Seen, und Flussgebietsysteme.	[o]	W2 modelliert grundlegende Eutrophierungsprozesse wie Temperatur-Nährstoff-Algen-gelöster Sauerstoff-organische Stoffe- und Sedimentbeziehungen.	Chemische und physikalische Wasserqualitätsparameter über die Zeit und den Fläche des Wasserkörpers	hoch	keine bis hoch
21	Aquisim	Verknüpfung unterschiedlicher Gewässerprozessbausteine zur Bildung eines Gesamtmodells. Gewässergütesimulation einschließlich Sensitivitätsanalyse	[p]	Identifikation des besten geeigneten Modells zur Gewässersimulation sowie die Simulation der Gewässergüteparameter	Chemische und physikalische Wasserqualitätsparameter über die Zeit und den Ort des Wasserkörpers	hoch	keine
22	EcosimR	Interaktionen zwischen Wasserspezies	[q]	Trophie-Verknüpfungen in Abhängigkeit der Umweltbedingungen	Biologische und chemische Wasserparameter	hoch	keine
23	QSim	Ein Instrument zur Simulation und Prognose des Stoffhaushalts und der Planktodynamik in Fließgewässern	[w]	Entweder der Verlauf eines Parameters an einer Gewässerstelle über die Zeit, oder der Verlauf zu einem Zeitpunkt über die Fließstrecke	Chemische und physikalische Wasserqualitätsparameter	hoch	keine

\* bezieht sich auf Referenzen in Tabelle 9

Tabelle 9 Referenzen zu den Tabellen 5 bis 8

Referenzen Richtlinien und Verordnungen	
1	DWA (2006) DWA-A 117: Bemessung von Regenrückhalteräumen, Hennef
2	DWA (2006) DWA-A 118: Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen
3	ATV-DVWK (2004) M 165: Anforderungen an Niederschlag-Abfluss-Berechnungen in der Siedlungsentwässerung
3a	DWA (2020) DWA-M 165: Anforderungen an Niederschlag-Abfluss-Berechnungen in der Siedlungsentwässerung (Gelbdruck)
4	DWA (2016) DWA-M 119: Risikomanagement in der kommunalen Überflutungsvorsorge für Entwässerungssysteme bei Starkregen
5	DWA (2020) DWA-A 102-1: Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer, Teil 1: Allgemein
6	DWA (2020) DWA-A 102-2: Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer, Teil 2: Emissionsbezogene Bewertungen und Regelungen für regenwetterabflüsse in Siedlungen
7	DWA (2020) DWA-M 102-4: Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer, Teil 4: Wasserhaushaltsbilanz für die Bewirtschaftung des Niederschlagswassers in Siedlungsgebieten (Entwurf)
8	DWA (2013) DWA-A 166: Bauwerke der zentralen Regenwasserbehandlung und -rückhaltung - Konstruktive Gestaltung und Ausrüstung, Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA)
9	DWA (2021): DWA-A 102-3: Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer – Teil 3: Immissionsbezogene Bewertungen und Regelungen
10	EU (2006) Directive 2006/7/EC of the European Parliament and of the Council of 15 February 2006 concerning the management of bathing water quality and repealing Directive 76/160/EEC. p. 15.
11	EU (2008) DIRECTIVE 2008/105/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on environmental quality standards in the field of water policy. p. 14.
12	BUND (2016) Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung - OGewV). p. 86.
13	Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK) e.V.: Detaillierte Nachweisführung immissionsorientierter Anforderungen an Misch- und Niederschlagswassereinleitungen gemäß BWK - Merkblatt 3 (BWK M7). (2007)
14	Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK) e.V.: Ableitung von immissionsorientierten Anforderungen an Misch- und Niederschlagswassereinleitungen unter Berücksichtigung örtlicher Verhältnisse (BWK M3). (2001)
15	Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute: Abwassereinleitungen in Gewässer bei Regenwetter (STORM): Richtlinie für die konzeptuelle Planung von Massnahmen. (2007)
Referenzen weitergehende Informationen	
a	DWA (2012) AG ES-2-6: Schmutzfrachtsimulation in der Siedlungsentwässerung
b	ATV-DVWK (2004): Bewertung der hydraulischen Leistungsfähigkeit bestehender Entwässerungssysteme. Arbeitsbericht der ATV-DVWK-AG ES-2.1. In: KA Abwasser, Abfall (51), Nr. 1, S. 69–75
c	DWA (2013): Methoden der Überflutungsberechnung. Arbeitsbericht der DWA-Arbeitsgruppe ES-2.6. In: KA Korrespondenz Abwasser, Abfall (60), Heft 6, S. 506–511
d	DWA (2013): Starkregen und urbane Sturzfluten – Praxisleitfaden zur Überflutungsvorsorge. DWA-Themen, T1/2013. DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef
e	DWA (2017) DWA Software: Wasserbilanz-Expert - Handbuch
f	VSA (2022): Aqua Urbanica 2022 Tagungsband "Grün statt Grau" am 14./15. November in Glatfelden, S.116
g	LAWA (2014) Trophieklassifikation von Seen : Richtlinie zur Ermittlung des Trophie-Index nach LAWA für natürliche Seen, Baggerseen, Talsperren und Speicherseen. Kulturbuch-Verlag
h	Riedmüller, U., Hoehn, E., Mischke, U., Deneke, R. & Maier, G. (2013) Ökologische Bewertung von natürlichen, künstlichen und erheblich veränderten Seen mit der Biokomponente Phytoplankton nach den Anforderungen der EU-Wasserrahmenrichtlinie. Abschlussbericht für das LAWA-Projekt-Nr. O 4.10.
i	Dolman, A. M., Mischke, U. & Wiedner, C. (2016) Lake-type-specific seasonal patterns of nutrient limitation in German lakes, with target nitrogen and phosphorus concentrations for good ecological status. Freshwater Biology 61 (4): 444-456
j	Wiedner, C. & Schliep, J. (2016) Stickstofflimitation in Binnengewässern – Ist Stickstoffreduktion ökologisch sinnvoll und wirtschaftlich vertretbar? . p. 48.
k	Wenzel, A., Schlich, K., Shemotiyuk, L. & Nendza, M. (2015) Revision der Umweltqualitätsnormen der Bundes-Oberflächengewässerverordnung nach Ende der Übergangsfrist für Richtlinie 2006/11/EG und Fortschreibung der europäischen Umweltqualitätsziele für prioritäre Stoffe. Umweltbundesamt (UBA)
l	ECHA - European Chemical Agency, European Union Risk Assessment Reports
m	Schudoma (UBA): AF1000 von Perry, C. & Smith, S. (1988) Toxicity of six heterocyclic nitrogen compounds to Daphnia pulex. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 41 (4-6): 604-608.
n	Matzinger, A., Riechel, M. & Caradot, N. (2011) Ammonia toxicity: Impact assessment of combined sewer overflows on the River Spree in Berlin. Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH
o	Rinke, K., Dietzel, A., Elliott, J. A. & Petzoldt, T. (2014) Komplexe dynamische Seenmodelle. Handbuch Angewandte Limnologie: Grundlagen - Gewässerbelastung - Restaurierung - Aquatische Ökotoxikologie - Bewertung - Gewässerschutz
p	Reichert, P. (1994) Aquasim - A tool for simulation and data analysis of aquatic systems. Water Science and Technology 30 (2 pt 2): 21-30
q	Reichert, P. (2019) R-Package 'ecosim' - Toolbox for Aquatic Ecosystem Modeling.
r	Vollenweider, R. A. (1969) Possibilities and limits of elementary models for lake material balances. Archiv für Hydrobiologie 66 1–36
s	Schimmelpfennig, S., Kirillin, G., Engelhardt, C., Nützmann, G. (2012) Effects of wind-driven circulation on river intrusion in Lake Tegel: Modeling study with projection on transport of pollutants. Environmental Fluid Mechanics 12 (4): 321-339
t	EPA. Environment Fluid Dynamics Code (EFDC).
u	Wicke, D., Matzinger, A. & Rouault, P. (2015) Relevanz organischer Spurenstoffe im Regenwasserabfluss Berlins - Abschlussbericht. KWB
v	Firma Fankhauser. Simulationsprogramm zur Abschätzung der Beeinträchtigung der Fließgewässer durch Abwassereinleitungen aus der Siedlungsentwässerung bei Regenwetter. <a href="http://www.rebeka.ch/">http://www.rebeka.ch/</a>
w	Matzinger, A., Fischer, H. & Schmid, M. (2014) Modellierung von biogeochemischen Prozessen in Fließgewässern. Handbuch Angewandte Limnologie: Grundlagen - Gewässerbelastung - Restaurierung - Aquatische Ökotoxikologie - Bewertung - Gewässerschutz

### 2.1.3 Fokus: Modellierung des Wasserhaushalts im Quartier

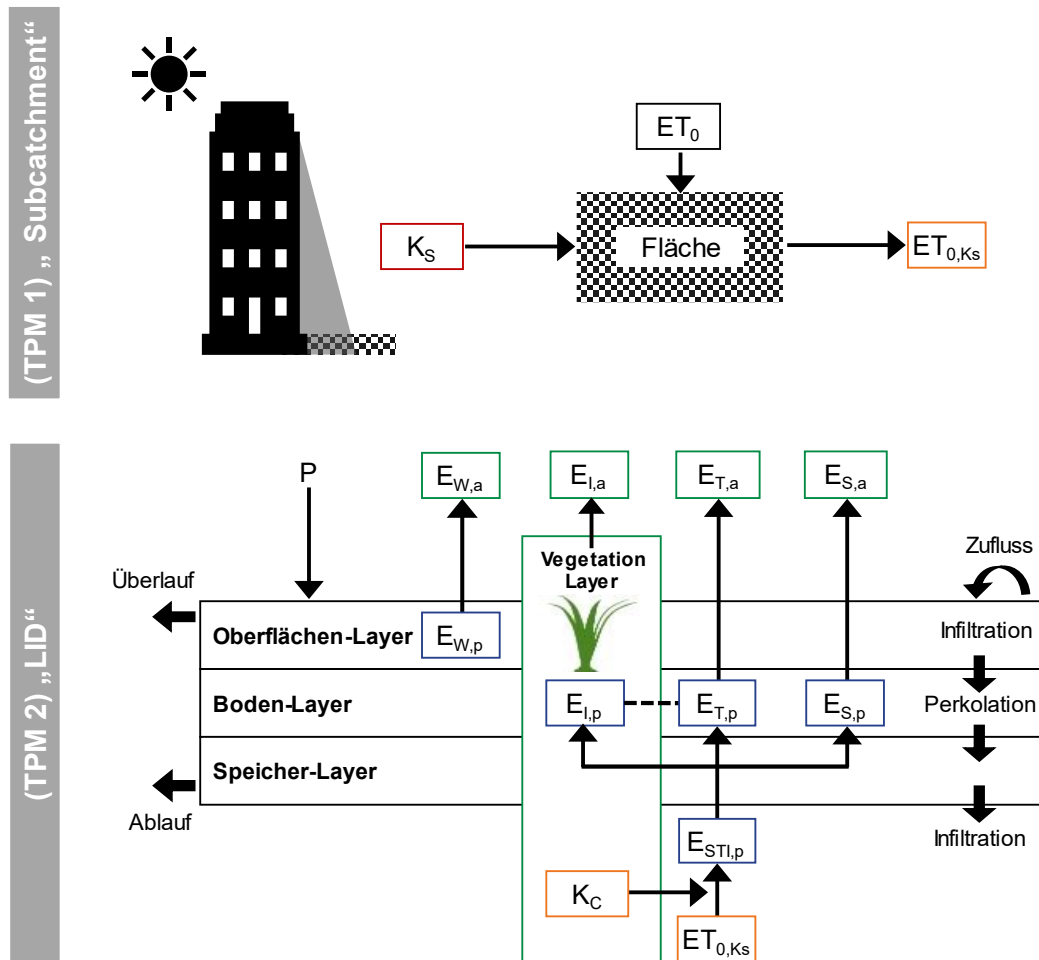
Die Verdunstung ist eine entscheidende Größe in der Wasserhaushalts- und Energiebilanz im städtischen Quartier. Bisher wurde sie in stadthydrologischen Modellen mit sehr vereinfachten Ansätzen abgebildet. In Zeiten der zunehmenden Relevanz von grünen und blau-grünen Infrastrukturen werden diese Ansätze den Ansprüchen einer realitätsnahen Modellierung nicht mehr gerecht.

Im Projekt R2Q wurde aus diesem Grund das Modell „SWMM-UrbanEVA“, das im BMBF-Verbundvorhaben „Wasserhaushalt siedlungsgeprägter Gewässer“ (WASIG) (Förderkennzeichen 033W040C) erstmalig aufgestellt und angewendet wurde, weiterentwickelt und validiert. Das Ziel der Entwicklung war, die Verdunstung als raum-zeitlichen Prozess des urbanen Wasser- und Wärmehaushaltes abzubilden. Damit sollte sowohl die Realitätsnähe verbessert als auch dem Wunsch nach gezielter Verortung verdunstungsfördernder Maßnahmen Rechnung getragen. Die Einbindung erfolgte in das international anerkannte Niederschlag-Abfluss-Modell „Stormwater Management Model“ (SWMM, Rossman (2015)), um einen schnellen Transfer und Arbeiten zur weiteren Validierung und Qualitätssicherung zu ermöglichen.

SWMM-UrbanEVA verfügt über zwei Teilprozessmodelle (TPM). Abbildung 9 gibt dazu einen guten Überblick. TPM 1 berücksichtigt die Minderung der potentiellen Evapotranspiration aufgrund von Beschattungseffekten durch die umliegende Bebauung oder Großvegetation. Die standortspezifische potentielle Evapotranspiration  $ET_{0,K_S}$  wird mit Hilfe eines orts- und zeitvariablen Beschattungsfaktors  $K_S$  aus der potentiellen Evapotranspiration  $ET_0$  einer Referenzstation berechnet. Um den Einfluss auf unbefestigte und befestigte Flächen berücksichtigen zu können, erfolgt die Abminderung von  $ET_0$  auf Ebene der Einzugsgebietsflächen („subcatchments“).

TPM 2 beinhaltet den Verdunstungsansatz für Vegetationsflächen, um verschiedene Maßnahmen der blau-grünen Infrastruktur konsistent abbilden zu können. Das bestehende Dreischichtsystem des LID (Oberfläche - Boden - Speicher) dient zur Modellierung des Infiltrations- und Perkulationsprozesse in Abhängigkeit bodenphysikalischer Parameter. Es wird durch einen neuen Vegetationslayer ergänzt. Mit dem Cropfaktor  $K_C$  kann die lokale potenzielle Evapotranspiration  $ET_{0,K_S}$  an die anstehende Vegetation angepasst werden.





**Abbildung 9** Zweistufiges Modellkonzept SWMM-UrbanEVA, verändert nach Rossman und Huber (2016)

Im Quartierskontext ermöglicht die beschriebene Modellierung die Unterscheidung unterschiedlicher System- und Bewirtschaftungskonfigurationen. Die Auswertung der Einflussnahme der Beschattung (i) wird als Modellparameter den einzelnen Hydrotopen zugeordnet (ii). Durch die Wahl unterschiedlicher blau-grüner Infrastrukturen sowie Bewirtschaftungselementen (iii), kann die hydrologische Wirkung im Modell hydrotopscharf abgebildet werden (iv).

Die vollständige Integration beider TPM in SWMM ermöglicht die integrierte Betrachtung von grünen und blau-grünen Infrastrukturen als Teil des Entwässerungssystems. Dezentrale Maßnahmen können simultan mit den zentralen Anlagen (Kanal, Becken u. ä.) betrachtet werden. Damit wird ein praxisausgerichtetes Modell bereitgestellt, das sowohl die einfache Anwendung im planerischen Kontext ermöglicht als auch die ausreichend realitätsnahe Abbildung blau-grüner Infrastrukturen sicherstellt.

Im Rahmen des Projekts R2Q wurde das TPM 1 ergänzt. Das TPM 2 bestand bereits aus dem vorherigen Forschungsvorhaben. Darüber hinaus fand eine ausführliche Validierung beider TPM statt. Nähere Informationen können Hörnschemeyer et al. (2021a) entnommen werden. Gegenstand aktueller Forschungsarbeiten ist die weitergehende Parametrisierung von Vegetationselementen im urbanen Kontext.

## 2.2 Entscheidungsunterstützung zur Aufstellung wasserwirtschaftlicher Transformationsplanungen

Der RessourcenPlan greift insbesondere in der Phase der Strategiefindung in die kommunalen Prozesse ein. In dieser Phase müssen der Transformationsbedarf identifiziert und passende Transformationsplanungen aufgestellt werden, die teils nur mit langen Umsetzungshorizonten versehen sind. Eine detaillierte Objektplanung ist deshalb explizit nicht zielführend. Zur vereinfachten Aufstellung solcher Planungen wurde im Projekt R2Q eine Entscheidungsunterstützung entwickelt, die die Wahl von Maßnahmenkombinationen für das gesamte Quartier ermöglicht. Es werden die jeweiligen Restriktionen und Potentiale im Planungsgebiet erfasst und Planungsvarianten erstellt. Betrachtet werden zum einen *private Flächen* anhand von städtebaulichen Strukturen, verschiedenen Nutzerstrukturen und Versiegelungsgraden. Zum anderen werden Konzepte zu *den öffentlichen Flächen* analysiert.

Das Verfahren ist geodatenbasiert und lässt sich automatisieren. Die vollständige Dokumentation der Entscheidungsunterstützung ist in Anhang 1 hinterlegt.

### 2.2.1 Private Flächen

Die Erarbeitung der Transformationsplanung privater Flächen erfolgt geodatenbasiert in mehreren Teilschritten (Abbildung 10). Das Verfahren basiert auf der Zuordnung von Flurstücken zu städtebaulichen Strukturen (1). Davon ausgehend werden Umsetzungspotentiale für die RWB-Maßnahmen definiert, die einen Abgleich mit lokalen Bedarfen und Restriktionen beinhalten (2). Die Festlegung von Flurstücks-scharfen Konzepten (3) kann dann auf das gesamte Quartier projiziert werden (4).

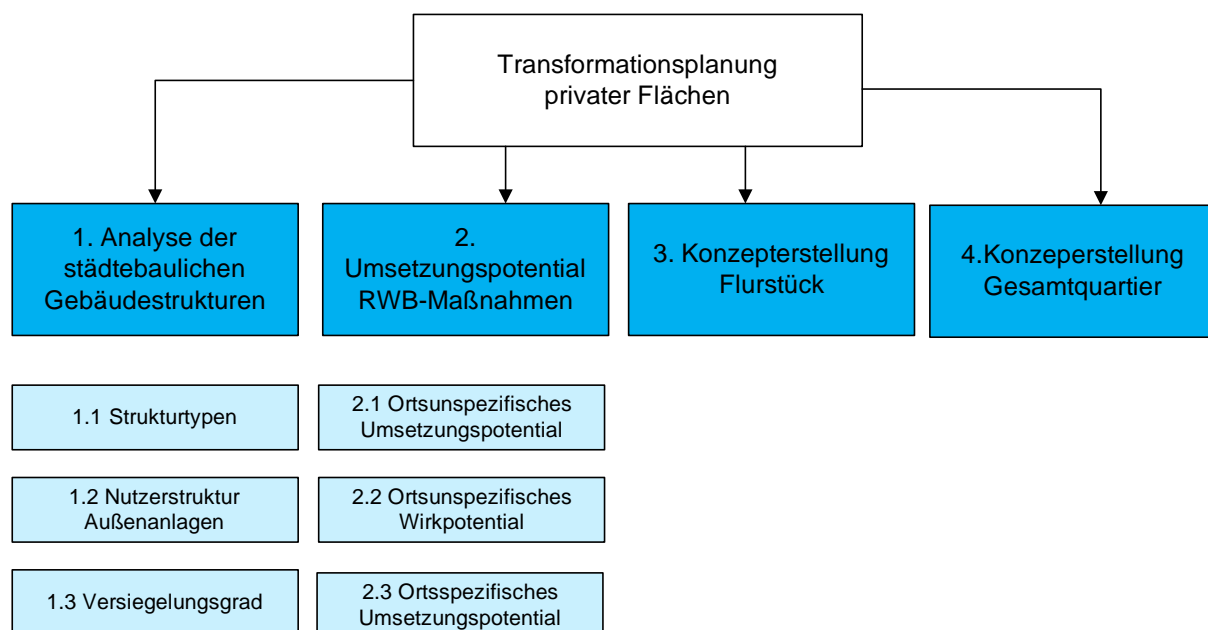


Abbildung 10 Prozessschritte zur Transformationsplanung privater Flächen

### Schritt 1: Analyse von städtebaulichen Strukturen

Im ersten Schritt wird das Planungsgebiet mithilfe der Analyse von städtebaulichen Strukturen in verschiedene Klassen untergliedert. Die Unterteilung erfolgt vollständig geodatenbasiert auf Grundlage von öffentlich zugänglichen Geodaten (ALKIS) sowie manuellen Auswertungen. Die Analyse erfolgt in drei Teilschritten, die in Abbildung 11 illustriert werden.

Zuerst wird das Gebiet hinsichtlich markanter Strukturtypen (1.1) klassifiziert. Unterschieden werden freistehende und nicht freistehende Einfamilienhäuser. Zu letzteren zählen auch alle weiteren Einfamilienhausbauten, wie Doppelhäuser und Reihenhäuser. Gebäude, die nicht frei auf dem Grundstück stehen, sondern sich an mindestens einer Gebäudeseite ein weiteres Gebäude anreihet, werden bei dieser Analyse zusammen betrachtet. Weiterhin werden der Geschosswohnungsbau und eine Sonderform dessen, die Punkthäuser, differenziert.

Anschließend werden die jeweiligen Nutzerstrukturen der Außenanlagen (1.2) analysiert. Betrachtet wird hier, ob die Grünflächen in privater oder gemeinschaftlicher Nutzung sind. Die Freiflächen eines Mehrfamiliengebäudes können auch der separierten Nutzung unterliegen und nur einzelnen Wohneinheiten zur Verfügung stehen.

Zuletzt wird für jedes Flurstück anhand der vorliegenden Geoinformationsdaten der Versiegelungsgrad (1.3) bestimmt. Auf dessen Grundlage sowie den Ergebnissen aus den vorherigen Teilschritten werden die Grundstücke in acht unterschiedliche Klassen untergliedert. Im Einfamilienhausbau liegen die Klassengrenzen hinsichtlich des Versiegelungsgrades lediglich bei 25% und 50%. Dahingegen sind die Grenzen im Geschosswohnungsbau aufgrund der dichteren Bebauung bei 60%. Eine Untergliederung der Punkthäuser in weitere Klassen ist für die Umsetzung verschiedener Maßnahmen nicht notwendig.

Gebäudestrukturen, die sich nicht innerhalb dieses Schema eingliedern lassen, werden gemäß Tabelle 10 den Klassen 10 und 20 zugeordnet.

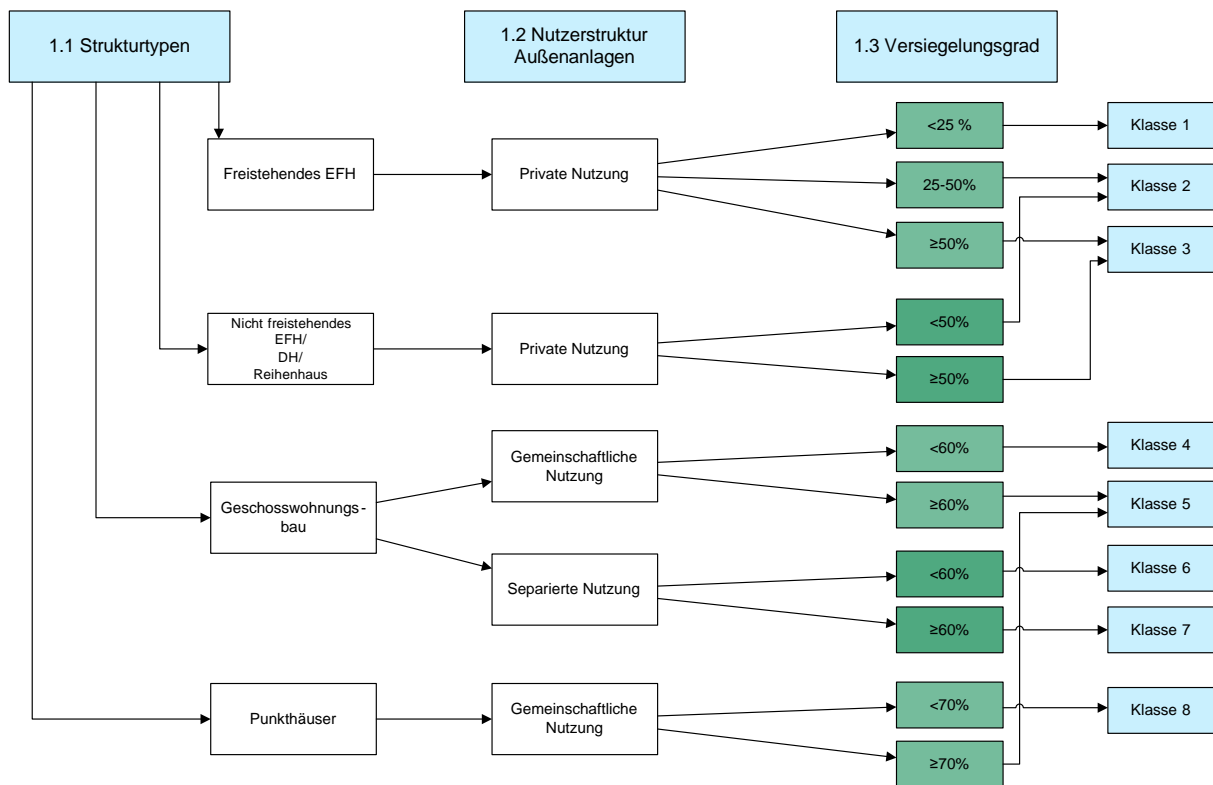


Abbildung 11 Konzeptionelle Darstellung des Vorgehens zur Klasseneinteilung

Tabelle 10 Sonderbauten (Klasse 10 + 20)

Klassen der Sonderbauten	Art
<b>Klasse 10</b>	Gebäude der Bildung, Forschung, Soziales, Kultur, Religion (u.a. auch Friedhofsgebäude), Sport, Freizeit, Erholung
<b>Klasse 20</b>	Gebäude der Industrie, Gewerbe

Schritt 2: Umsetzungspotential Maßnahmen Regenwasserbewirtschaftung

Nach ausreichender Analyse der städtebaulichen Strukturen wird im zweiten Schritt analysiert, welche Maßnahmen sich für die verschiedenen Strukturklassen in Abhängigkeit der örtlichen Situation festlegen.

Zunächst werden die ortsunspezifischen Umsetzungspotentiale (2.1) der Maßnahmen in den verschiedenen Strukturklassen festgestellt (Abbildung 12, links). Den Potentialabschätzungen liegen Indikatoren wie u.a. Flächenverfügbarkeiten, Versiegelungsgrade, Eigentumsverhältnisse sowie Fragestellungen der Akzeptanz zugrunde. Damit wird für die jeweilige Strukturklasse ein infrage kommendes Maßnahmenset definiert.

Im nächsten Schritt (2.2) wird die Maßnahmenpriorisierung weitergehend durch den Abgleich der ortsunspezifischen Wirkpotentiale mit den lokalen Bedarfen eingegrenzt (Abbildung 12, links). Zu den Bedarfen zählen soziokulturelle und regulative Ökosystemleistungen sowie der mögliche Behandlungsbedarf des Regenwassers, die Koordination und die Multifunktionalität.

Je nach favorisiertem Zieleffekt kann der Nutzer Maßnahmen selektieren, die beispielsweise die Verdunstung erhöhen, aber gleichzeitig einen hohen Bedienkomfort gewährleisten.

Zuletzt erfolgt für die ausgewählten Maßnahmen die Überprüfung der ortsspezifischen Umsetzungspotentiale (2.3, Abbildung 13) im Planungsgebiet. Hierzu gehören Aspekte wie die Dachform, die Geländeneigung, der Grundwasserflurabstand, die Durchlässigkeit des Bodens sowie die Flächenverfügbarkeit.

Die ausführlichen Entscheidungsbäume der Arbeitsschritte 2.1 bis 2.3 befinden sich im Anhang 1.1 bis Anhang 1.3.

### Schritt 3: Konzepterstellung Flurstück

Sind örtlichen Voraussetzungen gegeben, kann im dritten Schritt, unter Beachtung der vorherigen Ergebnisse, entsprechend Abbildung 14 eine Planungsvariante für die verschiedenen Klassen auf Flurstücksebene erstellt werden. Flurstücke mit gleichen ortsspezifischen Eigenschaften (Boden, Dach etc.) können dabei zusammengefasst werden.

### Schritt 4: Konzepterstellung Gesamtquartier

Im letzten Schritt werden geeignete Maßnahmenkombinationen für alle Flurstücke des Quartiers zusammengestellt (Abbildung 15). Hierbei liegt ein besonderer Fokus auf der Prüfung der Plausibilität und Machbarkeit im gesamtplanerischen Kontext des Quartiers. Zudem sollen planerische Zielgrößen, z.B. aus dem RessourcenPlan erreicht werden. Anderenfalls muss bei der Auswahl der Maßnahmen nachjustiert werden.

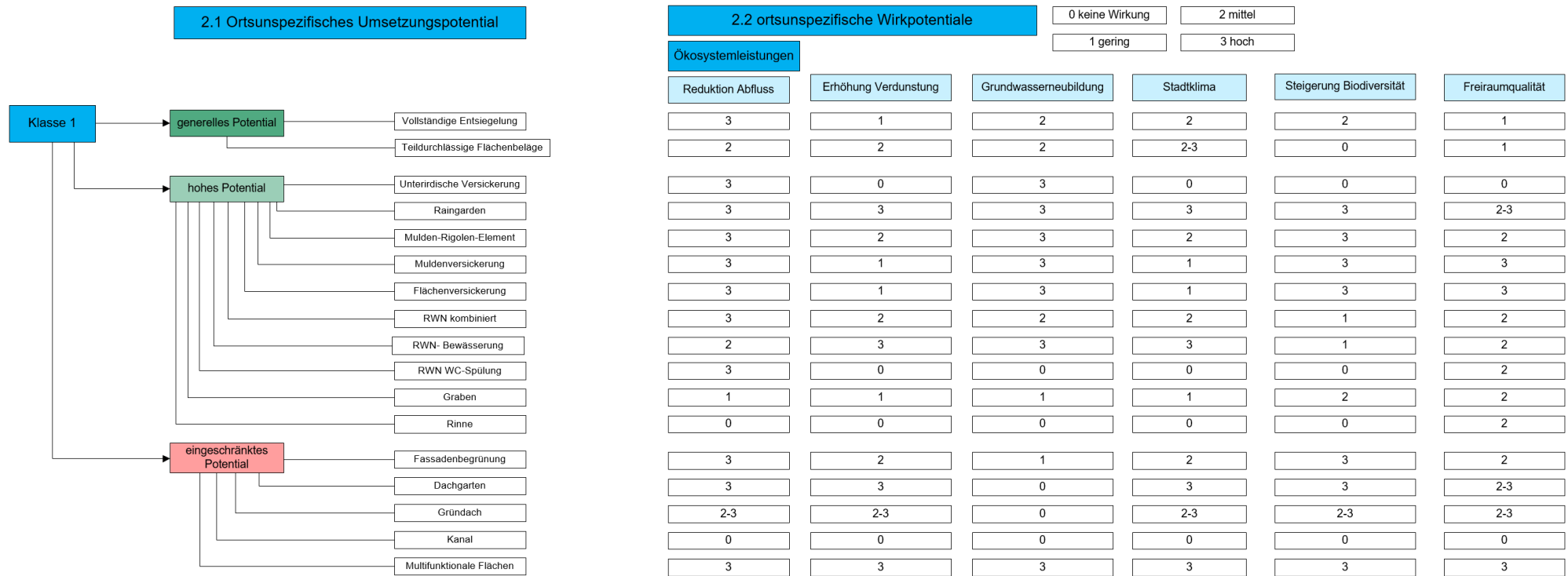


Abbildung 12 Exemplarische Darstellung für die Strukturklasse 1. links: Ortsunspezifische Umsetzungspotentiale unterschiedlicher Maßnahmen für die jeweilige Strukturklasse (2.1); rechts: Wirkpotentiale der Maßnahmen hinsichtlich verschiedener Indikatoren zum Abgleich mit lokalen Anforderungen (2.2)

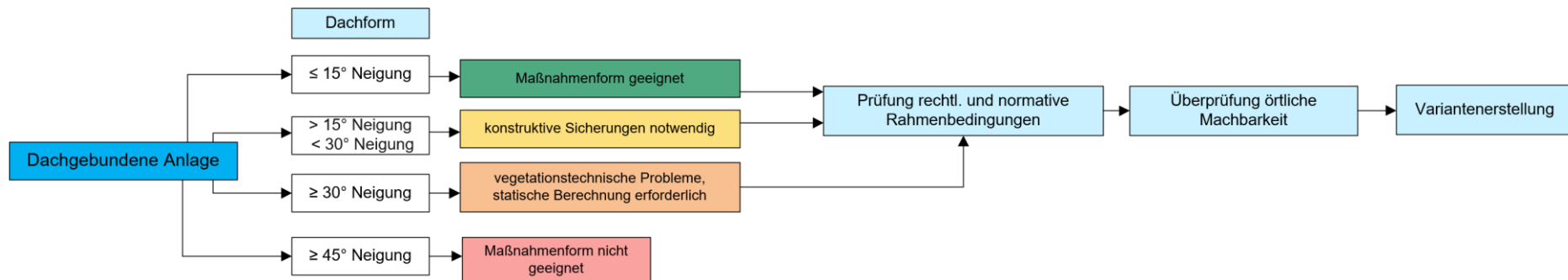


Abbildung 13 Exemplarische Darstellung der ortsspezifischen Umsetzungspotentiale für dachgebundene Anlagen

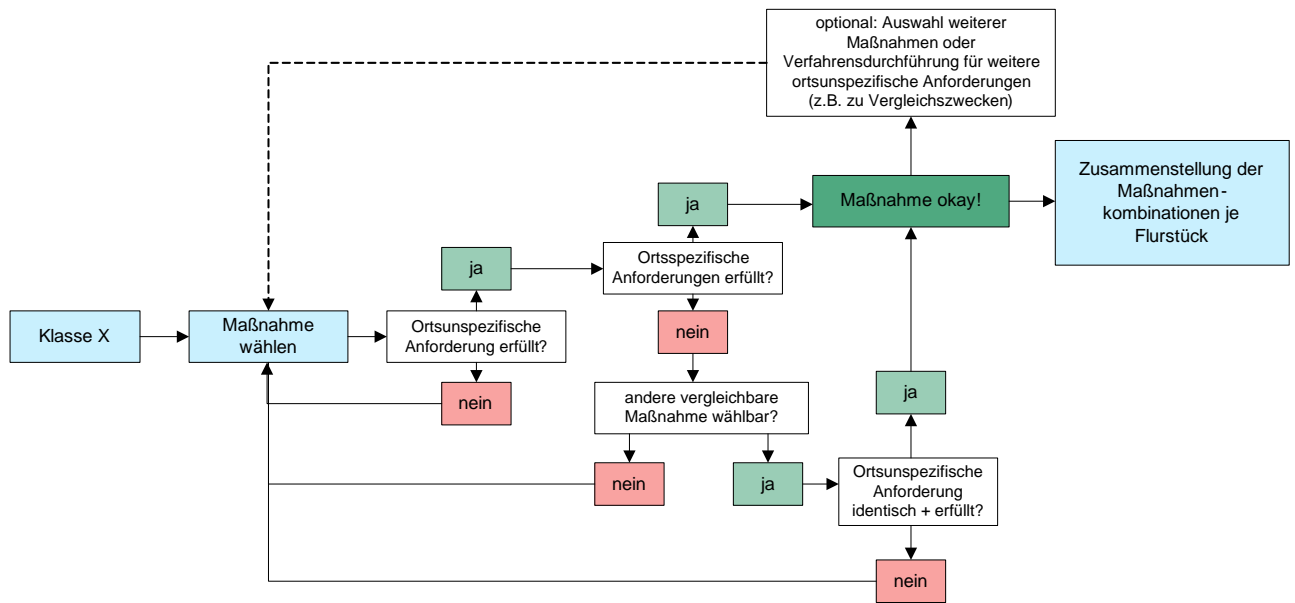


Abbildung 14 Ablaufdiagramm Schritt 3: Konzepterstellung Flurstück

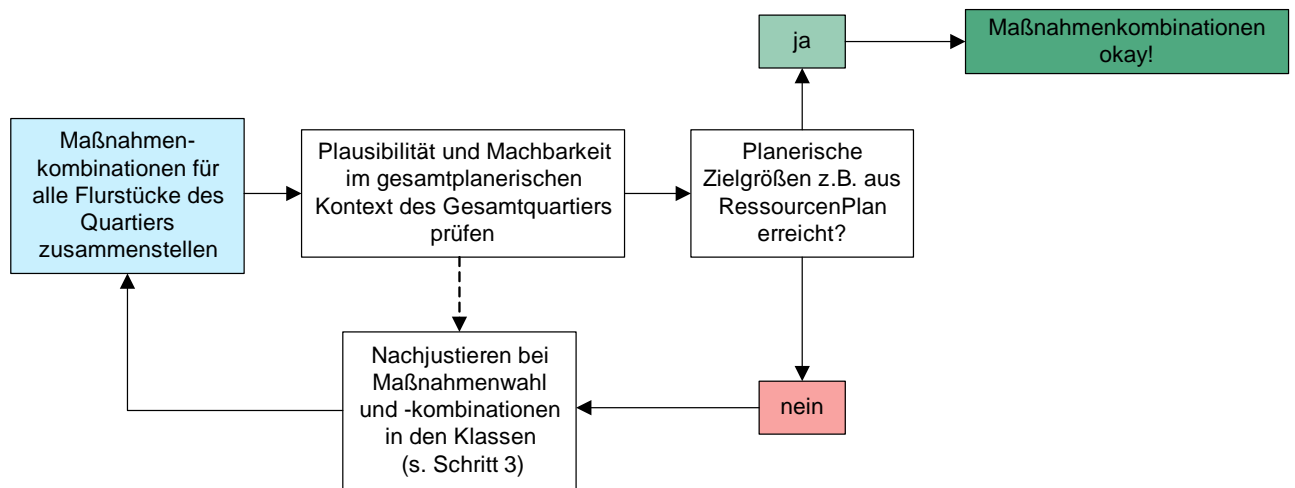
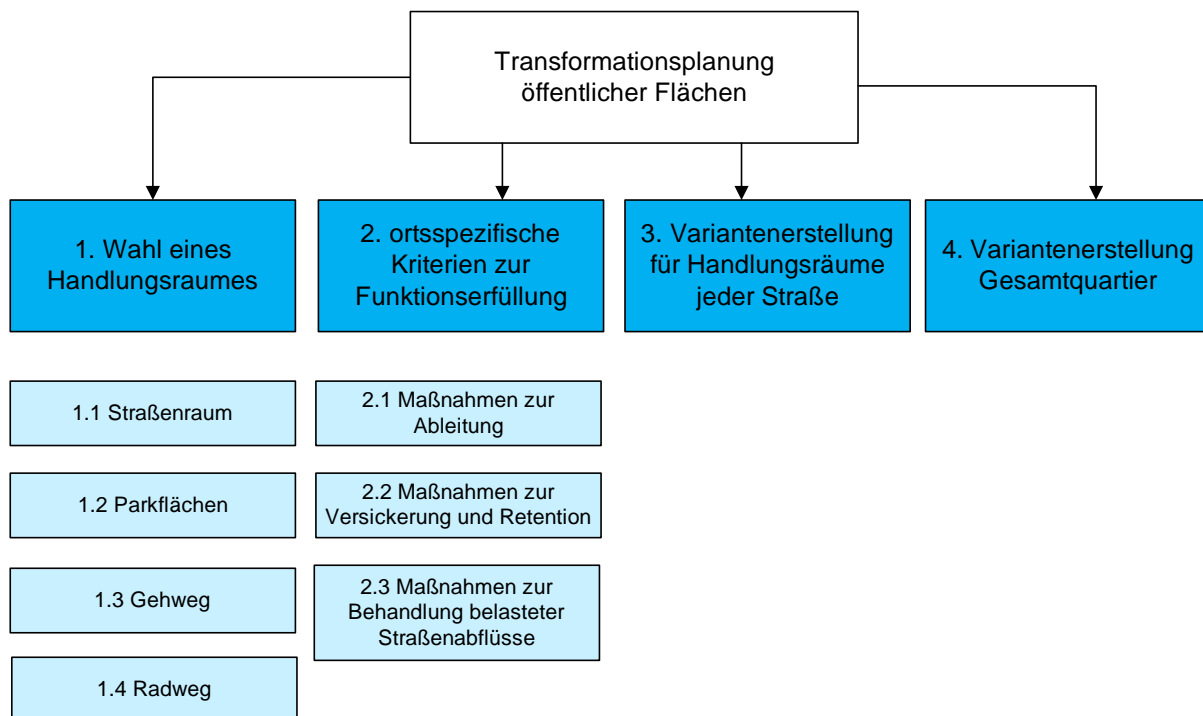


Abbildung 15 Ablaufdiagramm Schritt 4: Konzepterstellung Gesamtquartier

## 2.2.2 Öffentliche Flächen

Das Verfahren für die öffentlichen Flächen fokussiert insbesondere den Verkehrsraum. Dies erfolgt in vier Teilschritten, wie Abbildung 16 zeigt.



**Abbildung 16 Prozessschritte zur Transformationsplanung öffentlicher Flächen**

Zuerst wird der Planungsraum in vier Handlungsräume (1) – dem Straßenraum (1.1), die Parkflächen (1.2) sowie dem Geh- (1.3) und Radweg (1.4) - untergliedert.

Da eine wasserbewusste Straßenraumgestaltung hinsichtlich des Gewässerschutzes und des Erhalts des natürlichen Wasserhaushaltes Funktionen der Niederschlagswasserableitung, der Versickerung und Retention sowie der Behandlung von belasteten Straßenabflüssen erfüllen muss, werden im nächsten Schritt folglich die ortsspezifischen Kriterien zur Funktionserfüllung (2) abgefragt. Die ausführlichen Entscheidungsbäume befinden sich in Anhang 1.4. Eine geeignete Methode zur Ableitung (2.1) des Niederschlagswassers wird anhand des Flächenbedarfs ermittelt. Hier müssen je nach Maßnahmenwahl weitere Kriterien wie die Durchlässigkeit des Bodens und die Geländeneigung geprüft werden. Weiterhin werden Aspekte wie die Verkehrssicherheit, der Nutzungskomfort sowie die Barrierefreiheit berücksichtigt. Teilweise können Maßnahmen auch als Gestaltungselement fungieren.

Ein ähnliches Prinzip erfolgt bei der Versickerung und Retention (2.2) von Niederschlagswasser. Eine geeignete Maßnahme wird mithilfe des Flächenbedarfs und der jeweiligen Flächenverfügbarkeit ausgewählt und anschließend dessen Umsetzung hinsichtlich des Grundwasserflurabstandes, der Durchlässigkeit des Bodens sowie ggf. der Behandlungsnotwendigkeit geprüft. Hinsichtlich der dritten Funktion, der Behandlung von Straßenabflüssen (2.3), wird der Behandlungsbedarf jedes Handlungsraumes mithilfe der Verkehrsstärke bzw. der jeweiligen



Nutzung ermittelt. Die Belastungsklasse wird nach DWA-A 102-2/ BWK-A 3-2 (2020) ermittelt, sodass bei einem resultierenden Behandlungsbedarf eine geeignete Behandlungsmethode zu wählen ist.

Anschließend werden die Varianten für die Handlungsräume jeder Straße entwickelt (3). Hierbei werden also Maßnahmen zur Ableitung sowie zur Versickerung und Retention ausgewählt. Zusätzlich wird die Notwendigkeit einer Behandlung geprüft, sodass Maßnahmenkombinationen für die Handlungsräume je Straße zusammengestellt werden.

Im letzten Schritt werden geeignete Maßnahmenkombinationen für alle Straßen mit den jeweiligen Handlungsräumen für das gesamte Quartier zusammengestellt (4). Auch hier liegt der Fokus auf der Prüfung der Plausibilität und Machbarkeit der Varianten. Planerische Zielgrößen müssen erreicht werden, anderenfalls sollte hier nachjustiert werden

### 2.3 Bewertung des wasserwirtschaftlichen Flächenpotentials

Die Eigenschaften einer Fläche beeinflussen maßgeblich ihre wasserwirtschaftliche Wirkung. In den frühen Planungsphasen, in denen der RessourcenPlan eingesetzt wird, kann eine Abschätzung der wasserwirtschaftlichen Wirkung die Identifikation von Defizit- und Potentialräumen sowie die Entscheidungsfindung zur Verortung einer Maßnahme vereinfachen. Dazu ist es notwendig die Eigenschaften einer Fläche flächendifferenziert auszuweisen und davon ausgehend Kausalzusammenhänge zur Bewertung des wasserwirtschaftlichen Flächenpotentials zu definieren.

Die lokale-funktionale Bewertung, die im Rahmen des Projekts zur Bewertung der Flächeneffizienz entwickelt wurde, bietet die Möglichkeit der Integration ebensolcher Zusammenhänge. Die Bewertung erfolgt geodatenbasiert. Die wasserwirtschaftlichen Wirkpotentiale gehen als „Funktionen“ einer Fläche in die integrierte Bewertung ihrer ressourceneffizienten Nutzung sowie in die Bewertung des Gesamt-Quartiers ein. Gleichwohl können Funktionen separiert ausgewertet werden und beispielsweise zur o.g. Defizit- und Potential-Analyse herangezogen werden (Leitfaden RessourcenPlan, Teil 2.5).

Tabelle 11 gibt einen Überblick über die definierten wasserwirtschaftlichen Funktionen und die dazu erforderlichen geodatenbasierten Eigenschaften. Es erfolgt eine Zuordnung zu den drei Transformationszielen (i) natürlicher Wasserhaushalt, (ii) Minderung Gewässerbelastung sowie (iii) Überflutungsvorsorge. Die Funktionen werden abhängig von Eigenschaften der Kategorien Oberflächengestalt, Lage und Nutzung hergeleitet. Für alle Eigenschaften sowie deren Kombinationen bzw. Abhängigkeiten werden vereinfachte Bewertungen der wasserwirtschaftlichen Funktionen vorgenommen. Ergebnis ist eine einfache Bewertungsskala (z. B. geringes bis hohes Potential zur Förderung der Verdunstung).

In der Kategorie „Oberflächengestalt“ kann zwischen befestigten und unbefestigten Flächen sowie Bewirtschaftungsmaßnahmen unterschieden werden. Für die Transformationsziele „Wasserhaushalt“ und „Überflutungsvorsorge“ gelten sie als maßgeblich Funktionsbestimmend. Die Eigenschaften der Kategorie „Lage“ wirken zusätzlich regulierend (Förderung oder Hemmung der Funktion). Die Eigenschaften der Kategorie „Nutzung“ bestimmen dagegen als Indiz für die Schadstoffbelastung einer Fläche maßgeblich das wasserwirtschaftliche Flächenpotential für das Transformationsziel „Minderung Gewässerbelastung“.

Die Definition der Flächenbewertung erfolgt für das Transformationsziel „Wasserhaushalt“ in Anlehnung an das DWA-A 102-2/ BWK-A 3-2 (2020) bzw. das DWA-M 102-4/ BWK-M 3-4 (2022). Für das Transformationsziel „Minderung Gewässerbelastung“ erfolgt die Definition in eigener Herleitung (Zamzow et al. 2022). Die Bewertung für das Transformationsziel „Überflutungsvorsorge“ wird in Anlehnung an das DWA-M 119 (2016) vorgenommen. Die detaillierte

Aufschlüsselung der definierten Funktionen befinden sich in „Leifaden RessourcenPlan“, Teil 2.5.

**Tabelle 11 Überblick über die aus geodatenbasierten Eigenschaften abgeleiteten flächenspezifischen Funktionen (Hörnschemeyer et al. 2021b)**

Transformationsziel	Funktion	Oberflächengestalt			Lage			Nutzung				
		Befestigung	Vegetationstyp	Bewirtschaftungsmaßnahme	Sonnenexposition	Bodenart	Grundwasserflurabstand	Hangneigung	Flächennutzung	Verkehrsbelastung	Bewässerung	Anschluss Behandlungsanlage
<b>Wasserhaushalt</b>	Verdunstung	X	X	X	X	X					X	
	Grundwasserneubildung	X	X	X		X	X	X				
	Abfluss	X	X	X		X	X	X				
<b>Minderung Gewässerbelastung</b>	Quelle AFS <sub>63</sub>	X							X	X		
	Quelle Schwermetalle	X							X	X		
	Quelle PAK	X							X	X		
	Quelle Biozide	X										
	Quelle Nährstoffe	X	X						X	X		
	Senke Schadstoffe			X								
<b>Überflutungsvorsorge</b>	Überflutungsminde- rung	X	X	X				X	X			
	Überflutungsrisiko	X	X			X	X	X	X			

\* Neben AFS<sub>63</sub> (DWA A 102) wurden vier Schadstoffgruppen zusammengefasst. Sie enthalten folgende Einzelstoffe, die in Regenwasserabflüssen im Mittel über Grenzwerten der OGWV (2016) oder UQN-Vorschlägen des UBA (Wenzel et al. 2015) liegen: Schwermetalle: gelöstes Zn und gelöstes Cu; PAK: Benzo[g,h,i]perylen, Benzo[b]fluoranthren; Biozide: Mecoprop, Nährstoffe: Gesamtphosphor, Orthophosphat.

Zur Anwendung der lokal-funktionalen Bewertung müssen die erforderlichen Geodaten zunächst gesammelt, geprüft und in vorgegebenen Routinen aufbereitet werden. Die Bewertung erfolgt anschließend automatisiert mit Skripten auf Python-Basis.

Bei der Herleitung der Bewertung werden öffentlich zugängliche Datensätze (z. B. ALKIS Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem) priorisiert, um eine Übertragbarkeit auf andere Kommunen zu gewährleisten. Darüber hinaus sind mehrere Detaillierungsgrade der Eingangsdaten möglich. Sie führen allerdings auch zur äquivalenten Detailschärfe in den Ergebnissen.

Die Ergebnisse weisen das Wirkpotential in Abhängigkeit von Eigenschaften einer Fläche aus. Lokale Gegebenheiten, die mit einer solchen vereinfachten Betrachtung nicht erfasst werden, können die tatsächliche Ausprägung der Funktion weitergehend beeinflussen. Aus diesem Grund können Detailbetrachtungen sowie regelwerkskonforme Nachweise durch das vorgestellte Verfahren nicht ersetzt werden.

Eine exemplarische Anwendung der integrierten Bewertung im Planungsprozess zeigt Abbildung 17. Aus den Eigenschaften der Parkplatzfläche (1) werden in Anlehnung an Tabelle 11 flächenspezifische Funktionen (2) abgeleitet. In Kombination mit anderen Funktionen können zusätzlich übergeordnete Transformationsziele, z. B. „Klimaanpassung“ bewertet werden (3). Im Ist-Zustand ergeben sich so Defizite u. a. im Bereich des markierten Parkplatzes. Sie sind

auf starke Versiegelung, fehlende Beschattung und Vegetation sowie auf die mäßige bis hohe Schadstoffbelastung zurückzuführen. Angedachte Maßnahmen könnten teildurchlässige Flächenbeläge sowie die Anordnung von Bäumen sein (4). Als Ergebnis verändern sich die wasserwirtschaftlichen Funktionen positiv hinsichtlich der hydrologischen und stadtklimatischen Wirkung (5)/(6). Darüber lässt sich im direkten Quellen-Senken-Vergleich für die anfallenden Schmutzfrachten mit der Verortung einer dezentralen Behandlungsmaßnahme eine ortsnahe Quelle-Senken-Lösung finden.

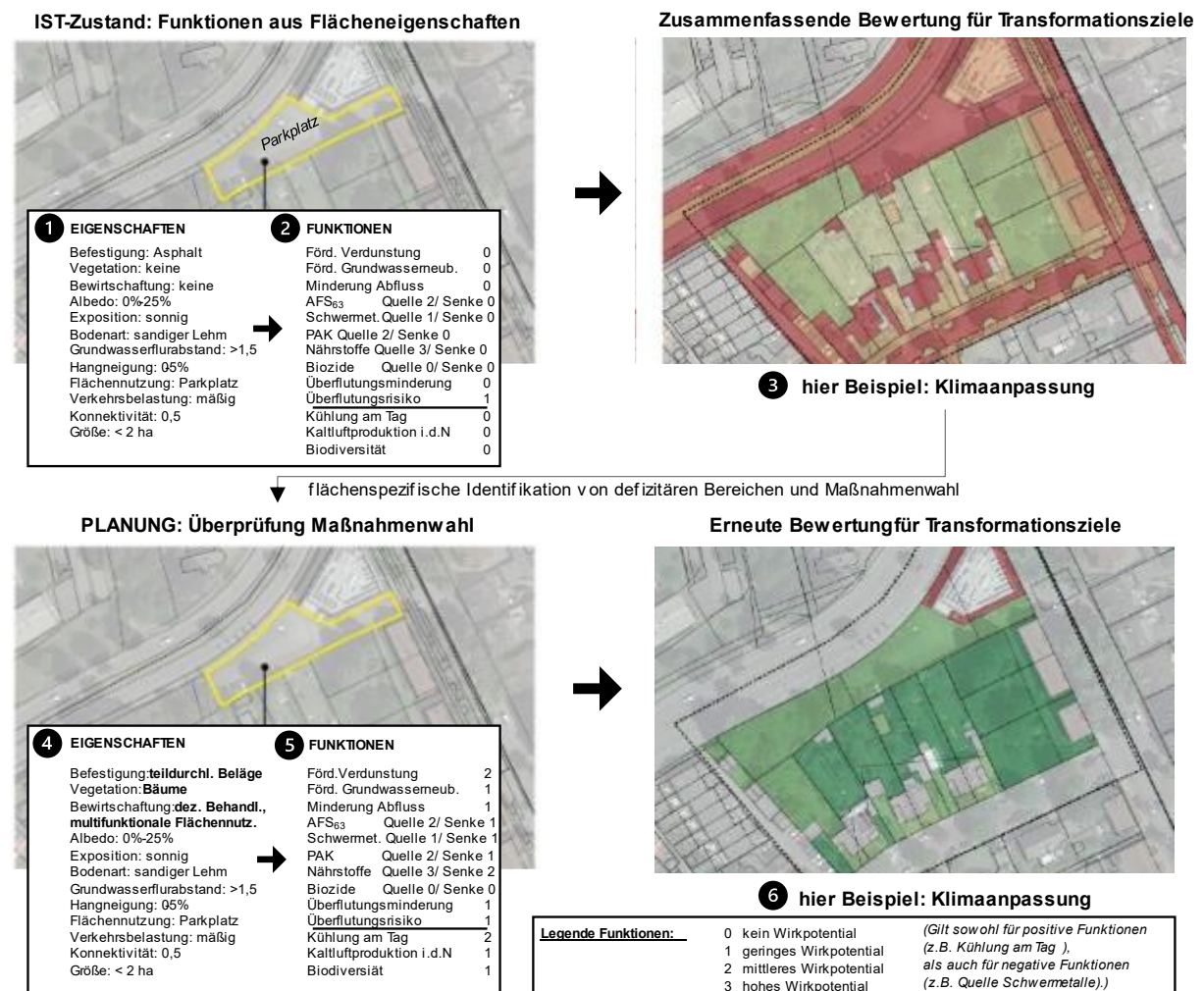


Abbildung 17 Exemplarische Anwendung der integrierten Bewertung im Planungsprozess

Ergänzend lässt die flächenprojizierte Bewertung der Ressourceneffizienz die Beachtung von ressourcenübergreifenden Aspekten bei der Variantenerstellung zu, so dass Planungsabwägungen nicht nur im wasserwirtschaftlichen Kontext, sondern integriert geführt werden können. Dazu sieht die lokal-funktionale Bewertung integrierte Bewertungen der Transformationsziele Klimaschutz, Naturschutz, Gesundheitsschutz sowie Erhalt der Grunddaseinsfunktionen zu. Ebenso lassen sich technische Funktionalitäten integrieren. Dies betrifft u. a.: (i) die Trinkwas-

ser- und Nährstoffrückgewinnung im Sektor Schmutzwasser, (ii) die Energieerzeugung, -versorgung und -rückgewinnung (z. B. Photovoltaik) im Sektor Energie oder (iii) das stoffliche Lebenszyklusmanagement (z. B. Baustoffdichte, -alter, -material) im Sektor Baustoffe.

Ausführliche Informationen zu Datenaufbereitung, Bewertungsroutinen und Anwendung der beschriebenen Bewertung können dem Leitfaden RessourcenPlan, Teil 2.5, sowie Hörnschemeyer et al. (2022) entnommen werden.

### 3 Maßnahmen des Quartiersmanagements

Auf Seiten der Regenwasserbewirtschaftung bestehen zahlreiche Maßnahmen, die im Quartier mit unterschiedlichen Zielstellungen zur Bewirtschaftung eingesetzt werden können. In den folgenden Kapiteln werden diese strukturiert aufgearbeitet (Kapitel 3.1 und 3.2). Die Ergebnisse und deren Folgerungen für die Anwendung fließen dann in den interdisziplinären Maßnahmenkatalog ein (Kapitel 3.4).

#### 3.1 Speicherbewirtschaftung im Quartier

##### 3.1.1 Verortung von Speichern im urbanen Raum


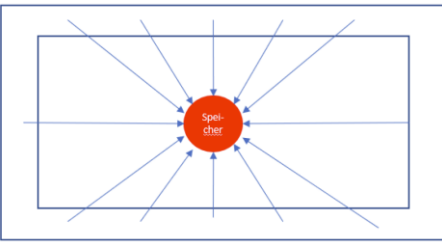
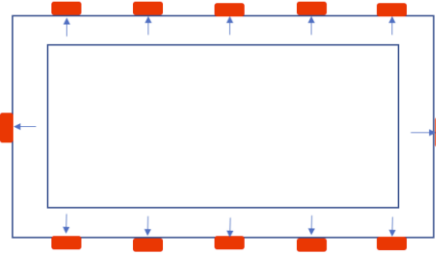

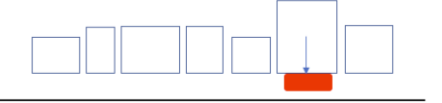
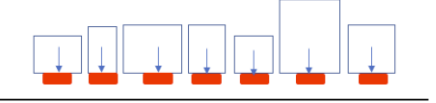

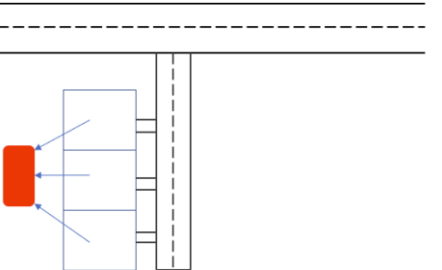
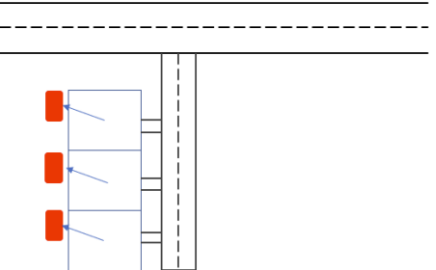
Im urbanen Raum können Speicher mit unterschiedlichen Strategien verortet werden. In Abhängigkeit vom Platzangebot, Grünflächen und Bebauungsstruktur kommen Ein- oder Mehr-Speicher-Strategien infrage, die die Abflüsse in einem zentralen oder mehreren dezentralen Speichern aufnehmen.

Eine Untersuchung zur Verortung von Speichern soll Erkenntnisse zur Effizienz der verschiedenen Speicherstrategien liefern. Die Betrachtung erfolgt für die Regenwassernutzung zur Bewässerung. Einen Überblick über die untersuchten Konfigurationen gibt Tabelle 12. Betrachtet werden die drei im urbanen Raum häufig vorkommenden Bebauungsstrukturen (i) Blockbebauung, (ii) Reihenhausbebauung und (iii) Zeilenbebauung. Für alle Strukturen wird in Abhängigkeit der baulichen Möglichkeiten jeweils eine Ein-Speicher- (ESS) und eine Mehr-Speicher-Strategie (MSS) konfiguriert. Als Untersuchungsgebiete werden repräsentative Quartiersausschnitte gewählt, die den Annahmen der Bebauungsstrukturen im Kapitel 2.2.1 entsprechen (Gebäude- und Nutzerstruktur, Versiegelungsgrad). Die entwickelten Konfigurationen unterscheiden sich insbesondere im Verhältnis Dargebot/ Bedarf. Zuleitende Flächen sind die Dachflächen. Bewässert wird die umliegende öffentliche und private Vegetation inkl. Straßenbäume. Bei der ESS werden sämtliche Vegetationsflächen aus einem Speicher bewässert. Hingegen wird bei der MSS nur dann ein Speicher verortet, wenn eine Vegetationsfläche in weniger als 20 Metern Entfernung vorhanden ist. Entsprechend können bei der ESS zwar alle umliegenden Dachflächen angeschlossen werden, jedoch kann es zu teils aufwendigen Verteilersystemen kommen. Im Gegensatz dazu werden beim MSS nicht alle Dachflächen an Speicher angeschlossen, jedoch sind die Verteilsysteme sehr einfach gehalten. In Abhängigkeit der räumlichen Machbarkeiten der jeweiligen Bebauungsstruktur werden die Speicher ober- oder unterirdisch angeordnet. Bei unterirdischen Systemen ist aufgrund der Höhenlage das Vorsehen einer Pumpe notwendig.

Die Festlegung des Bewässerungsbedarfs wird vegetationsspezifisch mit statischer Bewässerung nach (FLL 2015) vorgenommen. Die Dimensionierung der Speicher erfolgt nach (DIN

1989-1 2002). Die Untersuchung wird mit einem Speichermodell für den Standort Herne durchgeführt. Die Auswertung erfolgt für den Bewässerungszeitraum April bis Oktober 2015. Die betrachteten Indikatoren sind (i) die Bedarfsdeckung in %, (ii) die Leerstandsrate in % als Anteil der Tage, an denen der Speicher leer ist, sowie (iii) die Überlaufmenge in m<sup>3</sup>. Sie werden jeweils für das gesamte betrachtete Gebiet ausgewertet (siehe Luftbilder Tabelle 12).

**Tabelle 12**    **Untersuchte Bebauungsstrukturen und Speicherstrategien**

Bebauungsstruktur	Ein-Speicher-Strategie	Mehr-Speicher-Strategie
<p><b>Blockbebauung</b></p> 	 <p>Zentraler Speicher, unterirdisch</p>	 <p>Dezentraler Speicher an jedem Wohngebäude mit Vegetation &lt; 20 m Entfernung, oberirdisch</p>
<p><b>Reihenhausbebauung</b></p> 	 <p>Ein Speicher bei Haus mit größtmöglicher Dachfläche für gesamten Abschnitt, oberirdisch</p>	 <p>Dezentraler Speicher an jedem Wohngebäude mit Vegetation &lt; 20 m Entfernung, oberirdisch</p>
<p><b>Zeilenbebauung</b></p> 	 <p>Zentraler Speicher, unterirdisch</p>	 <p>Dezentraler Speicher an jedem Wohngebäude mit Vegetation &lt; 20 m Entfernung, oberirdisch</p>

Der Untersuchungsergebnisse sind in Tabelle 13 zusammengefasst. Bei der *Blockbebauung* ist der Bedarf bei beiden Strategien nahezu vollständig gedeckt. Die Leerstandsrate ist ebenfalls sehr gering. Dies lässt sich u. a. darauf zurückführen, dass aufgrund des hohen Dachflächen- und geringen Vegetationsanteils das Verhältnis Dargebot/Bedarf sehr hoch ist. Der leichte Vorteil der ESS gegenüber der MSS ist damit zu erklären, dass bei räumlich ungleichmäßiger Vegetationsverteilung der Mehrbedarf im Bereich der dichteren Vegetation durch den

zentralen Speicher ausgeglichen werden kann, während bei der MSS Speicher zeitweise leerfallen. Hinsichtlich des Überstauvolumens ist ein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Strategien erkennbar. Dies ist einerseits mit dem höheren Anteil angeschlossener Dachflächen beim ESS zu erklären. Andererseits können aufgrund der teils geringen Füllstände im MSS höhere Abflussmengen zurückgehalten werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass bei der Blockbebauung beide Speicherstrategien geeignet sind. Aufgrund des hohen Verhältnis Dargebot/Bedarf ist von einer geringen Speicherauslastung bzw. einer hohen Bedarfsdeckung auszugehen. Ist die bewässerte Vegetation räumlich ungleichmäßig verteilt, kann das ESS aufgrund der höheren Pufferfähigkeit einen Vorteil bieten. Zusätzlich wird mit der Verortung des Speichers auf der privaten Innenhoffläche ein Eingriff in den öffentlichen Raum umgangen. Dieser ist bei der MSS zusätzlich zu prüfen, da die gefahrlose Nutzbarkeit der Geh- und Radwege stets priorisiert werden muss und eine Genehmigung für die Verortung privater Anlagen im öffentlichen Raum eingeholt werden muss.

Bei der *Reihenhausbebauung* liegt aufgrund der geringeren angeschlossenen Dachfläche der ESS ein deutlich geringeres Verhältnis Dargebot/Bedarf vor. Mit 94% ist die Bedarfsdeckung jedoch weiterhin als sehr gut zu bewerten. Mit einer Leerstandsrate von 3,3% liegt die Rate der ESS über dem Vergleichswert der MSS. Das Überstauvolumen der ESS ist deutlich geringer als bei der MSS, was mit den höheren Retentionskapazitäten aufgrund höherer Speicherauslastung zu begründen ist.

Im Vergleich der beiden Strategien ist die ESS zu bevorzugen. Beide Varianten weisen gute Ergebnisse auf. Aufgrund der besseren Speicherauslastung bei ESS kann das Speichervolumen effizienter genutzt werden und ein deutlich höherer Abflussanteil zurückgehalten werden.

Die Ergebnisse der *Zeilenbebauung* zeigen ebenfalls eine hohe Bedarfsdeckung sowie geringe Leerstandsrate für beide Strategien. Die großen Abweichungen des Überstauvolumens sind wie bei der Blockbebauung mit den Unterschieden in den angeschlossenen Dachflächen zu erklären, die zu höheren durchschnittlichen Füllständen bei der ESS führen.

In Summe ist nach Auswertung der Indikatoren die MSS für Zeilenbauten zu bevorzugen, da der Speicher besser ausgelastet ist und Überstauvolumina geringer sind. Die Bedarfsdeckung und Leerstandsrate sind in beiden Fällen als sehr gut zu bewerten. Ein möglicher Vorteil der ESS könnte, ähnlich wie bei der Blockbebauung, die größere Pufferkapazität bei räumlich ungleichmäßiger Vegetationsverteilung sein. Da bei der Zeilenbebauung häufig ringsherum Privatflächen vorliegen, ist die Problematik der Nutzung öffentlicher Flächen zu vernachlässigen.



**Tabelle 13 Ergebnisse für die untersuchten Bebauungsstrukturen und Speicherstrategien (ESS Ein-Speicher-Strategie, MSS Mehr-Speicher-Strategie)**

Indikator		Blockbebauung		Reihenhausbebauung		Zeilenbebauung	
		ESS	MSS	ESS	MSS	ESS	MSS
<b>Bedarfsdeckung</b>	(in %)	100,0	99,0	93,8	99,4	95,7	94,1
<b>Leerstandsrate</b>	(in %)	0,0	0,4	3,3	0,5	1,9	2,8
<b>Überstauvolumen</b>	(in m <sup>3</sup> )	506,1	312,2	31,3	352,5	113,0	80,6

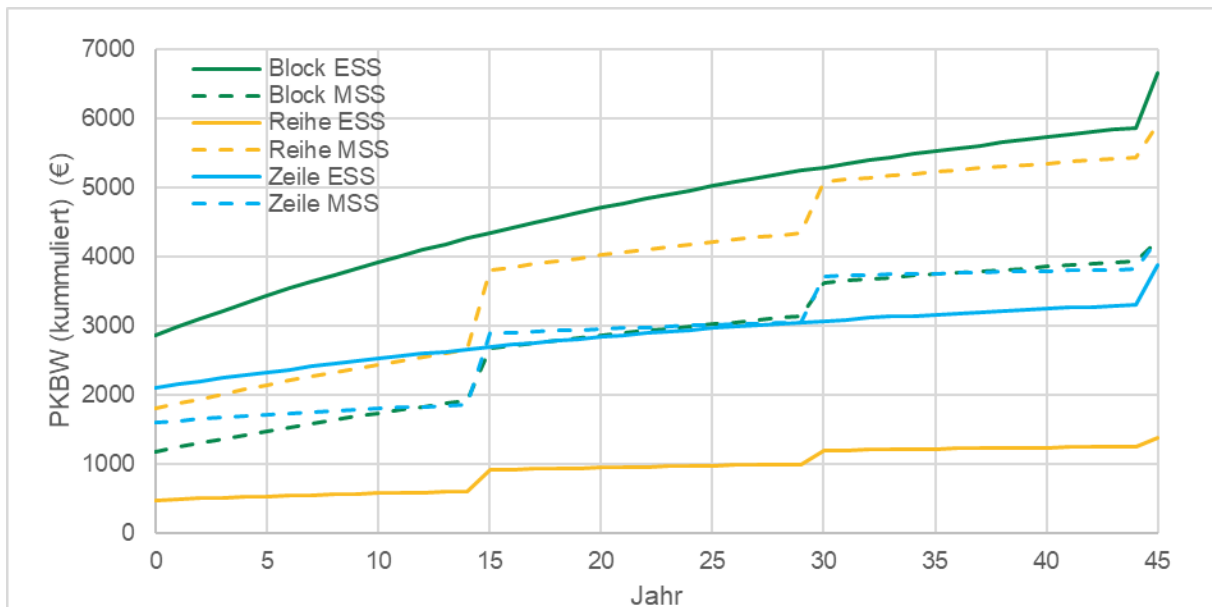
Bei der Bewertung der verschiedenen Systeme ist neben der Bewertung der Wirkung der Speicher ebenfalls die Wirtschaftlichkeit bzw. der Kosten/Nutzen zu bewerten. Aus diesem Grund wird für die beschriebenen Systeme eine dynamische Kostenvergleichsrechnung nach DWA und DVGW (2012) durchgeführt. In die Berechnung gehen die (Re-)Investitions- und Betriebskosten der zugehörigen Speicher inkl. aller Zu- und Ableitungen ein. Der Betrachtungszeitraum liegt bei 45 Jahren.

In Abbildung 18 werden die kumulierten Projektkostenbarwerte (PKBW) aller untersuchten Speicherstrategien dargestellt. Grundsätzlich sind Unterschiede zwischen unterirdischen und oberirdischen Speichern zu erkennen. Die unterirdischen Speicher (ESS Block sowie Zeile) weisen höhere Startinvestitionen, aufgrund der langen Nutzungsdauer jedoch keine Reinvestitionen, auf. Die Betriebskosten werden durch die vorzusehende Pumpe geprägt. Dagegen sind die oberirdischen Speicher von geringen Start-, aber regelmäßigen Reinvestitionskosten geprägt. Die Höhe der Betriebskosten ist abhängig von der angeschlossenen Dachfläche.

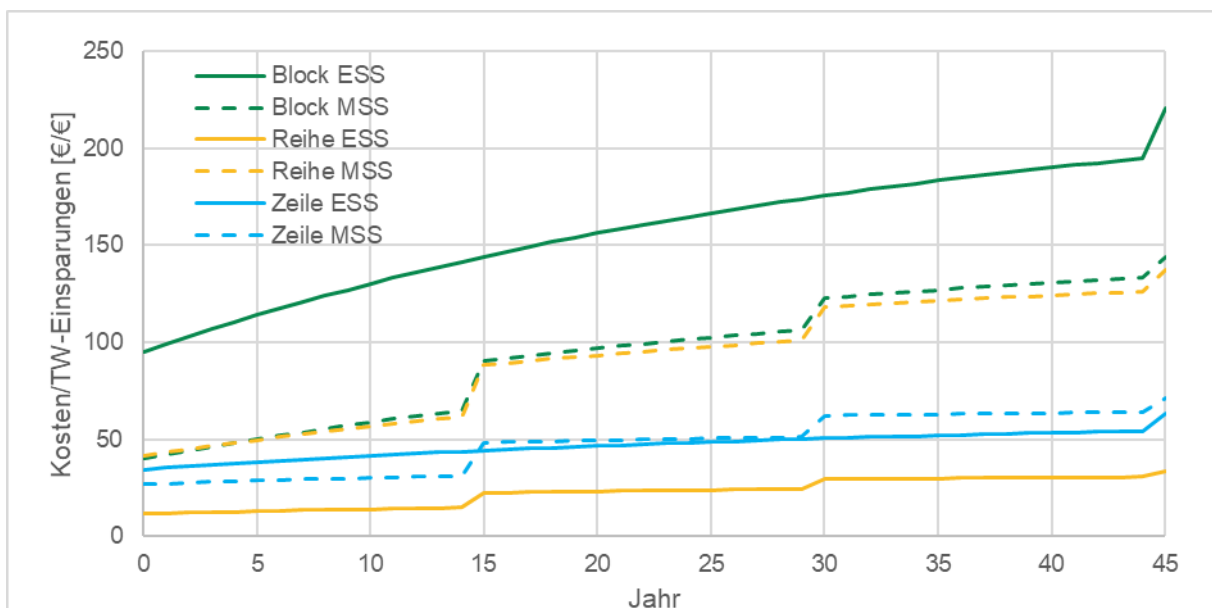
Für die Blockbebauung ist das ESS als teuerste Konfiguration deutlich kostenaufwändiger als das MSS, was auf die unterirdische Anordnung des Speichers und das damit einhergehende deutlich komplexere Zuleitungs- und Verteilsystem des ESS zurückzuführen ist. Bei der Reihenhausbebauung dagegen fallen für die ESS deutlich geringere Kosten an, da nur ein Speicher verortet werden muss, der aufgrund der örtlichen Möglichkeiten sogar oberirdisch vorgesehen werden kann. Des Weiteren sind für die dezentralen Speicher höhere Start- und Reinvestitionskosten notwendig. Bei der Zeilenbebauung liegen die PKBW nach 45 Jahren bei beiden Konfigurationen auf etwa ähnlichem Niveau.

Zusätzlich zur Betrachtung der PKBW soll zur Einschätzung des Kosteneffizienz der Nutzen hinsichtlich der Trinkwassereinsparung bewertet werden. Die Auswertung der Kosten je Liter Trinkwassereinsparung ist in Abbildung 19 dargestellt. Es zeigt sich, dass der Kosten/Nutzen der Speicher bei der Blockbebauung bei beiden Strategien gering ist. Dies liegt an dem hohen Verhältnis Dargebot/Bedarf. Die Speicher sind nicht gut ausgelastet. Es ergibt sich ein großes, noch nicht ausgeschöpftes Begrünungspotential. Bei der Reihenbebauung ist die ESS deutlich als die kosteneffizientere Konfiguration zu bewerten, was mit der guten Speicherauslastung bei gleichzeitig geringen Investitionskosten zu erklären ist. Der geringere Kosten/Nutzen der

MSS ist mit den hohen (Re)Investitionskosten der dezentralen Lösung zu erklären. Die Zeilenbebauung weist für beide Strategien gute Kosten/Nutzen-Ergebnisse auf.



**Abbildung 18** Kumulierte PKBW der Speicherstrategien in den drei Bebauungsstrukturen



**Abbildung 19** Kumulierte PKBW je Liter Trinkwassereinsparung

Zusammenfassend lässt sich folgern:

- Die Wahl der Speicherstrategie hängt von der Bebauungsstruktur sowie dem Verhältnis Bedarf/ Dargebot ab.

- Um Investitions- und Betriebskosten möglichst gering zu halten, sollten Speicher nach Möglichkeit oberirdisch angeordnet werden.
- Komplexe Zuleitungs- und Verteilsysteme können ein Kostentreiber bei ESS sein.
- ESS bergen den Vorteil der hohen Pufferkapazität bei ungleichmäßig verteilter Vegetation. Alle umliegenden Dachflächen können angeschlossen werden, während bei der MSS die Anordnung eines Speichers nur bei nahegelegenen Vegetationsflächen effizient ist.
- Es ist darauf zu achten, dass das Dargebot gegenüber dem Bedarf nicht zu hoch ist. Andernfalls kann das gespeicherte Wasser nicht effizient genutzt werden. Es kommt zu hohen Füllständen und geringen Retentionskapazitäten und damit resultierender geringen Kosteneffizienz.
- Die bedarfsgerechte Dimensionierung der Speicher stellt einen maßgeblichen Baustein zur Kosteneffizienz dar. Insgesamt wird der Eindruck erweckt, dass die Speicher in allen Fällen recht groß dimensioniert sind.
- Eigentumsrechtliche Fragestellungen für die Bewirtschaftung der Speicher sind stets abzuwägen.
- Die Möglichkeit der Verortung von privaten Speichern im öffentlichen Raum ist stets von der Kommune genehmigen zu lassen und kann ein Hindernis einer MSS sein.

### 3.1.2 Dimensionierung von Regenspeichern

Für die Dimensionierung von Regenspeichern werden in Deutschland in erster Linie die Ansätze der DIN 1989-1 (2002) angewendet. Sie beschreiben vereinfacht die Abhängigkeit des Speichervolumens von Niederschlagsdargebot und dem Nutzungsbedarf. Die Ergänzung um ein zusätzliches Retentionsvolumen sowie die nähergehende Beachtung von klimatischen Bedingungen und Bedarfsstrukturen beinhalten sie nicht.

Ein Dimensionierungsansatz von Uhl und Hellberg (2017) setzt das Speichervolumen (Nutz- und Retentionsvolumen) und den Bedarf (Bewässerung und/ oder Toilettenspülung) in Relation zum Dargebot und zieht die Bedarfsdeckung als Effizienzindikator zur Entscheidungsfindung hinzu. Die Kenngrößen werden wie folgt definiert:

$$\text{Bedarfskoeffizient } BK = \frac{BW_a}{A_D \cdot h_{N,a}} \quad (3)$$

mit  $BW_a$  Jährlicher Betriebswasserbedarf in  $\text{m}^3$   
 $A_D$  Dachfläche in  $\text{m}^2$   
 $h_{N,a}$  Durchschnittliche jährliche Niederschlagshöhe in m

$$\text{Speicherkoeffizient } SK = \frac{V}{A_D \cdot h_{N,a}} \quad (4)$$

mit  $V$  Speichervolumen in  $\text{m}^3$

$$\text{Bedarfsdeckung} = \frac{E_{R,ist}}{BW_a} \quad (5)$$

mit  $E_{R,ist}$  Jährlicher Regenwasserertrag aus dem Speicher in  $\text{m}^3$

Anders als andere Bemessungsansätze, ermöglicht das Vorgehen somit einerseits das Vorsehen eines zusätzlichen Retentionsspeicherraums und bezieht andererseits mit der Bedarfsdeckung einen Effizienzindikator in die Entscheidungsfindung mit ein.

Der Ansatz wurde mittels Langzeitsimulationen für eine Vielzahl an Varianten von BK und SK für den Standort Flughafen Auckland in Neuseeland aufgestellt. Im Projekt R2Q erfolgte die Weiterentwicklung als ortsunabhängiger Regressionsansatz, der eine Umsetzung als Bemessungstool (z.B. Excel) ermöglicht.

Die Aufstellung des Regressionsansatzes wurde mit folgenden Anforderungen durchgeführt:

- Variationsmöglichkeit von:
  - Klimatischen Bedingungen
  - Angeschlossenen Flächen
  - Speichervolumen (Nutz- und/oder Retentionsvolumen)
  - Bedarfsfällen (Toilette und/ oder Bewässerung)
- Sicherstellung der Übertragbarkeit auf den gesamten deutschen Raum
- Nutzung der Indikatoren BK und SK als Zustandsindikatoren sowie BD als Effizienzindikator

Die Herleitung der Regressionen erfolgte mittels Massensimulationen mit dem Niederschlag-Abfluss-Modell SWMM (Rossman 2015). Zur Sicherstellung der Übertragbarkeit auf den gesamten deutschen Raum wurden Messdaten von 132 Stationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) genutzt. Auswahlkriterium für die Stationen war das Vorliegen einer mindestens 20-jährigen Niederschlagszeitreihe mit einer zeitlichen Auflösung von einer Minute als Eingangsgröße für die Simulationen. Die Kenndaten der gewählten Stationen sind in Tabelle 14 zusammengefasst.

Die Berechnungen wurden für den Bedarfsfall „Toilettenspülung“ und „Bewässerung“ durchgeführt. Die Toilettenspülung wurde dabei mit einem in Abhängigkeit des BK linear skalierbaren ganzjährig gleichbleibenden Tagesgang in Anlehnung an Mutschmann et al. (2011) abgebildet. Dagegen wurde die Bewässerung mit einer dem BK entsprechenden täglichen Ent-

nahme in der Bewässerungsperiode von April bis Oktober festgelegt. Je Station und Bedarfsfall wurden 1000 Simulationen unter Variation von SK und BK durchgeführt. Der SK wurde dabei zwischen 0,002 und 0,05 variiert, während die Werte des BK 0,05 und 3 lagen.

**Tabelle 14** Statistische Kenndaten der langjährigen mittleren Jahresniederschläge

Anzahl Stationen	Langjähriger mittlerer Jahresniederschlag (mm/a)					
	Min	1. Quartil	Median	3. Quartil	Max	Mittelwert
132	484	596	660	807	1604	739

Die Simulationsergebnisse wurden hinsichtlich der BD ausgewertet. Mittels multipler nicht linearer Regression konnte die Abhängigkeit der BD von BK und SK beschrieben werden. Durch Auswertung der BD als Ergebnisgröße kann eine Aussage zur Effizienz der Speicher getroffen werden. Die Auswertung ist hilfreich bei der Wahl des Speichervolumens, da eine Effizienzsteigerung bei steigendem Speichervolumen abgewogen werden kann.

Die Funktionen sich lassen im Rahmen der Dimensionierung von Speichern wie folgt anwenden:

(1) Wahl Speichervolumen:

Mithilfe von vereinfachten Bemessungsdiagrammen, wie beispielsweise Abbildung 20, kann für *gegebene Randbedingungen* eines Projekts die Effizienz (BD) bei unterschiedlichen Speichergrößen abgeschätzt werden. Es kann abgelesen werden, ab welchem Speichervolumen die Bedarfsdeckung nicht mehr maßgeblich ansteigt.

(2) Wahl Gesamt-Konfiguration:

Sind die *Randbedingungen des Projekts noch nicht festgelegt*, kann mit Bemessungsdiagrammen, wie in Abbildung 21, die BD bei unterschiedlichen Konfigurationen von SK und BK abgewogen werden. Diese Art der Auswertung ist hilfreich, wenn noch zu entscheiden ist, welche Flächen an den Speicher angeschlossen werden sollen und welche Flächen bewässert werden sollen bzw. wie viele Toilettenspülungen angeschlossen werden sollen.

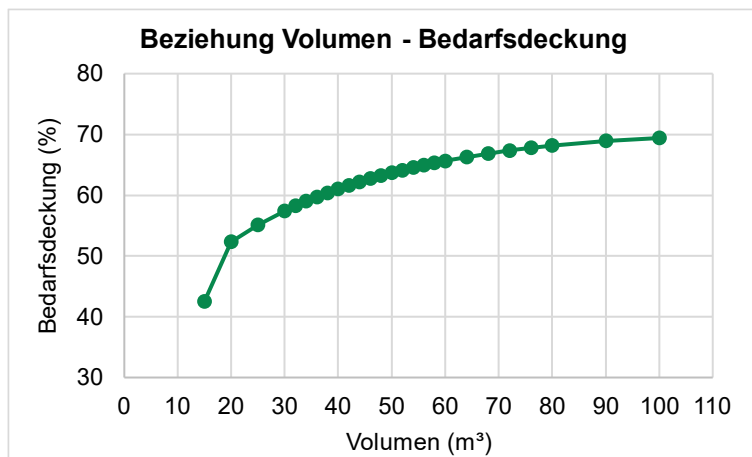


Abbildung 20 Exemplarische Beziehung Volumen/ Bedarfsdeckung berechnet mit den im Projekt ermittelten Regressionsfunktionen

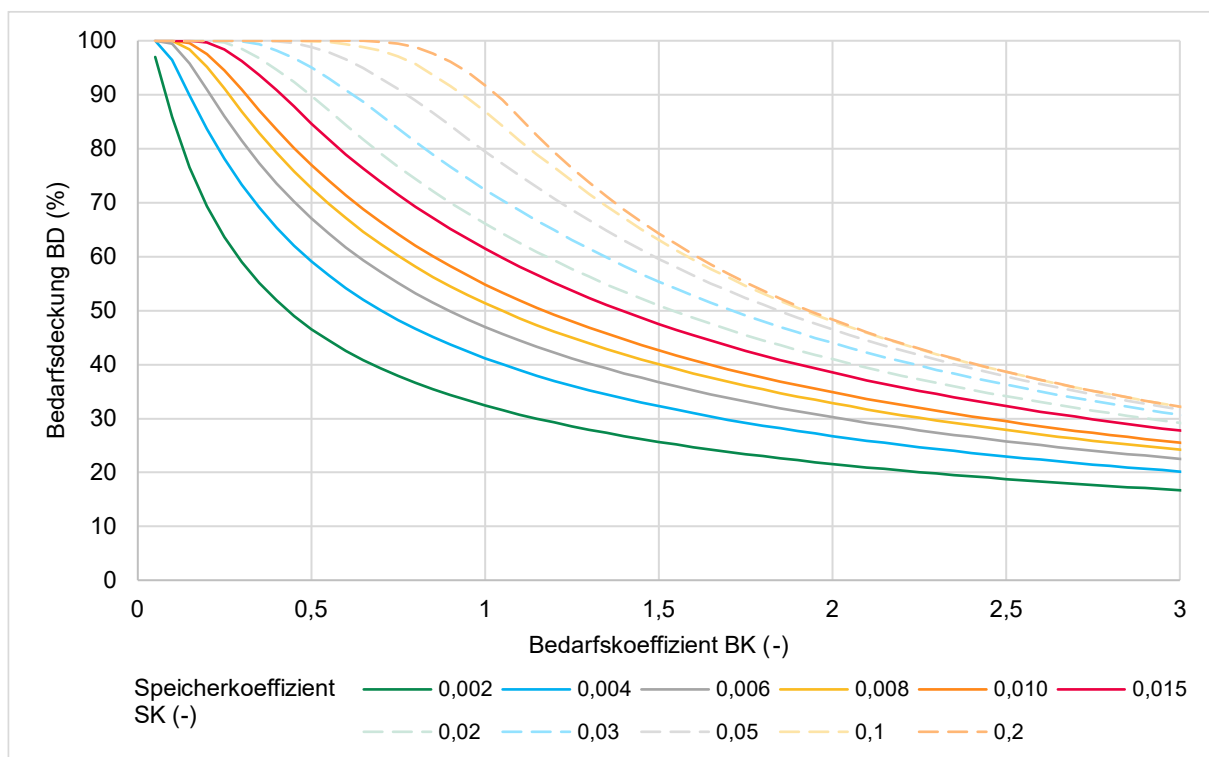


Abbildung 21 Bedarfsdeckung für den Bedarfsfall "Toilettenspülung" in Abhängigkeit des Bedarfskoeffizienten und des Speicherkoeffizienten für den Standort St. Arnold

Die Ergebnisse werden aktuell zu einem Excel-Tool aufbereitet und zur Publikation vorbereitet. Beides wird später über die R2Q-Homepage zugänglich sein. Zukünftige Forschungsarbeiten werden die Ergebnisse zusätzlich um die Minderung von Spitzenabflüssen als weiteren Effizienzindikator sowie um Kostenabschätzungen und daraus resultierenden Kosten-Nutzen-Abschätzungen ergänzen.

### 3.2 Potential von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung zur Starkregenvorsorge

Das Potential von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung (RWB) in Bezug auf die Starkregenvorsorge liegt jeweils in ihrer Retentions- und der Ableitungskomponente, beide Komponenten besitzen das Potential zur Verminderung des Überflutungsrisikos.

Die Wirkung ist abhängig vom betrachteten Starkregen zu bewerten. Für Starkregen mit geringeren Wiederkehrzeiten können viele Maßnahmen spürbare Entlastungen bieten. Für außergewöhnliche oder extreme Starkregen sind viele Maßnahmen wie z. B. die Schaffung von unterirdischen Retentionsräumen unverhältnismäßig kostenintensiv oder ohne größere Wirkung. Dezentrale Maßnahmen zur RWB wie z. B. Versickerungsmulden können bei flächendeckender Umsetzung lokal begrenzte Überflutungsgefährdungen verringern, sind bei seltenen Starkregenereignissen jedoch nur bedingt wirksam.

Dementsprechend wurden innerhalb des Werkzeugkastens einzelne Maßnahmen ihrem Potential nach klassifiziert, um eine anschließende Funktionsbewertung zu ermöglichen. Dafür wurden u. a. infrastrukturbezogene, objektbezogene und flächenbezogene Maßnahmen ausgewählt (Tabelle 15).

**Tabelle 15 Funktionsbewertung von Maßnahmen zur Starkregen- und Überflutungsvorsorge**

Funktionsbewertung	Potential	Maßnahmen
3	sehr gut	Retentionsräume in multifunktionalen Flächen (abgesenkte Platzflächen, Grünflächen, Parks, Sportplätze, Kinderspielplätze, Stellplätze, Tiefgaragen mit Retentionsfunktion) Retentionsdächer / Blaudächer (blue-green roofs) Zentrale und semizentrale Regenrückhalteräume (RRB, Teiche, Versickerungsbecken) Infrastrukturmaßnahmen (Neigungsanpassung Fahrbahnen, Erhöhung der Fahrbahn-Bordsteine, Vermeidung lokaler Senken) Schaffung von Leitstrukturen (Verwallungen, Erddämme, Schutzmauern, Überflutungswege in Grünkorridoren)
2	gut	Optimierung Entwässerungsnetze Optimierung Gewässerstrukturen (Beseitigung Engstellen, Nutzung Retentionspotential) Zentrale und semizentrale Regen- und Mischwasserbehandlungsanlagen (RÜB, RKB, SRK, RBF) Mulden, Raingarden, Retentionstiefbeete Rigolen (Kiesrigolen, Rohrrigolen, Füllkörperrigolen)
1	eingeschränkt	Regenwassernutzung Bewässerungszisterne Retentionsbäume (Baumrigolen) durchlässige Befestigung Flächenversickerung Gründächer
0	kein	befestigte Flächen

Für die Konzeption von Maßnahmen zur Überflutungsvorsorge müssen unterschiedliche Verantwortlichkeitsbereiche mit ihren diversen Lösungsmöglichkeiten betrachtet werden (Abbildung 22).



**Abbildung 22** Maßnahmenkategorien zur Überflutungsvorsorge (Quelle: DWA-M 119 (2016))

Eine Verminderung bzw. Begrenzung der Überflutungsrisiken durch extreme Starkregen kann nur durch ein koordiniertes und kooperatives Handeln der kommunalen Akteure in der Gesamtheit der aufgeführten Wirkungsbereiche gelingen.

Mit der Wahl und Bewertung der ressortübergreifenden Maßnahmen (innerhalb des Werkzeugkastens / über den Maßnahmenkatalog) und der damit vorausgesetzten Zusammenarbeit verschiedener Fachdisziplinen, kann eine effektive Überflutungsvorsorge erreicht werden.



### 3.3 Potential von blau-grünen Quartierskonzepten zur Anpassung an Transformationsszenarien

Kommunale Infrastrukturen der Niederschlagswasserbeseitigung stehen insbesondere aufgrund von klimatischen Veränderungen vor vielfältigen Herausforderungen. Aus wasserwirtschaftlicher Sicht müssen die Systeme resilient gegenüber Starkregen und Dürre sein. Anpassungsstrategien können nicht allein konventionelle Entwässerungslösungen beinhalten, sondern müssen sich hin zu einer wasserbewussten, blau-grüne Infrastrukturen vorsehenden, Gesamtstrategie entwickeln. Im Sinne eines nachhaltigen Transformationsmanagements müssen bei der Aufstellung auch die zukünftigen Veränderungen beachtet werden.

Im Rahmen einer Fallstudie für einen Quartiersausschnitt in Baukau sollten Erkenntnisse zum Potential von blau-grünen Quartierskonzepten zur Anpassung an Transformationsszenarien gesammelt werden. Die Untersuchung bestand dabei aus den folgenden Arbeitsschritten:

- (1) Definition von Transformationsszenarien und Modellaufbau
- (2) Untersuchung der Resilienz des bestehenden wasserwirtschaftlichen Systems gegenüber veränderlichen Rahmenbedingungen
- (3) Entwicklung von blau-grünen Transformationsstrategien für das Quartier
- (4) Untersuchung der Resilienz des blau-grünen Quartierskonzepts gegenüber veränderlichen Rahmenbedingungen

#### (1) Festlegung Transformationsszenarien und Modellaufbau

In einer ausführlichen Recherche wurden relevante Transformationsszenarien zusammengetragen. Die recherchierten Szenarien betreffen im Besonderen die Entwicklung des Niederschlags, der Temperatur sowie davon abhängig die Verdunstung. Die Szenarien gehen zurück auf den fünften Sachstandsbericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (IPCC 2014) und wurden standortgerecht aufgearbeitet.

Die definierten Transformationsszenarien für den Standort Herne sind in Tabelle 16 und Tabelle 17 zusammengestellt. Die Szenarien werden für den Zeithorizont 2050 und 2100 aufgestellt. Da die Klimaprojektionen eine große Unsicherheit aufweisen, wird ein Möglichkeitsraum aufgespannt, so dass sich ein „Best-Case-Szenario“ sowie ein „Worst-Case-Szenario“ ergeben.

Tabelle 16 Annahme Transformationsszenarien für den Zeithorizont 2050

Szenario Annahme	Parameter	Zeitraum	Auswirkung	Veränderung
<b>Worst-Case-Szenario</b>	Niederschlag	2050	mittl. Niederschlagssumme:	
			Winter	+11%
			Herbst	+4%
			Frühjahr	+6%
			Sommer	-1%
		2050	Starkniederschlag:	
			D=20min (T=2a, 5a, 10a, 30a, 100a)	+10%
			D=30min (T=2a, 5a, 10a, 30a, 100a)	+10%
			D=45min (T=2a, 5a, 10a, 30a, 100a)	+10%
			Temperatur	2050
<b>Best-Case-Szenario</b>	Niederschlag	2050	mittl. Niederschlagssumme:	
			Winter	+5%
			Herbst	+3%
			Frühjahr	+7%
			Sommer	-3%
		2050	Starkniederschlag:	
			D=20min (T=2a, 5a, 10a, 30a, 100a)	0%
			D=30min (T=2a, 5a, 10a, 30a, 100a)	0%
			D=45min (T=2a, 5a, 10a, 30a, 100a)	0%
			Temperatur	2050

Tabelle 17 Annahme Transformationsszenarien für den Zeithorizont 2100

Szenario Annahme	Parameter	Zeitraum	Auswirkung	Veränderung
<b>Worst-Case-Szenario</b>	Niederschlag	2100	mittl. Niederschlagssumme:	
			Winter	+24%
			Herbst	+7%
			Frühjahr	+12%
			Sommer	-12%
		2100	Starkniederschlag:	
			D=20min (T=2a, 5a, 10a, 30a, 100a)	+20%
			D=30min (T=2a, 5a, 10a, 30a, 100a)	+20%
			D=45min (T=2a, 5a, 10a, 30a, 100a)	+20%
			Temperatur	2100
<b>Best-Case-Szenario</b>	Niederschlag	2100	mittl. Niederschlagssumme:	
			Winter	+5%
			Herbst	+0%
			Frühjahr	+4%
			Sommer	-4%
		2100	Starkniederschlag:	
			D=20min (T=2a, 5a, 10a, 30a, 100a)	+1,1%
			D=30min (T=2a, 5a, 10a, 30a, 100a)	+1,1%
			D=45min (T=2a, 5a, 10a, 30a, 100a)	+1,1%
			Temperatur	2100

Der für die Untersuchung gewählte Quartiersausschnitt liegt in Herne-Baukau. Er ist in Abbildung 23 dargestellt. Die Fläche des Gebietes beträgt ca. 13,4 ha und wird konventionell im Mischsystem entwässert. Eine Übersicht zur Flächenzusammensetzung gibt Tabelle 18. Maßnahmen zur Regenwasserbewirtschaftung bestehen im Gebiet nicht.

Die Untersuchung erfolgt mit dem in Kapitel 2.1.3 beschriebenen Modell „SWMM-UrbanEVA“ (Hörschemeyer et al. 2021a). Zur Untersuchung von Veränderungen der Wasserbilanz bei veränderlichen mittlerer Niederschlagssumme und mittlerer Temperatur werden Langzeitsimulationen durchgeführt. Zum Modellaufbau werden Daten des Deutschen Wetterdienst (DWD) genutzt und entsprechend den definierten Transformationsszenarien manipuliert. Das Jahr 2016 wird als geeignetes Referenzjahr für die Manipulation der Zeitreihen ausgewählt. Es entspricht in dem Zeitraum 1995-2020 beinahe dem durchschnittlichen mittleren Jahresniederschlag von 733 mm. Zusätzlich entspricht das Jahr 2016 im Temperaturvergleich auch nahezu der durchschnittlichen Jahrestemperatur im Zeitraum 1995-2020. Die Klimadaten werden entsprechend Tabelle 16 und Tabelle 17 manipuliert und als Eingangsdaten für das Modell genutzt.

Zur Untersuchung der Einflussnahme veränderlicher Starkregencharakteristika werden dagegen KOSTRA-Daten für den Standort FMO für die angegebenen Dauerstufen manipuliert.

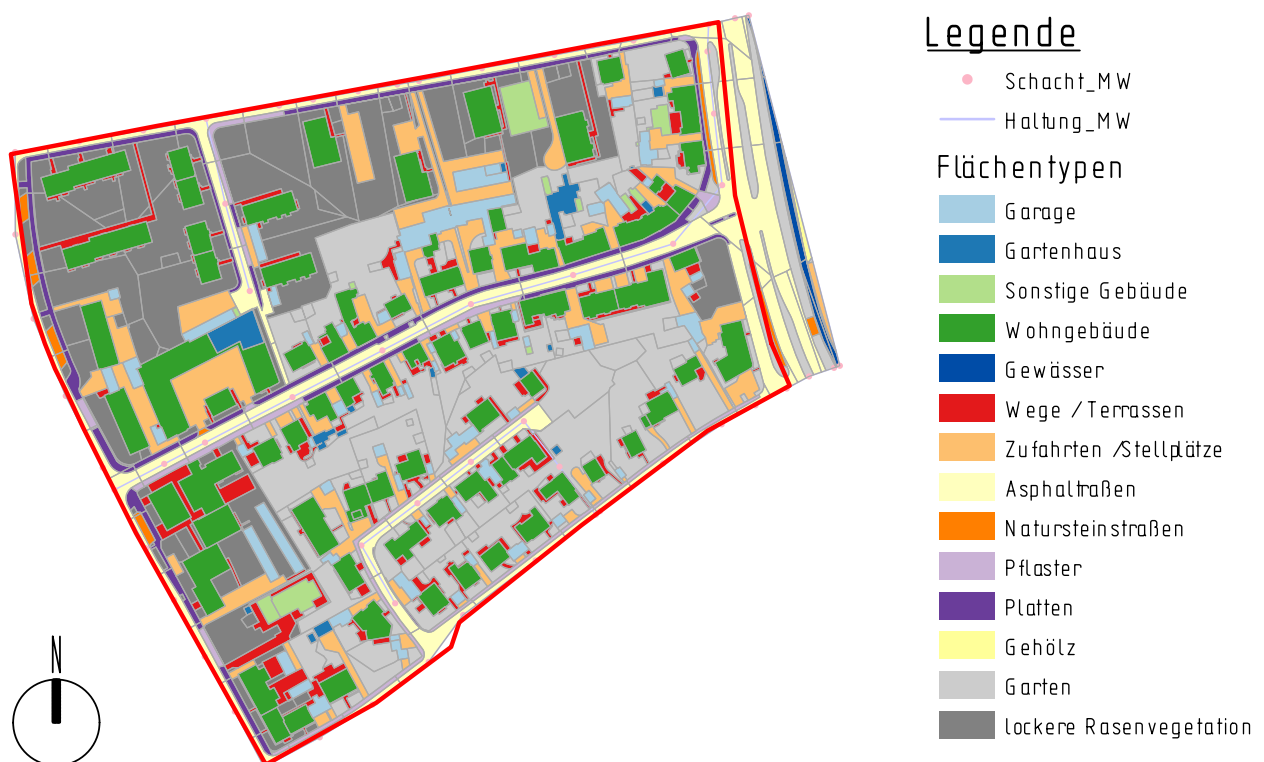


Abbildung 23 Untersucher Quartiersausschnitt in Herne-Baukau

**Tabelle 18** Flächenzusammensetzung Untersuchungsgebiet

Flächenart	Fläche (ha)	Anteil (%)
Gebäude	2,9	22
Vegetation	5,8	43
Straße	2,8	20
sonstige Versiegelungen	2,00	15
<b>Summe</b>	<b>13,4</b>	<b>100</b>

(2) Untersuchung bestehendes Quartier

Die Auswertungen für das bestehende Quartier werden hier nicht im Detail ausgeführt. Detaillierte Ergebnisse befinden sich in Anhang 2.

Die Auswertung der Wasserbilanz bei veränderter Niederschlagssumme und Temperatur zeigt nur geringfügige Abweichungen ( $\leq 0,03$ ) im Vergleich zum Referenzjahr. Auffällig ist, dass sich Grundwasserneubildung und Verdunstung in gegenläufige Richtungen entwickeln. Aus diesem Grund ist zu vermuten, dass die Abweichung der Wasserbilanzanteile auch bei der Änderung von beiden Parametern nicht einen Anteil auffällig hervorheben, sondern sich miteinander verrechnen.

Bei der Auswertung von veränderten Starkregen-Charakteristika ergibt sich wie erwartet eine Zunahme von Abflussspitzen, Überlastung und Überflutung. Abflussspitzen und Überlastung von Schächten nehmen insbesondere für kleine Jährlichkeiten zu ( $T=2$  und  $T=5$ ) zu. Bei großen Jährlichkeiten ergibt sich eine deutliche Zunahme der überfluteten Schächte und der Überflutungsvolumina.

(3) Aufstellung einer blau-grünen Transformationsstrategie

Die vorherige Auswertung zeigt, dass hinsichtlich der Wasserbilanz keine nennenswerten Abweichungen stattfinden, so dass ein Konzept für den Referenzzustand im Jahr 2016 erstellt werden kann. Der Wasserhaushaltsnachweis wird in Anlehnung an das (DWA-M 102-4/ BWK-M 3-4 2022) durchgeführt. Daraus ergibt sich, dass Maßnahmen zur Abflussminderung, zur Grundwasserneubildung und zur Verdunstungsförderung getroffen werden müssen. Bei der Betrachtung der Starkregenereignisse sind deutlichere Steigerungen zu erkennen, sodass zusätzlich ein Fokus auf die Abflussminderung und die Abflussspitzenreduktion gelegt wird.

Als Maßnahmen werden

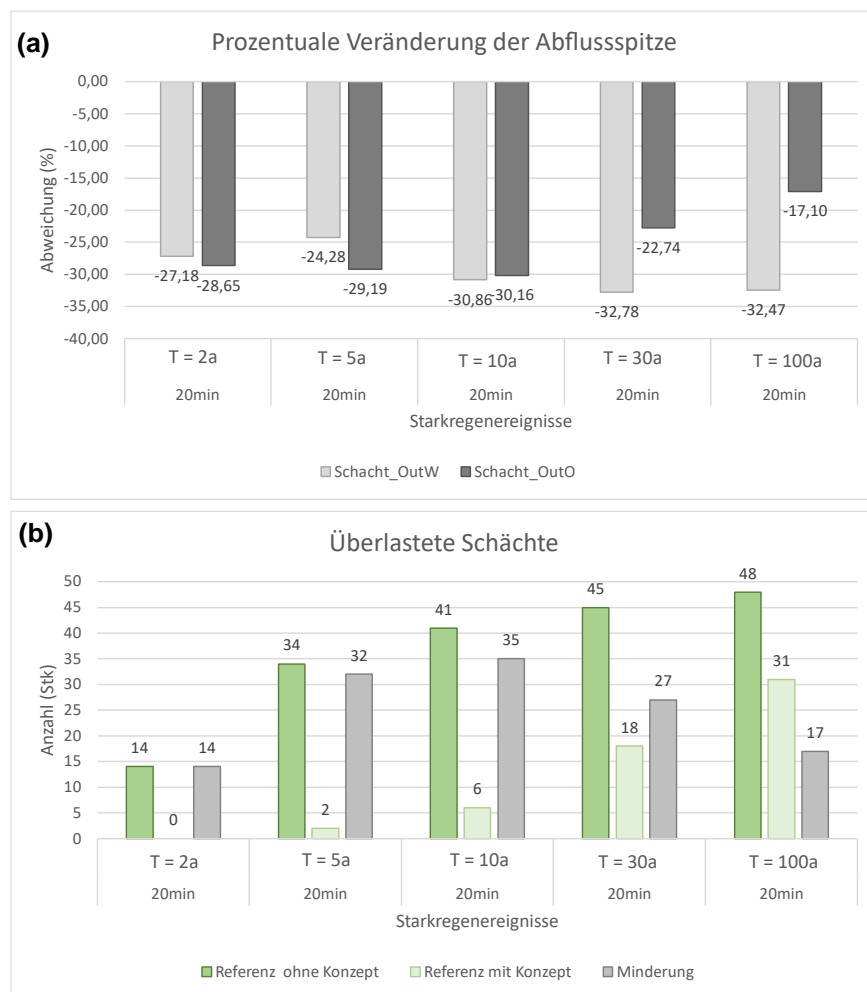
- Begrünung von Freiflächen,
- Begrünung der Garagendächer,
- Raingarden und
- Regenwassernutzung zur Bewässerung

gewählt. Die Begrünung der Freiflächen erfolgt durch die Bepflanzung der öffentlichen Vegetationsflächen, die an der Straße liegen. Der Raingarden wird als Versickerungsmaßnahme gewählt, da er durch seine Ausführung eine höhere Verdunstung aufweisen kann und somit die Verdunstungsförderung unterstützt. Die Entwässerungswege des Konzepts sind in Abbildung A 18 im Anhang 2 zusammengefasst.

#### (4) Untersuchung des blau-grünen Quartierskonzepts

Das entwickelte Transformationskonzept wird hinsichtlich der Wasserbilanz und dem Verhalten bei Starkregen im Referenzjahr und unter Annahme der Transformationsszenarien untersucht.

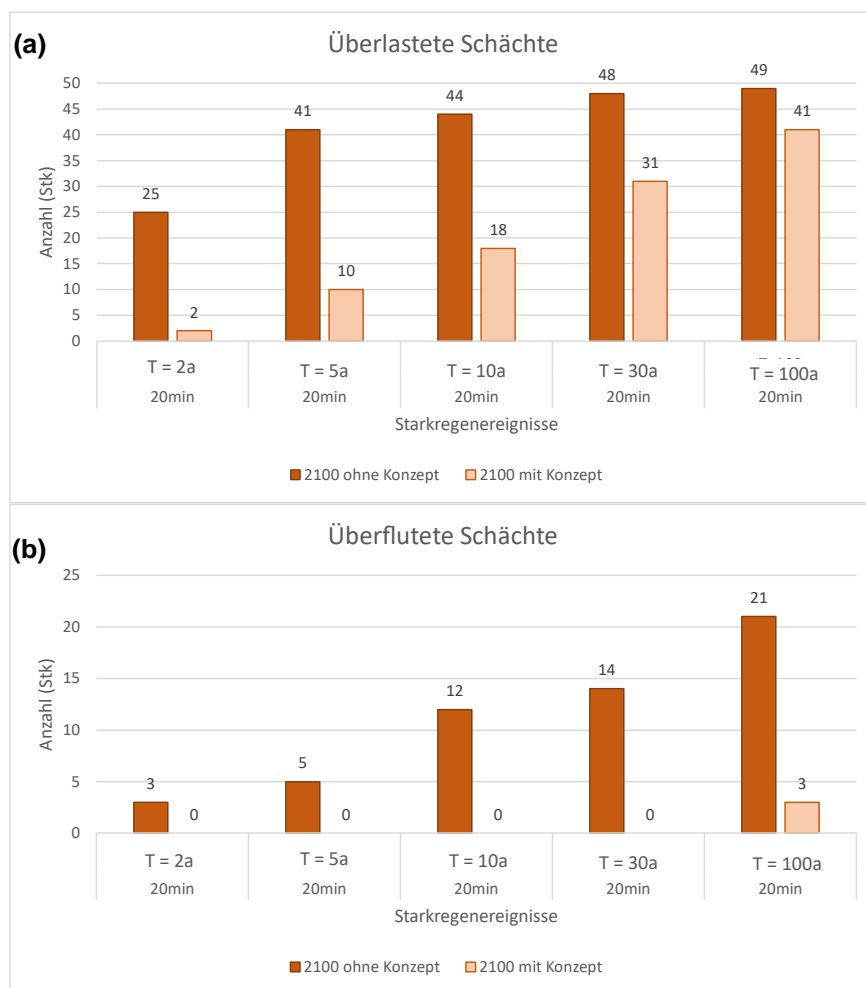
Hinsichtlich der Wasserbilanz wirkt sich das Konzept positiv auf die Anpassung an den Wasserhaushalt im unbebauten Zustand aus. Wie nach den vorherigen Erkenntnissen zu erwarten war, haben die projizierten Transformationsszenarien hinsichtlich der Niederschlagssummenänderung und der Temperatursteigerung keine weiteren relevanten Auswirkungen auf den Wasserhaushalt. Weitergehende Ergebnisse sind in Anhang 2 hinterlegt.



**Abbildung 24** Veränderung von (a) Abflussspitze und (b) der Zahl der überlasteten Schächte für das Referenzereignis bei einer Dauerstufe D=20min

Die Auswertung der Wirkung des Transformationskonzepts für das Referenzereignis ergibt maßgebliche Minderungen der Abflussspitzen in den betrachteten Schächten (Abbildung 24 a). Auch die Zahl der überlasteten Schächte nimmt deutlich ab (Abbildung 24 b). Eine Überflutung von Schächten wird sogar vollständig verhindert.

Der Vergleich der projizierten Starkregenereignisse 2100 mit und ohne Transformationskonzept gibt Hinweise auf die Wirksamkeit der blau-grünen Infrastrukturen im Vergleich zur konventionellen Entwässerung. Die Ergebnisse zeigen sehr deutlich die positive Einflussnahme des blau-grünen Transformationskonzepts auf das Überlastungs- und Überflutungsverhalten des Kanalsystems. Insbesondere bei den kleinen Jährlichkeiten ( $T=2-10$ ) können blau-grüne Infrastrukturen eine Überlastung von Schächten reduzieren (Abbildung 25 a). Bei größeren Jährlichkeiten ( $T=30$  und  $T=100$ ) ist ebenfalls eine Reduzierung zu beobachten. Die Überflutung wird im Vergleich zur konventionellen Entwässerung bis auf ein 100-jährliches Ereignis verhindert (Abbildung 25 b). Insbesondere auch in Relation zu den überlasteten Schächten zeigt sich hier, wie leistungsfähig blau-grüne Transformationskonzepte auch bei veränderlichen Rahmenbedingungen sein können.



**Abbildung 25 Vergleich von überlasteten (a) und überfluteten (b) Schächten mit und ohne Transformationskonzept für das „Worst-Case-Szenario“ des Zeithorizont 2100**

Zusammenfassend lässt sich für das Potential von blau-grünen Quartierskonzepten zur Anpassung an Transformationsszenarien festhalten:

- Die konventionelle Entwässerung ist den zukünftigen klimatischen Entwicklungen nicht gewachsen. Insbesondere im Starkregenfall sind hohe Überlastungs- und Überflutungsanteile zu erwarten.
- Die Wasserbilanz eines Quartiers wird dagegen durch veränderliche Jahresniederschlagssummen oder Temperaturen nicht maßgeblich beeinflusst. Insbesondere bei gemeinsamer Betrachtung heben sich die Effekte gegenseitig auf. Dennoch sollte eine Annäherung an den Wasserhaushalt des unbebauten Zustands immer im Auge behalten werden.
- Blau-grüne Quartierskonzepte mindern Abflussspitzen und Überlastungs- bzw. Überflutungszustände des Kanalsystems maßgeblich. Dies gilt sowohl für den Referenzzustand sowie die betrachteten Transformationsszenarien. Zwar können nicht alle Überlastungszustände der Schächte verhindert werden, jedoch werden Überflutungsereignisse deutlich seltener.
- Anmerkung: Die hier getätigten Aussagen beziehen sich lediglich auf eine Betrachtung des Kanalnetzes inkl. blau-grüner Infrastrukturen. Die Abflüsse an der Oberfläche wurden nicht weitergehend ausgewertet.

### 3.4 Maßnahmenkatalog: Werkzeugkasten blau-grüne Infrastruktur

Im interdisziplinären Maßnahmenkatalog werden Maßnahmen des Niederschlagswassermanagements zusammengestellt. Ziel ist es die Stärken und Schwächen, die bei der Entscheidungsfindung, Bemessung und im Betrieb beachtet werden müssen, für den Anwender übersichtlich zusammenzufassen. Neben fachspezifischen Aspekten sollen dabei auch interdisziplinäre Aspekte der Ressourcennutzung eingebracht werden. Der Maßnahmenkatalog baut auf (Riechel et al. 2017) auf und ergänzt die Steckbriefe um aktuelle Erkenntnisse der Fachwelt, Hinweisen zu Maßnahmenkombinationen und ökobilanziellen Aspekten.

Die folgenden Maßnahmen wurden als Steckbrief aufbereitet:

- (1) Fassadenbegrünung
- (2) Stadtgrün
- (3) Gründach
- (4) Dachgarten
- (5) Blue roof
- (6) Bewässerung
- (7) Regenwassernutzung
- (8) kombinierte Regen- und Grauwassernutzung
- (9) Entsiegelung
- (10) Flächen- & Muldenversickerung
- (11) Schachtversickerung
- (12) Rigolen- und Rohrrigolenversickerung
- (13) Mulden-Rigolen-Element/-System
- (14) Regengarten
- (15) Baumrigole
- (16) Multifunktionale Rückhalteräume

Der Maßnahmenkatalog ist unter [www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe](http://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe) als Online-Anwendung einsehbar. Neben den Maßnahmen des Niederschlagswassermanagements umfasst er weitere Maßnahmen der Sektoren Schmutzwasser, Energie und Baustoffe.

Als Print-Version können die Steckbriefe darüber hinaus als Teil 3.3 des „Leitfaden RessourcenPlan“ auf der Projekthomepage ([www.fh-muenster.de/r2q-leitfaden-ressourcenplan](http://www.fh-muenster.de/r2q-leitfaden-ressourcenplan)) heruntergeladen werden.



## II. Bewertung

## 4 Systemisch-sektorale Bewertung

### 4.1 Methodik

Der Bewertungsansatz ist als Soll-Ist-Vergleich konzipiert und ist in Abbildung 26 zusammengefasst. Um den Bearbeitungsaufwand möglichst gering zu halten, orientiert er sich an bestehende Regularien und Nachweisen. Als Betrachtungsraum dient das gesamte wasserwirtschaftliche System vom Ort des Niederschlagswasseranfalls im Quartier bis zum Gewässer einschließlich aller dazugehörigen Infrastrukturen (Kanalisation, Entlastungsbauwerke, blau-grüne Infrastrukturen etc.). Mit Hilfe der für den RessourcenPlan entwickelten vereinfachten Betrachtungen und/ oder siedlungswasserwirtschaftlichen Simulationsmodellen (Kapitel 2.1) werden Defizite des wasserwirtschaftlichen Systems herausgearbeitet und anhand von System- bzw. Gebietscharakteristika davon die Zielgrößen für das spezifische Quartier abgeleitet. Die Analyse und Bewertung erfolgen mithilfe ausgewählter Indikatoren. Die Rahmenbedingungen der Betrachtungen setzen sich aus gesetzlichen Reglementierungen sowie siedlungswasserwirtschaftlichen Nachweisen zusammen.

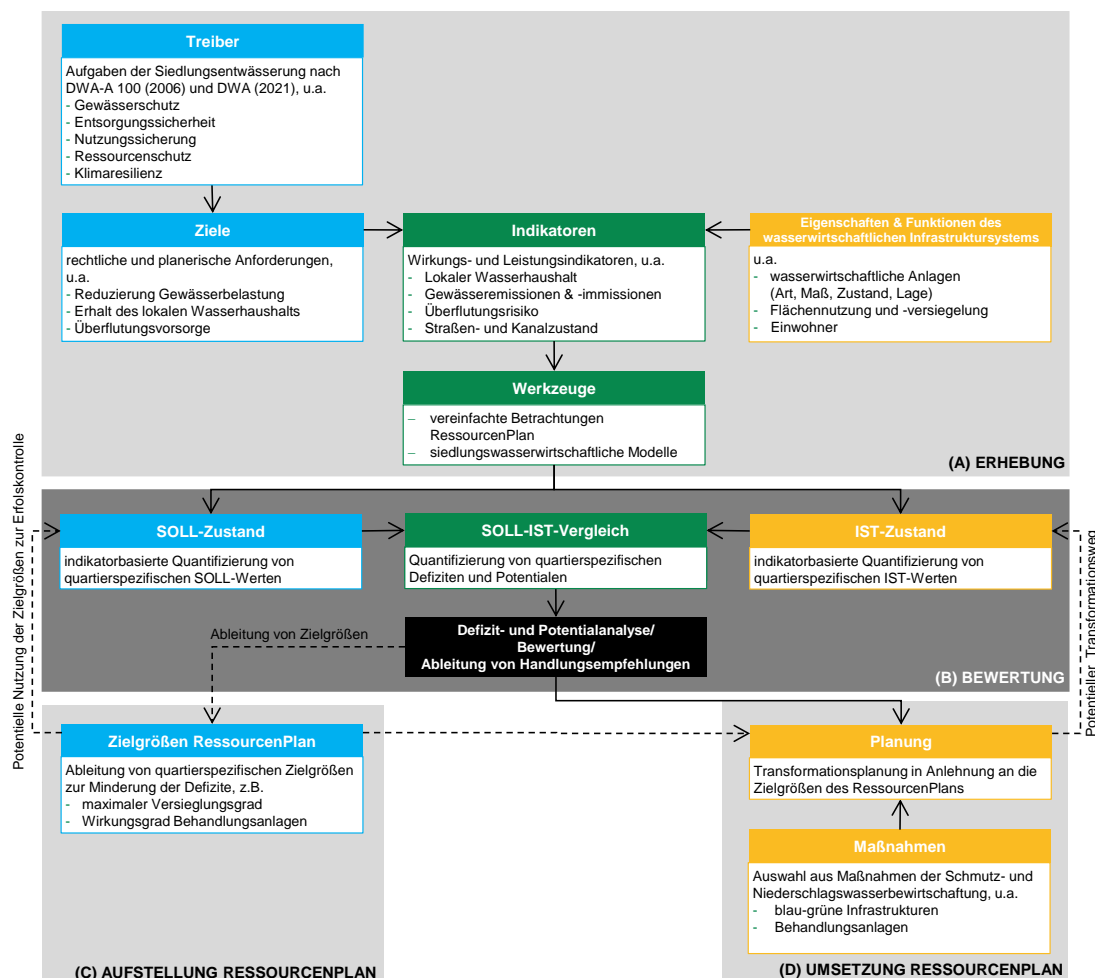


Abbildung 26 Bewertungsansatz für Niederschlagswasser im Quartier

Die Bewertung wird in vier Teilschritten durchgeführt. Im Rahmen der *Erhebung (A)* werden relevante Treiber im Quartier identifiziert und daraus Ziele für das Quartier abgeleitet. Die Treiber definieren sich aus den klassischen Aufgaben der Siedlungsentwässerung. Diese umfassen den Gewässerschutz, die Entsorgungssicherheit, die Nutzungssicherung, den Ressourcenschutz und die Klimaresilienz. Entsprechend setzt sich der RessourcenPlan aus wasserwirtschaftlicher Sicht zum Ziel, dass innerhalb des kommunalen Planungs- und Abwägungsprozesses die wasserwirtschaftlichen Belange ausreichend Beachtung finden und gleichwohl den fachlichen und methodischen Anforderungen einer integralen Entwässerungsplanung (Entsorgungssicherheit, Gewässerschutz und Nutzungssicherung; DWA-A 100 2006) sowie einer wasserbewussten Stadtentwicklung (DWA 2021) entsprechen. Zusätzlich können lokale Bedarfe als Treiber angesetzt werden (z. B. Baden im Gewässer, besondere Anforderungen Ableitung).

Zur Erfolgskontrolle werden die Ziele als Indikatoren formuliert und mit den im Kapitel 2.1 beschriebenen Instrumenten untersucht. Da es sich um eine Betrachtung in frühen Planungsphasen handelt, reichen die beschriebenen vereinfachten Betrachtungen aus. Für den Fall, dass für den Betrachtungsraum bereits detailliertere Analysen bestehen, können diese selbstverständlich anstelle der vereinfachten Betrachtungen herangezogen werden. In Abhängigkeit der betrachteten Indikatoren werden unterschiedliche Daten erhoben. Die notwendigen Daten sind im Leitfaden RessourcenPlan, Teil 3.1, zusammengefasst.

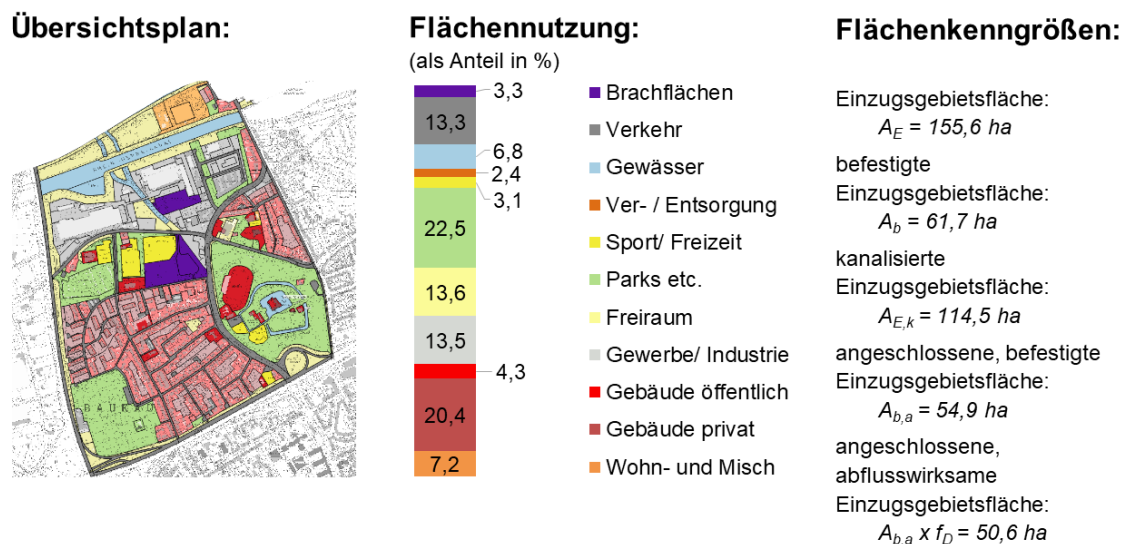
Im zweiten Schritt, der eigentlichen *Bewertung (B)*, werden die ermittelten Ist-Größen des Quartiers indikatorbasiert den Soll-Größen gegenübergestellt. Aus den Differenzen können Defizite quantifiziert und Handlungsempfehlungen abgeleitet werden. Der Soll-Ist-Vergleich kann einerseits bei der Aufstellung, andererseits aber auch bei der Umsetzung des RessourcenPlans eingesetzt werden.

In der Phase der *Aufstellung des RessourcenPlans (C)* können Zielgrößen hergeleitet werden, die die notwendige Transformation bis zur Zielerreichung vereinfacht darstellen. Sie können im RessourcenPlan rechtlich verbindlich festgelegt werden und dienen in der späteren Anwendung zur Orientierung für Planer\*innen sowie zur vereinfachten Erfolgskontrolle. Als „direkte Zielgrößen“ können sie einerseits als Maßnahmenempfehlungen für die Regenwasserbehandlung (z.B. Wirkungsgrad, Rückhalteleistung) oder die -bewirtschaftung mit blau-grünen Infrastrukturen (z.B. Gebot bestimmter Maßnahmen) formuliert werden. Alternativ drücken „indirekte Zielgrößen“ (z.B. der Versiegelungsgrad oder Abkopplungsgrad) die Wirkzusammenhänge zwischen der Flächennutzung und den Wirkindikatoren aus. In den in Kapitel 2.1.1 beschriebenen vereinfachten Betrachtungen zur Aufstellung des RessourcenPlans ist die Herleitung dieser Zielgrößen bereits inkludiert.

Bei der Umsetzung des RessourcenPlans (D) werden Transformationsplanungen für das gesamte Quartier oder Teilausschnitte aufgestellt. Für eine schnelle Erfolgskontrolle der Planungen können die o.g. Zielgrößen herangezogen werden. Bei Bedarf kann der gesamte Soll-Ist-Vergleich erneut durchgeführt werden. Detailanalysen der Objektplanung können jedoch nicht ersetzt werden.

## 4.2 Quartier Baukau

Das Quartier „Baukau“ liegt im Norden der Ruhrgebietsstadt Herne. Ein Übersichtsplan sowie Informationen zur Flächennutzung und Flächenkenngrößen sind in Abbildung 27 zusammengestellt. Der durch die Autobahn A43 und A42 begrenzte Bereich bildet ein in sich relativ geschlossenes Quartier aus den 1950er und 1960er Jahren mit einer gemischten Struktur aus Ein- und Zweifamilienhäusern, Geschosswohnungsbeständen, teilweise als Hochhäuser und einem funktionslosen ehemaligen Nahversorgungszentrum und einem Friedhof. Der Schlosspark Strünkede im Südosten grenzt an das überwiegend altbaulich geprägte Quartier um die Bahnhofstraße. Die in der Entwicklung befindliche Fläche des ehemaligen Baukauer Kirmesplatzes in der nördlichen Mitte des Quartiers soll zukünftig ein neues Quartierszentrum („Dienstleistungspark Schloss Strünkede“) bilden. Das sich nördlich anschließende Gewerbegebiet Forellstraße mit dem Standort des Innovationszentrums Herne bildet den Abschluss zum Rhein-Herne-Kanal im Norden.



**Abbildung 27** Übersichtsplan, Flächennutzung und Flächenkenngrößen des betrachteten Quartiers Herne-Baukau

Das Gebiet wird im Mischsystem entwässert. Es wird nach Norden hin begrenzt durch die Emscher. Die Ableitung des Gebietsabflusses erfolgt über den südlich der Emscher gelegenen „Abwasserkanal Emscher“.

Durch das Gebiet fließt außerdem von Südosten nach Nordwesten der Ostbach. Aktuell noch abwasserführend, soll er im Rahmen des Emscher-Umbaus abwasserfrei werden. Bis nördlich des Schloss Strünkede ist er verrohrt. Zurzeit wird eine Offenlegung bis zur Einleitung in die Emscher fertiggestellt.

Wie in Abbildung 28 dargestellt, liegen im Quartier vorwiegend Sande und Lehme vor. Der flächengewichtete mittlere Durchlässigkeitsbeiwert liegt bei  $k_f = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ . Der Grundwasserflurabstand liegt bei mindestens 1,3 m u. GOK. Somit kann der Untergrund weitestgehend als gut sickertfähig bewertet werden.

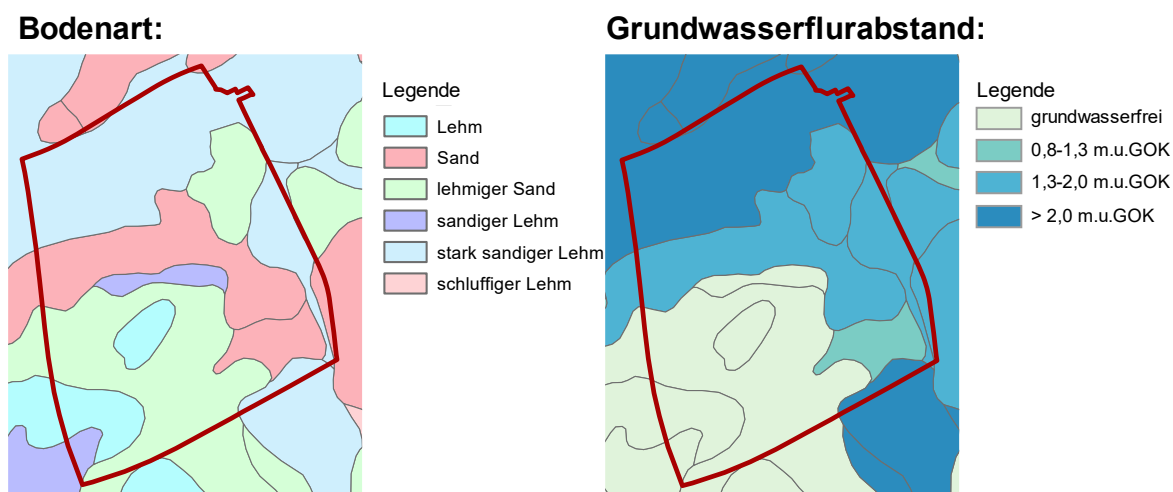


Abbildung 28 Bodenart und Grundwasserflurabstand für das Quartier Herne-Baukau. Entnommen aus der BK 50 (Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen 2022a)

## 4.2.1 Wasserhaushalt

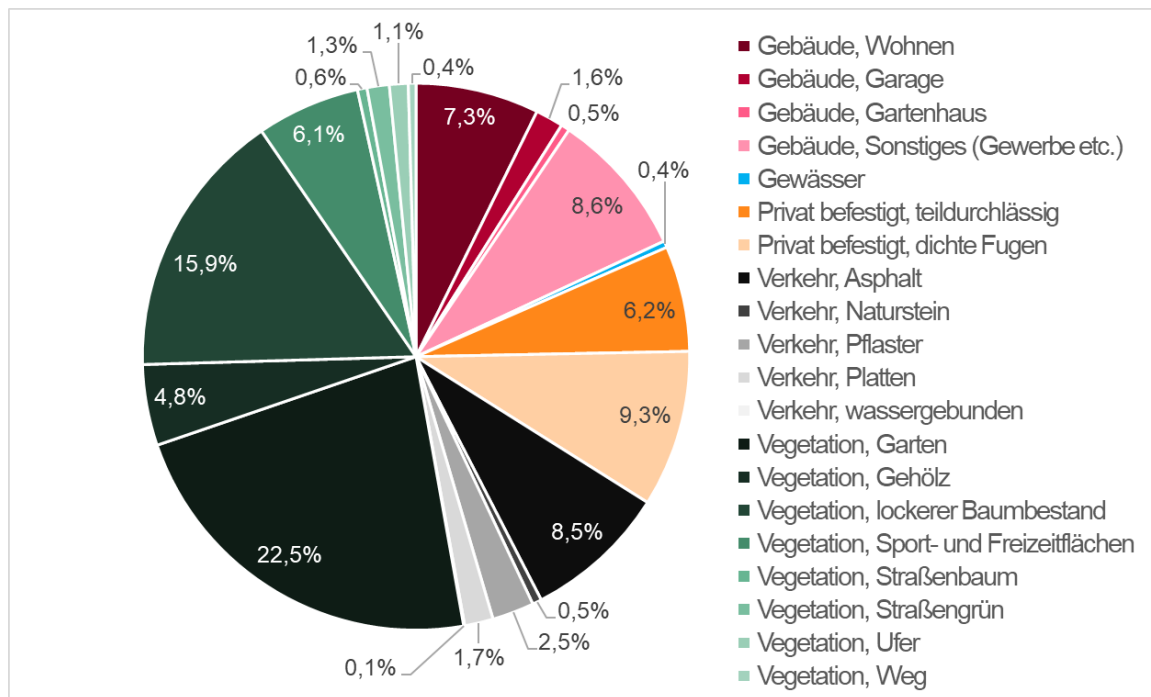
### 4.2.1.1 IST-Zustand

Die Betrachtung des Wasserhaushalts erfolgt, wie in Kapitel 2.1.1 beschrieben, auf Grundlage des DWA-A 102-2/ BWK-A 3-2 (2020) bzw. DWA-M 102-4/ BWK-M 3-4 (2022). Zur Durchführung des Wasserhaushaltsnachweises wird die Software „Wasserbilanz-Expert“ (DWA 2017) genutzt.

Die zugrundeliegenden Eingangsgrößen sind in Tabelle 19 hinterlegt. Der Wasserhaushalt im unbebauten Zustand wird auf Grundlage des „Hydrologischen Atlas Deutschland“ (HAD) (Bundesanstalt für Gewässerkunde 2022) bestimmt. Die Anteile der Wasserbilanz ergeben sich demnach zu 32% Abfluss, 20% Grundwasserneubildung sowie 48% Verdunstung. Der Durchlässigkeitsbeiwert wird als flächengewichteter Mittelwert der BK 50 (Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen 2022a) ermittelt.

Tabelle 19 Eingangsgrößen der Wasserhaushaltsbilanzierung für das Quartier Herne-Baukau

Datensatz	Einheit	Wert	Quelle
<b>Hydrologische Kennwerte:</b>			
mittlerer jährlicher Niederschlag P (unkorrigiert)	mm/a	850	HAD
mittlerer jährlicher Niederschlag P <sub>Korr</sub> (korrigiert)	mm/a	950	HAD
<b>Wasserhaushalt unbebauter Zustand:</b>			
mittlere jährliche potentielle Grasreferenzverdunstung ET <sub>0</sub>	mm/a	588	HAD
mittlere jährliche Direktabflusshöhe R <sub>D</sub>	mm/a	299	HAD
mittlere jährliche Grundwasserneubildung GWN	mm/a	192	HAD
mittlere jährliche Verdunstung ET <sub>a</sub>	mm/a	459	HAD
<b>Bodenkundliche Kenndaten:</b>			
Durchlässigkeitsbeiwert des Bodens für das Quartier k <sub>f</sub>	mm/h	42,6	BK50



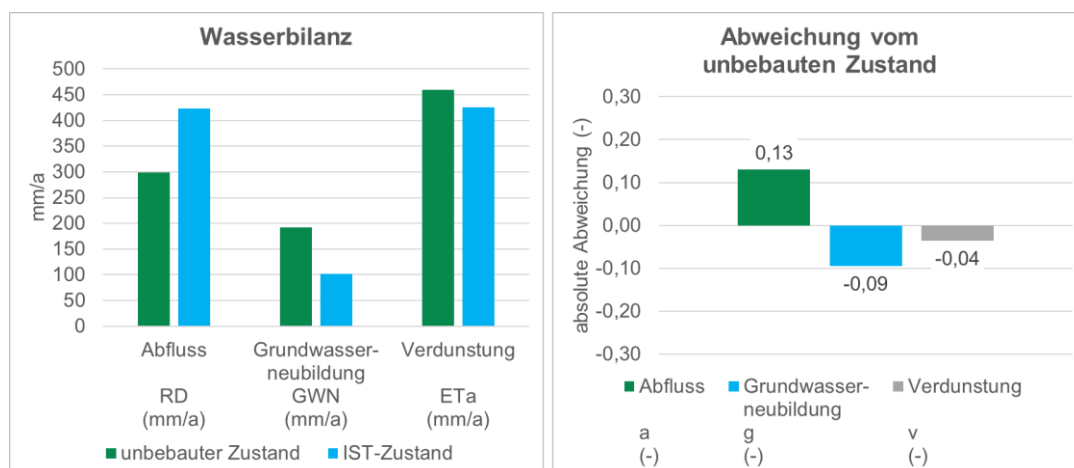
**Abbildung 29 Flächennutzung im Quartier Herne-Baukau**

Als Eingangsdaten der Flächen gehen GIS-Auswertungen der Flächenart und -nutzung in die Auswertung ein. Grundlage der ausgewerteten GIS-Daten war das öffentlich zugängliche „Amtliche Liegenschaftskatasterinformationssystem“ (ALKIS). Ergänzt wurde es durch nähergehende Daten, die durch die Stadt Herne zur Verfügung gestellt wurden: Befestigungsart öffentliche Verkehrsflächen; befestigte Flächen, differenziert nach Kategorien der Emschergenossenschaft und Lippeverband (EGLV); Datensätze „Vegetation“ und „Gewässer“. Die eingegebenen Daten werden in Abbildung 29 zusammengefasst. Hätten die weitergehenden Datensätze seitens der Stadt Herne nicht zur Verfügung gestanden, wäre eine vereinfachte Betrachtung rein auf Grundlage des ALKIS für erste Aussagen ebenfalls möglich gewesen.

Die Ergebnisse der Wasserhaushaltsbilanzierung (Abbildung 30) weisen einen um 13%-Punkte erhöhten Abflussanteil auf. Auf der anderen Seite besteht ein Defizit um 9%-Punkten für Grundwasserneubildung und 4%-Punkten für Verdunstung. Die Ergebnisse geben Orientierung für die notwendige Transformation des Quartiers. Demnach müssen bei einer Umgestaltung des Quartiers abflussmindernde Maßnahmen umgesetzt werden, die sowohl die Verdunstung als auch die Grundwasserneubildung fördern.

Weitergehende Hilfestellung für die Bewertung und Erfolgskontrolle zukünftiger Planungsvorhaben können die Kapitel 2.1.1 beschriebenen planerischen Zielgrößen sein. Als Toleranzwert für die Abweichung vom Wasserhaushalt wird ein Grenzwert von  $\pm 5\%$ -Punkten angenommen. Davon ausgehend wird überschlägig der Versiegelungsgrad als Orientierungswert für die Einhaltung der Wasserhaushaltskomponenten berechnet. In diesem Fall ist aufgrund der Einhaltung des Toleranzwertes Verdunstung nur zwei Wert für die Minderung des Abflussanteils sowie die Förderung der Grundwasserneubildung anzugeben. Die Berechnung ergibt, dass der

Planer bei einer versiegelten Fläche von 49% der aktuell versiegelten Fläche für die Komponente Abfluss eine Abweichung des Wasserhaushalts vom naturnahen Zustand um maximal  $\pm 5\%$ -Punkten einhält. Zur Einhaltung des Toleranzwertes der Grundwasserneubildung dürften noch 87% der aktuell versiegelten Fläche versiegelt sein. Angenommen wird bei der Herleitung dieser Zielgrößen eine einfache Entsiegelung und Bepflanzung der Flächen. Besonders grundwasserneubildungs- oder verdunstungsfördernde Maßnahmen können den Entsiegelungsbedarf mindern.

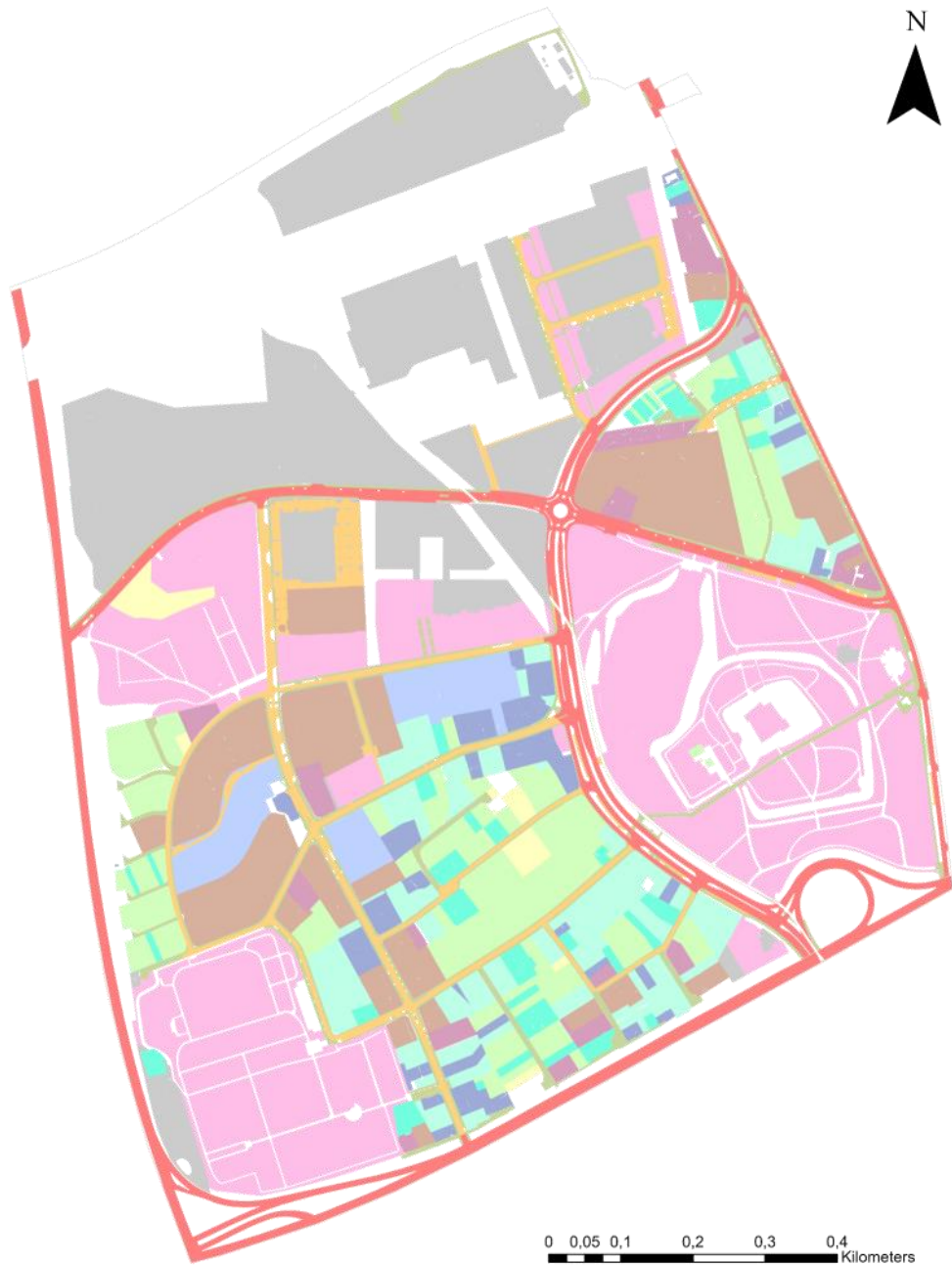


**Abbildung 30** Ergebnisse der Wasserhaushaltsbilanzierung des IST-Zustands für das Quartier Herne-Baukau

#### 4.2.1.2 PLANUNG

Die Planung wird mit dem in Kapitel 2.2 beschriebenen Verfahren zur Aufstellung von wasserwirtschaftlicher Transformationsplanungen hergeleitet. Sie ist in Abbildung 31 abgebildet. In Abhängigkeit der verschiedenen städtebaulichen Bauungsstrukturen („Klassen“, farbliche Schattierung) ordnet sie geeignete Maßnahmenkombinationen (Zahlen 1-8) zu. Vorgesehen werden Maßnahmen der Dachbegrünung, Versickerung, Regenwassernutzung und Entsiegelung. Dachbegrünungen können auf Flachdächern, beispielsweise auf bestehenden Garagendächern umgesetzt werden. Für die Etablierung von Versickerungsanlagen kann eine Einleitung der privaten befestigten Flächen (Dach, Hofflächen) vorgesehen werden. Die Regengärten sind dabei Versickerungselemente, die mit besonders verdunstungsstarker Vegetation versehen sind, so dass sie einerseits die Verdunstung im Besonderen fördern, aber andererseits durch die üppige Vegetation auch eine gestalterische Funktion übernehmen. Die Regenwassernutzung wird in Abhängigkeit der eigentumsrechtlichen Gegebenheiten, der baulichen Struktur der Gebäude sowie der versiegelten Flächen zur Bewässerung und/ oder zur Toilettenspülung vorgesehen. Zur Entsiegelung bieten sich Hof- und versiegelte Gartenflächen an. Im Bereich von Gärten oder Innenhofsituation kann eine vollständige Entsiegelung und Umwandlung zu Grünflächen infrage kommen. Für Flächen deren Befahr- bzw. Begehbarkeit auch weiterhin gewährleistet sein muss, kann in Abhängigkeit der Anforderungen eine Umwandlung in teildurchlässige Flächenbeläge vorgesehen werden.





0 0,05 0,1 0,2 0,3 0,4 Kilometers



**Legende**

<p> Klasse 1 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧</p> <p> Klasse 2 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧</p> <p> Klasse 3 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧</p> <p> Klasse 4 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧</p> <p> Klasse 5 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧</p> <p> Klasse 6 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧</p> <p> Klasse 7 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧</p>	<p> Klasse 8 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧</p> <p> Klasse 10 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧</p> <p> Klasse 20 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧</p> <p> Straße Belastungsklasse1 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧</p> <p> Straße Belastungsklasse2 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧</p> <p> Straße Belastungsklasse3 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧</p>	<p> Ohne Klassenzuordnung ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧</p> <p>① Gründächer extensiv</p> <p>② Gründächer intensiv</p> <p>③ Versickerungsmulden</p> <p>④ Raingarden</p> <p>⑤ RWN Bewässerung</p> <p>⑥ RWN WC-Spülung</p> <p>⑦ Entsiegelung</p> <p>⑧ Umbau versiegelter Fläche</p>
--	---	--

Die Klassen werden in Abhängigkeit von Gebäudestruktur, Nutzerstruktur der Außenanlagen und Versiegelungsgrad bestimmt. Nähere Informationen im "Leitfaden RessourcenPlan".

Abbildung 31 Entwickelte Transformationsplanung für das Quartier Baukau

Im öffentlichen Verkehrsraum können dezentrale Regengärten die Straßenabflüsse aufnehmen. Dabei ist jedoch die Behandlungsbedürftigkeit der Abflüsse zu beachten, so dass behandlungsbedürftige Abflüsse keinesfalls unbehandelt in den Untergrund versickern. Werden die Regengärten als dezentrale Behandlungselemente im Sinne eines Retentionsbodenfilters konfiguriert, kann die Versickerung in den Untergrund geprüft werden. Andernfalls können die Elemente mit einer Abdichtung nach unten versehen werden, so dass sie zur Retention und Verdunstungsförderung beitragen, die Abflüsse jedoch deutlich verzögert dem Kanalnetz zugeführt werden. Eine Reihenschaltung mehrerer Elemente ist denkbar und kann die Effekte verstärken.

Für die aktuell in Bau und Planung befindliche „Neue Mitte Strünkede“ wird ein Planungsstand angenommen, der sich am Bearbeitungsstand im Frühjahr 2022 orientiert (Abbildung 32). Das neu erschlossene Gebiet wird, anders als der Rest des Quartiers, im Trennsystem entwässert. Das Niederschlagswasser wird über eine zentrale Grünachse abgeleitet. Im Westen des Gebiets wird ein Nahversorgungszentrum vorgesehen, dessen Dach als begehbare Dachgarten gestaltet ist. Die Abflüsse der umliegenden Bürogebäude werden zur Bewässerung des Dachgartens sowie umliegender Fassadenbegrünungen genutzt. Für die östlich gelegenen Bürogebäude sowie die südlich gelegene Schule wird angenommen, dass flache Dächer begrünt werden. Sonstige Abflüsse der Gebäude werden zur Bewässerung oder Toilettenspülung wiedergenutzt. Der Anschluss der an das Planungsgebiet grenzenden Straßen an die Entwässerung des Trennsystems wird diskutiert.

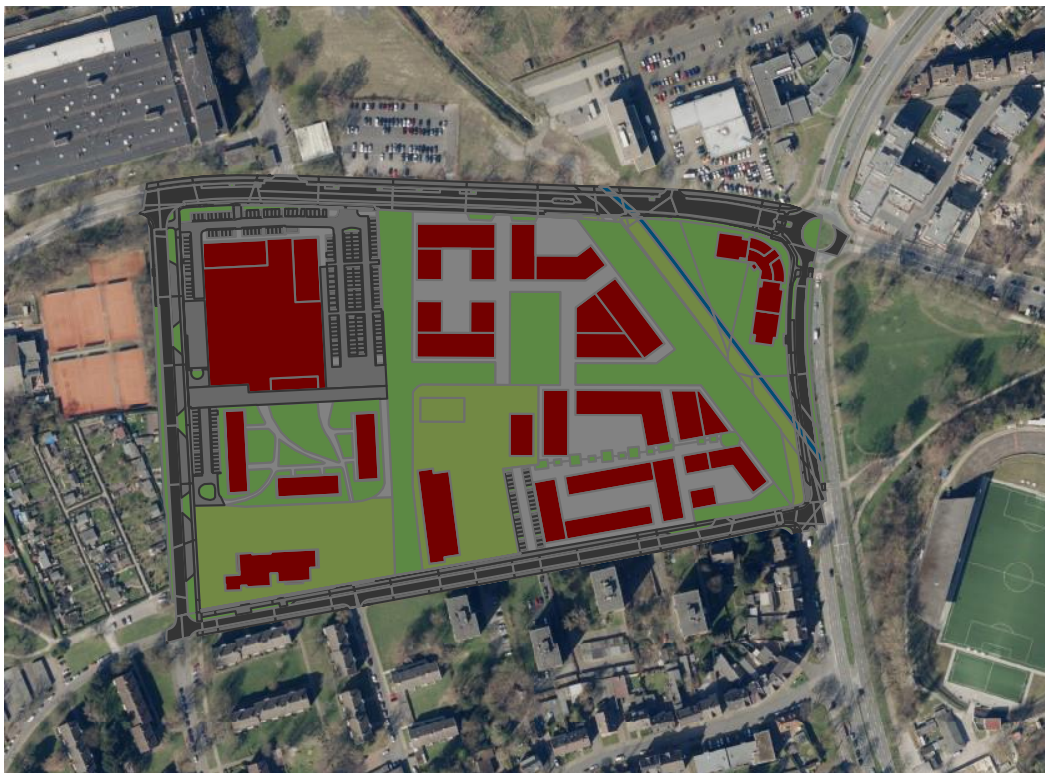
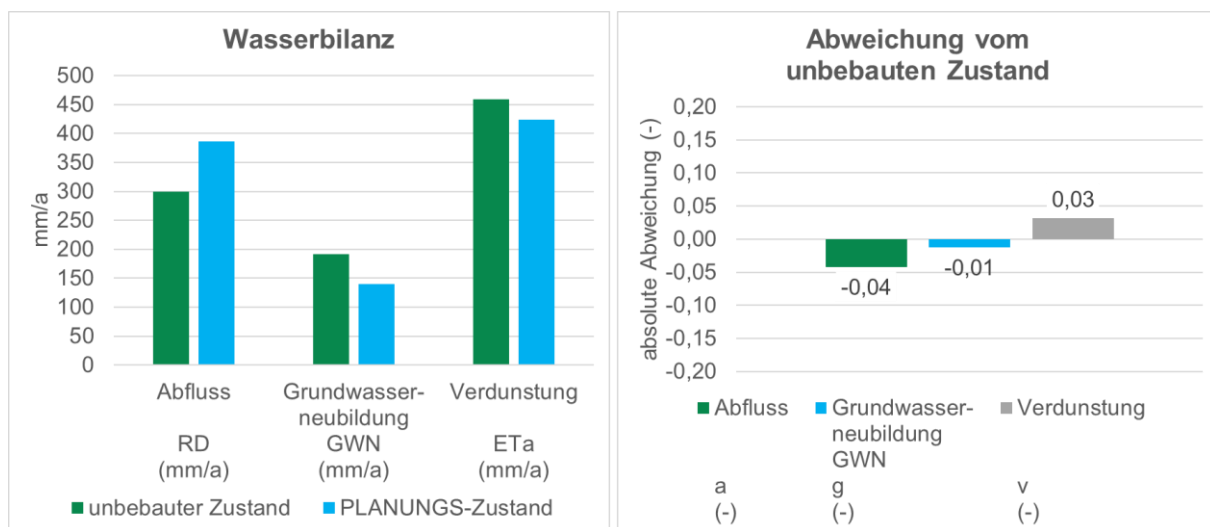


Abbildung 32 Planung „Neue Mitte Strünkede“. Hintergrund: Digitale Orthophotos NRW (Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen 2022b)

Nähere Informationen zur Ausgestaltung der in Abbildung 31 vorgeschlagenen Maßnahmen sind den Maßnahmensteckbriefen (Leitfaden RessourcenPlan, Teil 3.3) zu entnehmen. Wie bereits erwähnt, umfasst die Transformationsplanung explizit keine genaue Verortung bzw. eine Objektplanung von Maßnahmen, sondern markiert Potentialräume für geeignete Maßnahmenkombinationen. Sie ist als perspektivisches Zielszenario zu verstehen, das durch die Stadt Herne Schritt für Schritt umgesetzt werden kann (vgl. Leitfaden RessourcenPlan, Teil 1). Es wird empfohlen die Umsetzung der Maßnahmen mit Arbeiten im Bereich der Straßen bzw. Kanäle (Kapitel 4.2.5) abzustimmen bzw. zu priorisieren. Die Entscheidungsfindung zur genauen Verortung der Maßnahmen kann u.a. durch die lokal-funktionale Bewertung (Kapitel 2.3) vereinfacht werden.

Die Wasserhaushaltsbilanzierung dient der Erfolgskontrolle der aufgestellten Transformationsplanung. Die Ergebnisse sind in Abbildung 33 dargestellt. Gegenüber dem IST-Zustand hat sich der Wasserhaushalt verbessert. Der Abfluss ist nun um 4%-Punkte leicht vermindert. Mit einer Abweichung von lediglich -1%-Punkten trifft die Grundwasserneubildung den naturnahen Zustand fast vollständig. Die Verdunstung ist um 3%-Punkte leicht erhöht. 2%-Punkte des Niederschlags werden dem System durch die Regenwassernutzung entnommen. Alle Abweichungen befinden sich im Toleranzbereich von  $\pm 5\%$ -Punkten.



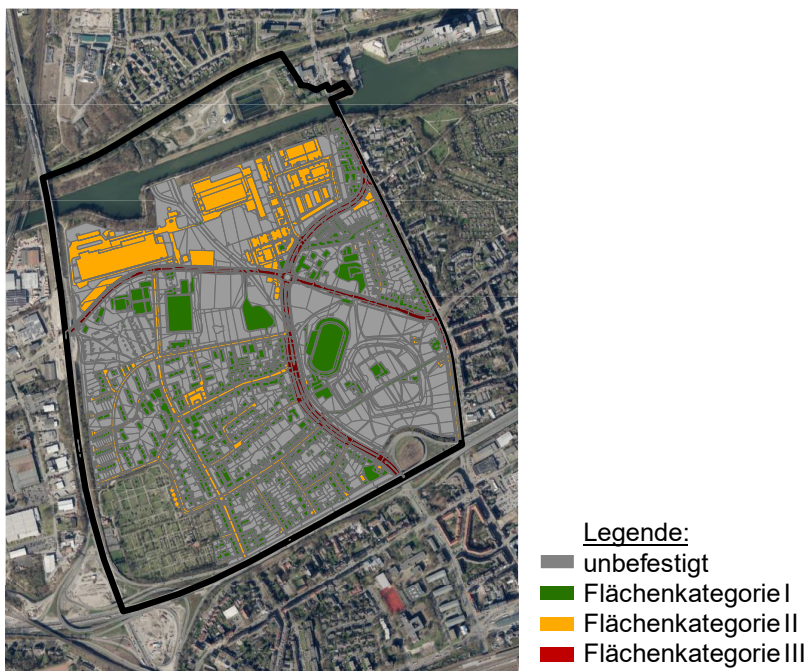
**Abbildung 33** Ergebnisse der Wasserhaushaltsbilanzierung des PLANUNGS-Zustands für das Quartier Herne-Baukau

## 4.2.2 Emissionen

Die folgenden Untersuchungen beschränken sich auf die Betrachtung der stofflichen Belastung der Niederschlagsabflüsse. Untersuchungen für eine Mischkanalisation müssen auf Ebene des Gesamt-Einzugsgebiets unter Einbezug der Schmutzwasserabflüsse durchgeführt werden. Aufgrund der Komplexität des Emscher-Gebiets sowie des Arbeitsumfangs war dies im Rahmen des Projekts kein Fokus. Die folgenden Darstellungen stellen demnach die Bewertung für den fiktiven Fall einer Trennkanalisation dar. Sie dienen hier der Demonstration des Verfahrens zur Quartiers-Bewertung und stellen keine realen Bedingungen dar.

### 4.2.2.1 IST-Zustand

Die Emissionsbetrachtung wird, wie in Kapitel 2.1.1 beschrieben, in Anlehnung an das DWA-A 102-2/ BWK-A 3-2 (2020) durchgeführt. Mit dem Verfahren nach Wessels und Leutnant (2021) werden die AFS<sub>63</sub>-Belastungskategorien der Flächen ermittelt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 34 dargestellt. Deutlich sichtbar wird die starke stoffliche Belastung auf den stark befahrenen Straßen Westring und Forellstraße.



**Abbildung 34 AFS<sub>63</sub> Belastungskategorien im Quartier Baukau. Hintergrund: Digitale Orthophotos NRW (Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen 2022b)**

In Tabelle 20 werden die Eingangs- und Ergebnisgrößen des Emissionsnachweises zusammengefasst. Angenommen wird, dass das gesamte Quartier im Trennsystem entwässert wird. Mit einem flächenspezifischen Stoffabtrag AFS<sub>63</sub> von 428 kg/(ha·a) überschreitet das Gebiet den maximalen Wert von 280 kg/(ha·a). Somit wäre vor Einleitung in das Gewässer eine Behandlung mit einem Wirkungsgrad von 34,6 % vorzusehen. Die Behandlung kann zentral oder dezentral im Gebiet angeordnet werden.

Der Zielwert der maximal angeschlossenen Fläche ergibt sich aus einer angenommenen Abkopplung vom Kanal mit einem der aktuellen Gebietszusammensetzung entsprechenden Stoffabtrag. Er wird als Anteil der aktuell angeschlossenen befestigten Fläche formuliert und kann als Orientierungsgröße für zukünftige Planungen dienen. Für das Quartier Baukau beläuft sich die Zielgröße auf 65% der aktuell angeschlossenen Fläche.

**Tabelle 20 Ergebnisse des Emissionsnachweis zur Aufstellung des RessourcenPlans für das Quartier Baukau**

Datentyp	Datensatz		t
<b>Eingangsgrößen</b>	kanalisierte Einzugsgebietsfläche	A <sub>E,k</sub>	114,5 ha
	angeschlossene befestigte Fläche	A <sub>b,a</sub>	54,9 ha
	angeschlossene befestigte Fläche Kategorie I	A <sub>b,a,I</sub>	25,1 ha
	angeschlossene befestigte Fläche Kategorie II	A <sub>b,a,II</sub>	21,0 ha
	angeschlossene befestigte Fläche Kategorie III	A <sub>b,a,III</sub>	7,0 ha
	flächenspezifischer Stoffabtrag Kategorie I (lt. DWA-A 102-2)	b <sub>R,a,AFS63,I</sub>	280 kg/(ha·a)
	flächenspezifischer Stoffabtrag Kategorie II (lt. DWA-A 102-2)	b <sub>R,a,AFS63,II</sub>	530 kg/(ha·a)
	flächenspezifischer Stoffabtrag Kategorie III (lt. DWA-A 102-2)	b <sub>R,a,AFS63,III</sub>	760 kg/(ha·a)
<b>(Zwischen-) Ergebnisse</b>	jährlicher Stoffabtrag Kategorie I	B <sub>R,a,AFS63,I</sub>	7.016 kg/a
	jährlicher Stoffabtrag Kategorie II	B <sub>R,a,AFS63,II</sub>	11.154 kg/a
	jährlicher Stoffabtrag Kategorie III	B <sub>R,a,AFS63,III</sub>	5.347 kg/a
	jährlicher Stoffabtrag AFS <sub>63</sub> des Gesamt-Gebiets	B <sub>R,a,AFS63</sub>	23.518 kg/a
	flächenspezifischer Stoffabtrag AFS <sub>63</sub> des Gesamt-Gebiets	b <sub>R,a,AFS63</sub>	428 kg/(ha·a)
<b>Planerische Zielgröße</b>	erforderlicher Wirkungsgrad einer Behandlungsmaßnahme	η <sub>r,erf</sub>	34,6 %
	benötigte Reduktion AFS <sub>63</sub> aus Gebiet	B <sub>R,r,AFS63,erf</sub>	8.148 kg/a
	<b>maximal angeschlossene Fläche als Anteil an aktuell angeschlossener befestigter Fläche</b>	η <sub>A,b,a,erf</sub>	65 %

#### 4.2.2.2 PLANUNG

Zu Planungszwecken soll untersucht werden, welchen Einfluss eine Schwerpunktbehandlung im Bereich der „Neue Mitte Strünkede“ sowie der stark belasteten Straßen Forellstraße und Westring hat. Es wird weiterhin angenommen, dass das gesamte Quartier im Trennsystem entwässert und die „Neue Mitte Strünkede“ im Zentrum Baukaus wie im Kapitel 4.2.1.2 beschrieben entwickelt wird. Die untersuchten Szenarien werden in Tabelle 21 zusammengefasst. Im Vergleich zum IST-Zustand (Kapitel 4.2.2.1) wird zunächst die Umsetzung der „Neue Mitte Strünkede“ betrachtet (S1). Die weiteren Szenarien ergeben sich aus einer stückweise erweiterten Behandlung der „Neuen Mitte Strünkede“ (S2) um die umliegenden Straßen (S3), die stark belasteten Straßen Forellstraße (S4) sowie Westring (S5).

**Tabelle 21 Beschreibung der untersuchten Szenarien für den Emissionsnachweis Baukau**

Szenario	Beschreibung
<b>S0</b>	IST-Zustand (Kapitel 4.2.2.1)
<b>S1</b>	Umsetzung „Neue Mitte Strünkede“ ohne Behandlung
<b>S2</b>	Umsetzung „Neue Mitte Strünkede“ mit Behandlung
<b>S3</b>	Umsetzung „Neue Mitte Strünkede“ mit Behandlung, zzgl. umliegender Straßen
<b>S4</b>	Umsetzung „Neue Mitte Strünkede“ mit Behandlung, zzgl. umliegender Straßen sowie Forellstraße
<b>S5</b>	Umsetzung „Neue Mitte Strünkede“ mit Behandlung, zzgl. umliegender Straßen sowie Forellstraße und Westring

Die Ergebnisse der Szenarien-Betrachtung sind in Tabelle 22 dargestellt. Die Umsetzung der „Neue Mitte Strünkede“ führt zu einer leichten Erhöhung des Stoffabtrags des Gesamt-Quartiers um etwa 4% auf 444 kg/(ha·a). Die weiteren Szenarien S2-S5 beinhalten eine davon ausgehende schrittweise Abkopplung zur Behandlung der Abflüsse. Bei allen Szenarien kann der Zielwert von 280 kg/(ha·a) nicht eingehalten werden. Mit 326 kg/(ha·a) überschreitet das Szenario S5 den Zielwert noch immer um etwa 16%. Demnach ist eine Schwerpunktbehandlung rund um das neu erschlossene Gebiet sowie an den stark befahrenen Straßen noch nicht ausreichend. Eine weitergehende Behandlung der verbleibenden Anliegerstraßen oder des nördlich gelegenen Gewerbegebiets ist notwendig.

**Tabelle 22 Ergebnisse der Szenarien-Betrachtung des Stoffabtrags AFS<sub>63</sub> des Gesamt-Gebiets**

Wert	Abk.	Einheit	S0	S1	S2	S3	S4	S5
angeschl. bef. Fläche Kat. I	A <sub>b,a,I</sub>	ha	25,1	25,8	22,9	22,7	22,7	22,7
angeschl. bef. Fläche Kat. II	A <sub>b,a,II</sub>	ha	21,0	22,3	20,7	20,2	20,2	20,2
angeschl. bef. Fläche Kat. III	A <sub>b,a,III</sub>	ha	7,0	7,0	7,0	5,4	3,8	1,2
flächenspezifischer Stoffabtrag AFS <sub>63</sub> des Gesamt-Gebiets	b <sub>R,a,AFS63</sub>	kg/(ha·a)	<b>428</b>	<b>444</b>	<b>414</b>	<b>385</b>	<b>363</b>	<b>326</b>

## 4.2.3 Immissionen

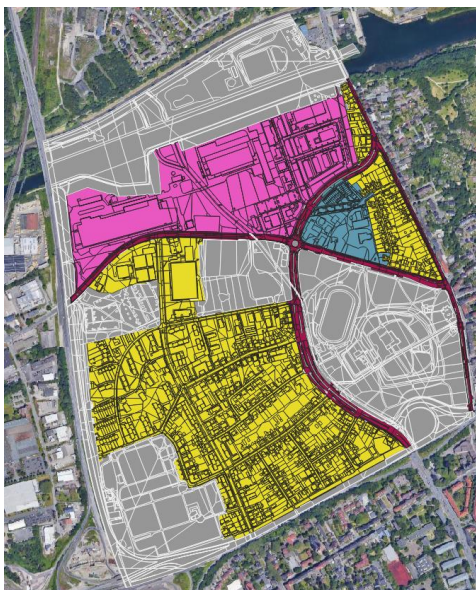
### 4.2.3.1 IST-Zustand

Zurzeit ist das Quartier Bakau nicht an eine Trennkanalisation angeschlossen. Für den Fall eines Anschlusses, wäre der Ostbach das aufnehmende Gewässer. Er besitzt ein Einzugsgebiet von etwas mehr als 12 km<sup>2</sup>, soll aber demnächst teilweise umgeleitet werden, sodass für die Immissionsbetrachtung nur ein Teil des Ostbachs mit einem Einzugsgebiet von 5,26 km<sup>2</sup> berücksichtigt wurde. Dieses Einzugsgebiet ist komplett urbanisiert, wobei 22 % der Fläche aus Wald-, Acker oder Parkflächen bestehen, die keinen Abfluss aufweisen.

**Tabelle 23 Eingabe der Stadtstrukturtypen im Einzugsgebiet des Ostbachs**

landuse	fD	proportion	separate_sewer
residential_city	0.75	0.25	0
residential_suburban	0.71	0.4	0
commercial	0.73	0.1	0
main_road	0.94	0.03	0
no_runoff		0.22	

Der größte Anteil des Einzugsgebiets besteht aus Wohngegend mit Außenbereichscharakter mit Einfamilienhäusern und Gärten (40 %), gefolgt von Wohngegend mit Innenstadtcharakter (25 %) und Industrie- und Gewerbegebieten (10 %). Hauptstraßen wurden mit 3 % veranschlagt. Die Grundlage für diese Zahlen ist eine grobe Einteilung des Einzugsgebiets in die Stadtstrukturtypen. Abbildung 35 zeigt beispielhaft die Zuordnung der Stadtstrukturtypen im Gebiet Herne-Baukau als Teil des gesamten Einzugsgebiets des Ostbachs. Hauptstraßen, die zwischen zwei verschiedenen Stadtstrukturtypen verlaufen wurden als „main\_road“ aufgenommen. Hauptstraßen innerhalb von Stadtstrukturtypen wurden nicht extra gelistet.



**Abbildung 35 Zuordnung der Stadtstrukturtypen im Gebiet Herne Baukau (grau: no\_runoff, gelb: residential\_suburban, blau: residential\_city, pink: commercial, violett: main\_roads)**

Innerhalb des Einzugsgebiets beträgt die Fließstrecke des Ostbachs ca. 5 km, bei einem durchschnittlichen Fließquerschnitt von 0,54 m<sup>2</sup> und mit einem durchschnittlichen Durchfluss von 0,04 m<sup>3</sup>/s. Der Jahresniederschlag beträgt im Mittel 822 mm. Für das Einzugsgebiet wurde kein natürlicher einjähriger Einzugsgebietsabfluss vorgegeben, sondern aus den Einzugsgebietsdaten (durchschnittliches Gefälle < 0,2 %) berechnet und beträgt 123 L/(s·km<sup>2</sup>).

**Tabelle 24 Eingabe der Standorteigenschaften für die Bewertung des Planungsgebiets in Herne Baukau**

Variable	Einheit	Wert
SUW_name		Ostbach
<b>LAWA_type</b>		19
<b>Q_mean</b>	m <sup>3</sup> /s	0,04
<b>river_cross_section</b>	m <sup>2</sup>	0,54
<b>river_length</b>	m	5000
<b>rain_year</b>	mm/Jahr	822
City_name		Herne Baukau
<b>x_coordinate</b>		3813634,44
<b>y_coordinate</b>		2753912,5
<b>area_catch</b>	km <sup>2</sup>	5,262
<b>area_urban</b>	km <sup>2</sup>	5,262
<b>area_plan</b>	km <sup>2</sup>	0,107
<b>area_urban_upstream</b>	km <sup>2</sup>	0
Hq1pnat_catch	L/(s·km <sup>2</sup> )	
Hq2pnat_catch	L/(s·km <sup>2</sup> )	
slope_catch	%	0,1

Sämtliche Angaben zum Einzugsgebiet, zur Stadtstruktur und zu den Hintergrundwerten im Fließgewässer können Tabelle 23 bis Tabelle 25 entnommen werden. Die Hintergrundwerte im Ostbach sind Mittelwerte von 2 Messstellen mit den IDs 471823 und 550292 und bestehen für die meisten Substanzen aus 4 bis 5 Messungen. Für Stoffe, die nicht gemessen wurden (mit NA gekennzeichnet), wurden die im R-Paket hinterlegten Standardwerte verwendet.

**Tabelle 25 Eingabe der Hintergrundkonzentrationen im Ostbach**

Substance	Unit	Background Concentration
Anthracen	ug/L	0.01
Cadmium gelöst	ug/L	0.01
Carbendazim	ug/L	NA
Diethylhexylphthalat (DEHP)	ug/L	NA
Mecoprop	ug/L	NA
Phenanthren	ug/L	0.015
Diuron	ug/L	NA
Fluoranthren	ug/L	0.011
Blei gelöst	ug/L	0.326



Naphthalin	ug/L	0.018
Nickel gelöst	ug/L	1.18
Benzo[a]pyren	ug/L	0.0027
Benzo[b]fluoranthen	ug/L	0.0029
Benzo[k]fluoranthen	ug/L	0.0014
Benzo[g,h,i]perylen	ug/L	0.0024
Terbutryn	ug/L	NA
Zink gelöst	ug/L	4.925
Kupfer gelöst	ug/L	1.49
AFS fein (<63µm)	mg/L	NA
Orthophosphat	mg/L	0.046
Gesamt-Phosphor	mg/L	0.125

Für den einjährigen Regen wurde die Aufenthaltsdauer des Wassers im Einzugsgebiet auf 393 min berechnet. Neben der Fließdauer durch die 5 km lange Strecke des Ostbachs während eines einjährigen Abflussereignisses gehen in diese Zeit 60 Minuten als Annahme für eine potentielle Aufenthaltszeit im Kanalnetz ein. Daraus ergibt sich ein charakteristischer einjähriger Regen für Herne Baukau mit einer Dauer von 393 min und einer Intensität von 10 L/(s·ha) was einer Gesamtmenge von 25 mm entspricht.

Die Ergebnisse der hydrologischen Bewertung sind in Tabelle 26 aufgelistet. Von der gesamten befestigten Stadtfläche dürfen im Rahmen der Nachweisführung 569 L/s in den Ostbach gelangen. Da die Flächen zurzeit nicht an eine Trennkanalisation angeschlossen sind, fließen derzeit 0 L/s in den Bach. Daraus ergeben sich zwei mögliche Vorgaben für das Planungsgebiet. Herunterskaliert auf die Fläche des Planungsgebiets darf ein Regenwasserabfluss von 14,8 L/s eingeleitet werden. Falls das gesamte Planungsgebiet angeschlossen werden sollte, entspräche dies einem flächenspezifischen Drosselabfluss von 1,4 L/(s·ha). Unter Berücksichtigung der bisher nicht vorhandenen Regenwassereinleitung im gesamten Einzugsgebiet könnte hingegen deutlich mehr Regenwasser aus dem Planungsgebiet eingeleitet werden. Die flächenspezifische Einleitung von 53 L/(s·ha) gilt jedoch nur, sofern keine weiteren Flächen aus dem Stadtgebiet angeschlossen werden. Unter der Voraussetzung ergeben sich praktisch keine Einschränkungen für das Planungsgebiet aus hydrologischer Sicht. Welche der Vorgaben verwendet wird, ist vor allem von weiteren umliegenden Planungen abhängig. Als weitere Information lässt sich ablesen, dass im Schnitt bei bestehendem Strukturtypenmix 17,7 % der Stadtfläche angeschlossen werden könnten.

**Tabelle 26 Hydrologische Bewertung für den Ostbach und das Planungsgebiet in Herne Baukau**

Parameter	Einheit	Wert
<b>Tolerierbarer Abfluss aus dem befestigten Stadtgebiet</b>	L/s	569
<b>Aktueller Abfluss aus dem Stadtgebiet</b>	L/s	0
<b>Tolerierbarer Abfluss aus dem Planungsgebiet (skaliert)</b>	L/s	14.8
<b>Tolerierbarer Abfluss aus dem Planungsgebiet (absolut)</b>	L/s	569
<b>Potentiell Anschließbare Fläche im Stadtgebiet (basierend auf dem Strukturtypmix)</b>	ha	73
	%	17.67
<b>Benötigte Drossel im Planungsgebiet (skaliert)*</b>	L/(s·ha)	1.4
<b>Benötigte Drossel im Planungsgebiet (absolut)*</b>	L/(s·ha)	53

\* Für den Fall, dass das gesamte Planungsgebiet an die Trennkanalisation angeschlossen wird

Die stoffliche Bewertung wurde mit den Mittelwerten im Regenwasserabfluss durchgeführt. Sie ergab, dass die beiden Schwermetalle Kupfer und Zink, die limitierenden Faktoren bei der anschließbaren Fläche sind (Tabelle 27). Während bei der hydrologischen Bewertung 73 ha des gesamten abflusswirksamen Stadtgebiets angeschlossen werden könnten, sind dies bei Zink- und Kupferbewertung nur 11 bzw. weniger als 3 ha. Der sehr niedrige Wert für gelöstes Kupfer liegt an der bereits erheblichen Hintergrundbelastung (Tabelle 25). Auch einige PAKs schränken die anschließbare Fläche deutlich ein. Für die meisten betrachteten Stoffe gilt, dass weniger als 10 % der Gesamtfläche angeschlossen werden sollten, um den Ostbach nicht zu überlasten. Alternativ müsste bei einem höheren Anschlussgrad der Regenwasserabfluss behandelt werden oder bei gebäudebürtigen Schadstoffen auf schadstoffarme Baustoffe geachtet werden. Aus der anschließbaren Fläche wird eine tolerierbare Fracht aus dem Stadtgebiet berechnet. Diese wird analog zur hydrologischen Bewertung auf das Planungsgebiet herunterskaliert („skaliert“). Alternativ wurde die aktuell eingeleitete Fracht von der tolerierbaren Fracht des gesamten Stadtgebiets abgezogen („absolut“). Da bisher kein Regenwasser aus dem Stadtgebiet eingeleitet wird, kann aus dem Planungsgebiet deutlich mehr eingeleitet werden, jedoch unter der Einschränkung, dass künftige umliegende Projekte dann weniger Anschlusspotenzial haben.

**Tabelle 27 Stoffliche Bewertung für den Ostbach und das Planungsgebiet in Herne Baukau**

	Potentiell anschließbar			Maximale Schadstofffracht		
	im Stadtgebiet		im Pla- nungs-ge- biet	aus dem Stadtgebiet	aus dem Pla- nungsgebiet (skaliert)	aus dem Pla- nungsgebiet (ab- solut)
	ha	%				
<b>Benzo(b)fluoranthen</b>	19,8	5	0,52	358	7,28	358
<b>Benzo(g,h,i)perylen</b>	36,2	9	0,94	172	3,5	172
<b>Benzo(k)fluoranthen</b>	283	69	7,37	1 135	23,1	1 135
<b>Fluoranthen</b>	164	40	4,27	5 457	111	5 457
<b>Gesamt Phosphor</b>	21,1	5	0,55	50,6	1,03	50,6
<b>Kupfer (gelöst)</b>	2,58	1	0,07	21 080	429	21 080
<b>Mecoprop</b>	33,3	8	0,87	1 634	33,2	1 634
<b>Zink (gelöst)</b>	11,5	3	0,3	671 500	13 650	671 500

Die maximale Schadstofffracht an sich ist eine schwer einzuordnende Größe. Sie ist wichtig, um bei der Detailplanung die Schadstofffracht aus dem Planungsgebiet bei unterschiedlichen Szenarien mit der tolerierbaren Schadstofffracht zu vergleichen. Um die maximale Schadstofffracht aus dem Planungsgebiet unter Berücksichtigung des umliegenden Stadtgebiets einordnen zu können, wird die Fracht in eine anschließbare Fläche pro Stadtstrukturtyp umgerechnet. Tabelle 28 zeigt die anschließbare Fläche des Planungsgebiets in Prozent, sofern das umliegende Stadtgebiet nicht angeschlossen ist. Selbst unter diesen Umständen, stellt Kupfer ein Problem dar, sodass wahrscheinlich nicht alle Flächen ohne weitere Behandlung in den Ostbach eingeleitet werden sollten. Bei Neu- und Umbau könnte alternativ gezielt auf Kupfer in Rinnen, Dachbelägen, etc. verzichtet werden. Die restlichen Substanzen wären höchstens problematisch für den hypothetischen Fall, dass das ganze Planungsgebiet Industrie- und Gewerbegebiet oder Hauptverkehrsstraße wäre.

**Tabelle 28 Prozentualer Anteil der anschließbaren Fläche im Planungsgebiet Herne Baukau in Abhängigkeit der Stadtstrukturtypen (Zahlen in %)**

	Wohngebiet (Innenstadtbereich)	Wohngebiet (Außenbezirk)	Industrie- und Gewerbegebiet	Haupt- verkehrsstraße
<b>Benzo(b)fluoranthen</b>	180	328	114	41
<b>Benzo(g,h,i)perylen</b>	340	690	198	62
<b>Benzo(k)fluoranthen</b>	2545	5915	1798	406
<b>Fluoranthen</b>	1496	3512	814	283
<b>Gesamt Phosphor</b>	213	180	358	106
<b>Kupfer (gelöst)</b>	74	22	10	59
<b>Mecoprop</b>	183	426	518	3217
<b>Zink (gelöst)</b>	123	175	35	264

### 4.2.3.2 PLANUNG

Aktuell ist in BAUKAU kein großflächiger Anschluss im Trennsystem (bzw. modifiziertem Mischsystem) geplant. Allerdings gibt es eine Brachfläche, auf der ein Wohn- und Gewerbegebiet erstellt werden soll und wo über eine Entwässerung der Liegenschaften und umliegenden Straßen im Trennsystem diskutiert wird (Abbildung 32). Entsprechend haben wir die Detailanalyse auf dieses Gebiet fokussiert.

Im Rahmen der Detailplanung wurden unterschiedliche Szenarien durchgerechnet und die Einleitfracht mit der tolerierbaren Einleitfracht verglichen. Die Szenarien werden in Tabelle 29 kurz beschrieben. Für die Szenarien wurde der Regenwasserabfluss von Gebäuden und Straßen betrachtet, wobei die Anzahl der Gebäude und Straßen, die Art des Dachs und die Behandlung des Straßenabflusses variiert wurde. Für die Gebäude wurde außerdem in einem Szenario angenommen, dass sie keine Kupferbauteile, die mit Regenwasser in Kontakt kommen, enthalten.

**Tabelle 29 Beschreibung der Szenarien für die Detailplanung**

Szenario	Dächer	Straßen
1	Alle Dächer angeschlossen und mit Bitumendach. Gebäude in vielbefahrenem Gebiet.	Alle 4 umliegenden Straßen werden angeschlossen
2	Alle Dächer sind angeschlossen und mit Gründach. Gebäude in vielbefahrenem Gebiet.	
3	Alle Dächer sind angeschlossen und mit Gründach. Gebäude in vielbefahrenem Gebiet.	Nur die Straße östlich des Gebiets wird angeschlossen
4	Dächer des Nordbüros mit Bitumendach und Dächer der öffentlichen Gebäude (Schule und Kindergarten) mit Gründach ohne Biozidverwendung sind angeschlossen	
5	Alle Dächer angeschlossen mit Gründach ohne Biozide (physikalischer Durchwurzelungsschutz), keine Kupferbauteile an den Gebäuden	Nur die Straße östlich des Gebiets wird angeschlossen und mit einem Retentionsbodenfilter versehen

In Szenario 5 wird der Regenwasserabfluss der östlichen Straße mit einem Retentionsbodenfilter (RBF) behandelt. Im Projekt KURAS wurde das Rückhaltevermögen eines RBF untersucht. Phosphor wurde im Mittel um 93 %, Zink um 99 %, Kupfer um 84 % und Mecoprop um 59 % zurückgehalten. Für PAKs wurden damals keine Messungen durchgeführt. Da PAKs jedoch größtenteils partikelgebunden vorliegen, wird als Annäherung der Rückhalt von AFS<sub>63</sub> (99 %) verwendet. Für die Schwermetalle Zink und Kupfer, für die bei der Detailplanung nur ein gemeinsamer Rückhaltewert vorgegeben werden kann, wurde der Mittelwert 91,5 % verwendet.

Pro Szenario wurde eine Schadstofffracht aus dem Planungsgebiet berechnet. Diese wurde verglichen mit der tolerierbaren Schadstofffracht unter Berücksichtigung des aktuellen Anschlussgrades im Stadtgebiet (Tabelle 30) und mit der auf das Planungsgebiet herunterska-

lierten tolerierbaren Schadstofffracht (Tabelle 31). Da bisher keine weiteren Flächen im Stadtgebiet angeschlossen sind, wären die Szenarien 2 bis 5 ohne weitere Einschränkungen im Planungsgebiet möglich. Jedoch würde das zu überproportional hohen Einleitungen aus dem Planungsgebiet führen und könnte künftigen Planungen in BAUKAU im Wege stehen. Das Planungsgebiet selbst macht ca. 2 % der gesamten abflusswirksamen Fläche im Stadtgebiet aus, sodass alle Frachtanteile über 2 % eine auf die Fläche bezogene erhöhte Einleitung bedeuten.

**Tabelle 30 Anteil der eingeleiteten Schadstofffracht an der tolerierbaren Schadstofffracht unter Berücksichtigung der aktuellen Situation (0 % Anschluss an eine Trennkanalisation im gesamten urbanen Gebiet)**

	Benzo(b)-fluoranthen	Benzo(g,h,i)-perylen	Benzo(k)-fluoranthen	Fluoranthen	Gesamt Phosphor	Kupfer (gel.)	Mecoprop	Zink (gel.)
Szenario 1	65%	55%	8%	11%	30%	141%	65%	13%
Szenario 2	40%	32%	6%	8%	33%	95%	36%	11%
Szenario 3	7%	6%	1%	2%	2%	62%	36%	4%
Szenario 4	12%	11%	2%	2%	1%	36%	16%	2%
Szenario 5	2%	2%	0%	1%	2%	3%	0%	3%

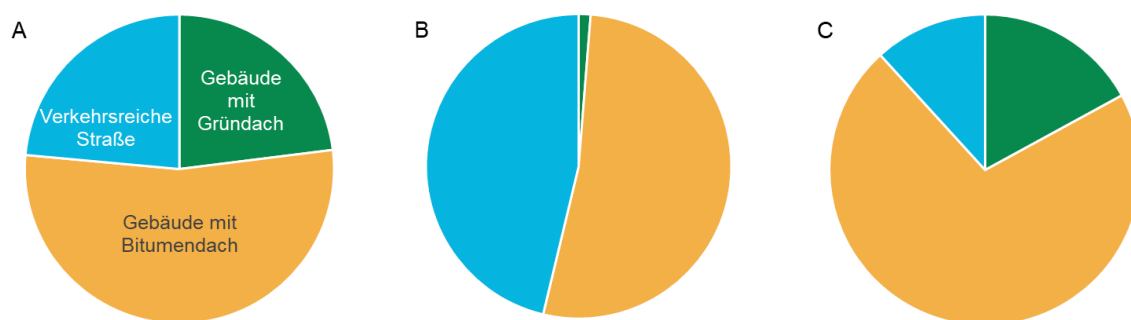
Tabelle 31 vergleicht dagegen die eingeleitete Fracht mit der auf die Fläche des Planungsgebiets herunterskalierten tolerierbaren Fracht. Das Anschließen aller Dächer und Straßen ohne weitere Behandlung des Abflusses (Szenario 1) führt für alle betrachteten Stoffe zu einer deutlichen Überschreitung der tolerierbaren Einleitfracht. Werden die in Szenario 1 angenommenen Bitumendächer durch Gründächer ersetzt (Szenario 2), verbessert sich die Situation deutlich. Das liegt daran, dass durch Gründächer zum einen der Abfluss reduziert wird, und zum anderen die Schadstoffe, die durch atmosphärische Deposition auf die Dächer gelangen (PAK), teilweise zurückgehalten werden. Trotzdem sind die Frachten noch deutlich zu hoch. Im Unterschied zu Szenario 2 wird in Szenario 3 nur die östlich verlaufende, vielbefahrene Straße angeschlossen. Das Abkoppeln der weniger befahrenen Straßen hat eine deutliche Auswirkung auf die PAK und Gesamtphosphor, da vor allem bei Straßen mit geringer Verkehrsbelastung häufig das Verhältnis von Straßenbegleitgrün zu Verkehrsfläche hoch sein kann. Szenario 4 ist das komplexeste Szenario, bei dem insgesamt deutlich weniger Dachfläche angeschlossen ist, als bei den übrigen Szenarien. Trotzdem ist die PAK-Belastung höher als in Szenario 2, da ein Teil der Dachflächen keine Gründächer sondern Bitumendächer sind. Die Belastung von Mecoprop geht deutlich zurück, da bei den Gründächern der Biozideinsatz ausgeschlossen wird. Eine mögliche Biozidanwendung bei den unbegrünten Bitumendächern führt jedoch immer noch zu einer zu hohen Mecopropfracht. Der einzige Unterschied zwischen den Szenarien 3 und 5 ist, dass bei letzterem der Straßenabfluss mit einem Retentionsboden-

filter behandelt wird. Außerdem wurde angenommen, dass durch die Vermeidung von Kupferbauteilen am Gebäude, die Kupferfracht im Gebäudeabfluss um 95 % geringer ist. Diese Veränderungen führen zu einer deutlichen Reduktion der PAKs, die Schwermetalle liegen jedoch weiterhin über 100 %. In Anbetracht der Tatsache, dass bisher jedoch keine weiteren Flächen im Stadtgebiet an den Ostbach angeschlossen sind, scheint diese Erhöhung akzeptabel.

**Tabelle 31 Anteil der eingeleiteten Schadstofffracht an der tolerierbaren Schadstofffracht bei gleichverteilter Einleitung aus dem urbanen Gebiet**

	Benzo(b)-fluoranthen	Benzo(g,h,i)-perylene	Benzo(k)-fluoranthen	Fluoranthen	Gesamt Phosphor	Kupfer (gel.)	Mecoprop	Zink (gel.)
Szenario 1	3198%	2688%	404%	551%	1456%	6946%	3205%	658%
Szenario 2	1963%	1560%	281%	386%	1631%	4678%	1782%	557%
Szenario 3	354%	297%	64%	89%	117%	3040%	1782%	174%
Szenario 4	608%	526%	79%	107%	28%	1747%	782%	116%
Szenario 5	75%	74%	23%	34%	97%	159%	0%	130%

Pro Szenario kann die Herkunft der Schadstoffbelastung genauer untersucht werden, um Informationen zu erhalten an welcher Stelle eine Behandlung des Abflusses am effektivsten ist. Beispielhaft ist dies in Abbildung 36 für die Verteilung der Flächen, der Quellen für PAK (Substanz Benzo(b)fluoranthen) und der Quellen für Kupfer in Szenario 4 dargestellt. Obwohl die Straße nur knapp ein Viertel der angeschlossenen Fläche ausmacht, ist sie Quelle für fast die Hälfte der PAK-Fracht. Dementsprechend eignen sich Maßnahmen hier besonders gut. Das Gründach trägt hingegen kaum zur PAK-Belastung bei. Bezüglich Kupfer sind umgekehrt die Gebäude die mit Abstand größte Quelle und besitzen somit das höchste Reduzierungspotential.



**Abbildung 36 Aufteilung der Fläche (A), der PAK-Fracht (B) und der Kupferfracht (C) im bzw. aus dem Planungsgebiet (Szenario 4). (Blau: Verkehrsbereich Straße, Grün: Gebäude mit Gründach, Orange: Gebäude mit Bitumendach)**

## 4.2.4 Überflutung

### 4.2.4.1 Methodik

Zur Erstellung einer Starkregengefahrenkarte wurden für die Stadt Herne 2D-gekoppelte Kanalnetz- und Überflutungsberechnungen durchgeführt. Der Modellaufbau und die Simulationen zur hydraulischen Gefährdungsanalyse wurden mit dem Software-Paket „Urbane Sturzfluten“ der itwh GmbH realisiert. Das Paket enthält das 2-dimensionale Oberflächenabflussmodell HYSTEM-EXTRAN 2D (HE2D) und FOG zur Verwaltung von Kanalnetzmodellen sowie FOG 2D zur Erstellung der Geländemodelle in ArcGIS. HE2D verwendet bei der Berechnung der oberflächigen Überflutungsvorgänge das vollständige Gleichungssystem der zweidimensionalen Flachwassergleichungen. Die Strömungsgleichungen werden im Raum mit zell-zentrierten Finiten Volumen und in der Zeit mit dem expliziten Euler-Ansatz gelöst. Das Modellnetz besteht aus einem unregelmäßigen Dreiecksgitter, indem auch zusätzlich eingefügte Bruchkanten berücksichtigt werden können. Als Modellgrenze wird das Einzugsgebiet verwendet, das mithilfe einer topografische Gefährdungsanalyse ermittelt wurde.

Die wichtigsten Arbeitsschritte sind folgend aufgeführt:

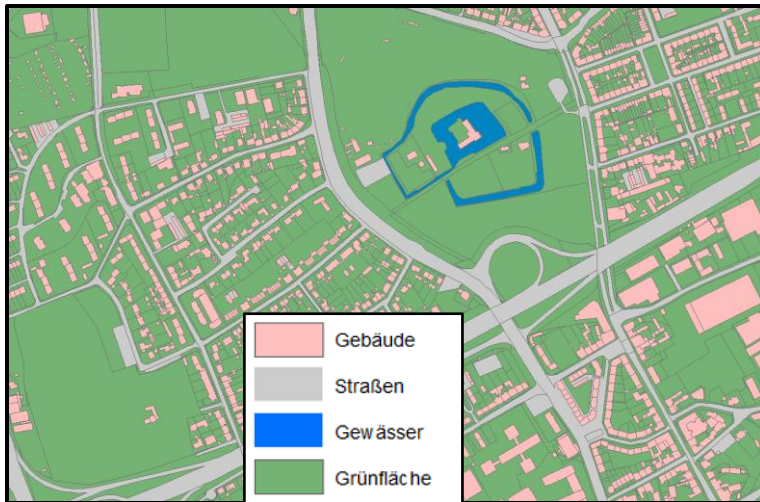
#### Kanalnetz

Das im Rahmen der hydraulischen Berechnungen betrachtete Kanalnetz wurde von der Stadtentwässerung Herne als HYSTEM-EXTRAN (HE) Modelldatenbank zur Verfügung gestellt.

Es erfolgte eine Prüfung der Kanalnetzdaten auf Fehler und sofern erforderlich war eine Korrektur.

#### Flächenmodell

Das Flächenmodell beschreibt die Abflussbildung innerhalb des Modellgebietes. Hierfür muss das Flächenmodell lückenlos und überlappungsfrei erstellt werden. Das Flächenmodell besteht aus einzelnen, hydrologisch abflusswirksamen Flächen. Diese sogenannten „Einzelflächen“ wurden zwecks optischer Unterscheidung, Kartendarstellung und Parametrisierung in vier Einzelflächentypen „Gebäude“, „Straße“, „Gewässer“ und „Grünfläche“ eingeteilt.



**Abbildung 37 Beispiel: Aufteilung der Modellfläche in Einzelflächentypen (Quelle: itwh GmbH)**

Die Flächendaten stehen in den meisten Fällen zur Verfügung. Im Rahmen der Studie wurden die Straßen- und Wegeflächen manuell in AutoCad erzeugt und als Shapefiles importiert. Eine Besonderheit ist auch bei den Grünflächen aufgetreten. Da für die unbefestigten Flächen kein flächendeckender Datensatz zur Verfügung stand, wurden diese modelltechnisch erzeugt. Dabei wurde die Annahme getroffen, dass alle Modellbereiche, welche nicht als Gebäude-, Straßen- und Gewässerflächen definiert sind, als unbefestigte Fläche (Grünflächen) definiert werden kann. Bei den Gewässerflächen handelt es sich hauptsächlich um ausgebaute Gewässer für die Vorflut, Hafenanlagen, Kanäle sowie Seen und Teiche in Parkanlagen.

Folgendes ist zu beachten: Gebäudefläche vom Typ Tiefgarage: Die Fläche, welche von einem unterirdischen Tiefgaragenkörper eingenommen wird, wurde unabhängig von einem eventuell darüber (oberirdisch) liegenden Gebäudeteil in den Daten abgebildet. Überlappungen zwischen Einzelflächen unterschiedlichen Typs, wurden nach folgendem Schema korrigiert:

- Gebäudeflächen bleiben immer erhalten.
- Straßenflächen geben eine evtl. vorhandene Überlappungsfläche an Gebäudeflächen ab, bleiben aber ggü. Gewässer und Grünflächen erhalten.
- Gewässerflächen geben eine evtl. vorhandene Überlappungsfläche an Gebäudeflächen und Straßenflächen ab, bleiben aber ggü. Grünflächen erhalten.
- Bei Überlappungen von Grünflächen mit anderen Einzelflächentypen, wird die Überlappungsfläche immer an die Einzelflächen der anderen Typen abgegeben.

Auf diese Weise wurden Tiefgaragenteile eliminiert, welche sich unterhalb von Gebäudeflächen befanden (Überlappung), da sie dem Einzelflächentyp Grünflächen zugeordnet sind.



### Flächenzuordnung

Nachdem das Flächenmodell vollständig abgebildet wurde, erfolgte eine Topologieprüfung und -korrektur, um Lücken und Überlappungen zu identifizieren und zu bereinigen.

Damit modelltechnisch bekannt ist, an welche Haltung jede Einzelfläche angeschlossen ist, mussten die Einzelflächen den Haltungen zugeordnet werden (Abbildung 38). Wenn keine Daten vorlagen, erfolgte die Zuordnung automatisiert über Abstandsbeziehungen sowie in Abhängigkeit der Kanalart.



**Abbildung 38 Automatische Flächenzuordnung (Quelle: itwh GmbH)**

### Flächenparameter

Die Einzelflächen lassen sich hinsichtlich ihrer Abflussbildung in die Kategorien befestigte und unbefestigte Flächen einteilen. Gebäude und Straßenflächen wurden als befestigte Flächen, Gewässer und Grünflächen als unbefestigte Flächen kategorisiert. Die Abflussbildungsparameter für die Einzelflächentypen sind der nachstehenden Tabelle zu entnehmen:

**Tabelle 32 Abflussbildungsparameter**

	Einheit	Gebäude	Straße	Gewässer	Grünfläche
<b>Benetzungsverlust</b>	mm	0,7	0,7	0	2
<b>Muldenverlust</b>	mm	0,5	1,0	0	3
<b>Anfangsabflussbeiwert</b>	-	0,25	0,25	0,25	0

Für die Versickerung auf unbefestigten Flächen erfolgt eine Berücksichtigung der Infiltrationsverluste über den Ansatz nach Horton.

Hinweis: Bei allen nicht angeschlossenen Flächen, deren Abflussbildung und Abflusskonzentration über das 2D-Modell berechnet werden, wird der Endabflussbeiwert bei der 2D Berechnung auf 1 gesetzt, da die Dauerverluste über die Mulden, Senken und Abflusspfade in der 2D-Oberfläche bereits berücksichtigt werden.

## 2D-Oberflächenmodell

Nachdem über das Flächenmodell die Abflussbildung modellweit definiert wurde, wurde zur Berechnung der durch Starkregen verursachten Überflutungen ein hydrodynamisches 2D-Oberflächenabflussmodell aufgebaut. Dieses wurde mit dem Kanalnetzmodell bidirektional gekoppelt. Die Kopplung findet über Schächte, Straßenabläufe sowie Einlauf- und Auslassbauwerke statt.

### Festlegung der 2D-Modellgrenze

Die Grenze, innerhalb derer der urbane Starkregen modelliert werden soll, wird in der Regel vom Auftraggeber definiert. Andernfalls orientiert sich die Modellgrenze zunächst an der Gebietsgrenze der Stadt. Das Projekt R2Q sieht eine exemplarische Betrachtung von zwei Modellquartieren der Stadt Herne vor.

Diese wurden hochauflösend als Detailgebiete (grüne Polylinie) innerhalb der Modellgrenze (rote Polylinie) der Stadt Herne betrachtet. Bei der Definition der 2D-Modellgrenze musste geprüft werden, ob alle für die Detailgebiete abflussrelevanten Einzugsgebietsteile und Zuflüsse abgebildet werden. Dazu gehören sowohl Außengebiete, die bei Starkregen in das untersuchte Modellgebiet entwässern, als auch die Trockenwetterzuflüsse aus Fließgewässereinzugsgebieten. Zur **Identifikation von starkregenbedingten Zuflüssen** zu den Detailgebieten, wurde eine topografische Analyse durchgeführt. Es wurden potenzielle Fließwege und Senken für das gesamte Stadtgebiet von Herne identifiziert. Unter Berücksichtigung der generierten Fließwege wurde geprüft, ob Gebiete vorhanden sind, welche bei Starkregen in die Detailgebiete (Modellquartiere Baukau und Pantringshof) entwässern. Ist dies der Fall, muss die Detailgebietsgrenze entsprechend erweitert werden. Die Abbildung 41 stellt eine Karte mit der Fließweganalyse für das Gesamtmodellgebiet (rot) dar und Abbildung 40 für das Modellquartier Baukau (grün).

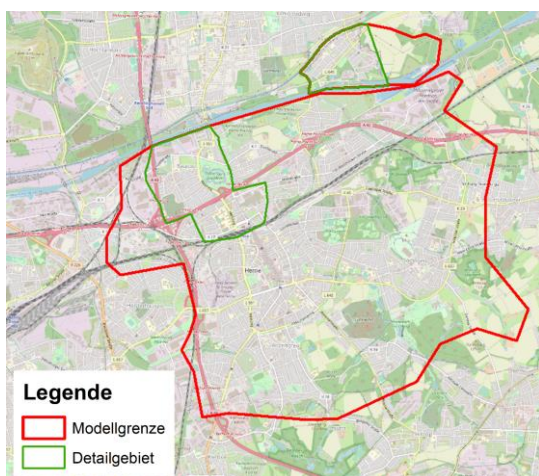


Abbildung 39 2D-Modellgrenze

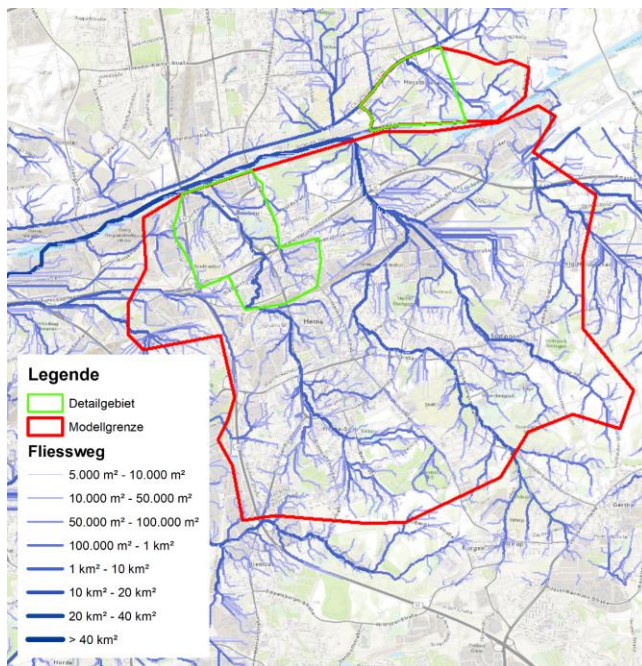


Abbildung 41 Fließweganalyse

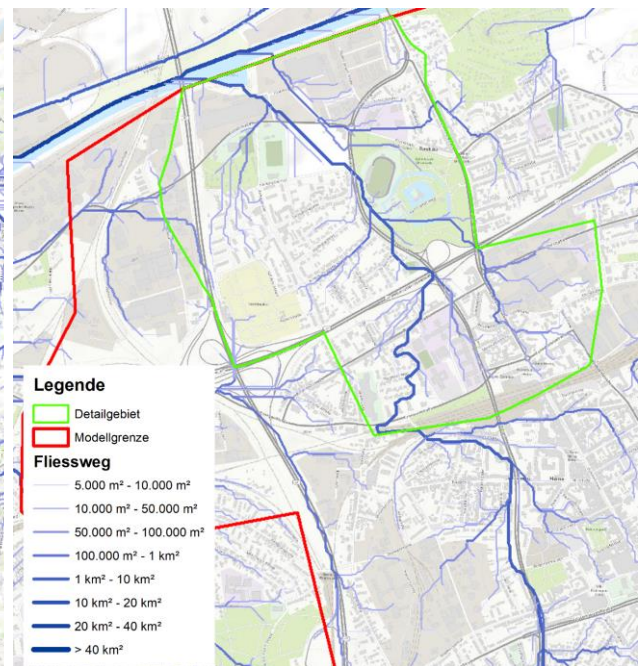


Abbildung 40 Fließweganalyse Baukau

Zu sehen sind die Fließwege nach Größe der Einzugsgebiete: Je größer das Einzugsgebiet eines Fließweges, desto dicker seine Strichstärke. Das Modellquartier Baukau bekommt aus dem südlich der Autobahn 42 gelegenen Stadtgebiet einen Zufluss. Aufgrund dieses Zuflusses wurde die Detailgebietsgrenze nach Süden hin vergrößert. Das Modellquartier Pantringshof besitzt ebenfalls Zuflüsse von außerhalb des definierten Detailgebietes. Sie stammen von den westlich angrenzenden landwirtschaftlich genutzten Flächen und wurden bei der Bearbeitung berücksichtigt.

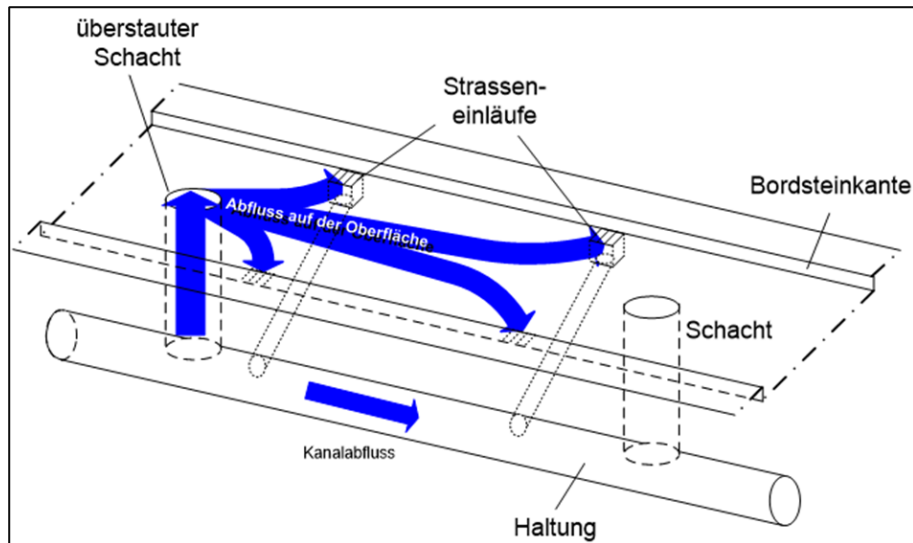
### Rauheitsbeiwerte

Die Festlegung der Rauheitsbeiwerte ( $k_{si}$ ) nach Manning-Strickler erfolgt auf Basis der Flächennutzung. Die Rauheitsbeiwerte wurden entsprechend der Empfehlung der LUBW (2016) gewählt.

### Kopplung Oberfläche – Kanalnetz

Für die Kopplung des Kanalnetzes mit der 2D-Oberfläche ist es wichtig, dass die Kanalart der Schächte im Modellnetz korrekt abgebildet ist, da nur Schächte einer bestimmten Kanalart gekoppelt werden sollen und es bei fehlerhafter Definition von Kanalarten zu Fehlanschlüssen kommen kann. Beispielsweise kann davon ausgegangen werden, dass ein Austausch von Abwasser mit der Geländeoberfläche an Schmutzwasserschächten, keinen gewünschten Planungs- und Modellzustand darstellt. Es wurden daher alle Schächte innerhalb der Modellgrenze, welche zu einer Regenwasser- oder Mischwasserhaltung gehören, mit der 2D-Oberfläche gekoppelt. Anschließend wurden Straßenabläufe ins Modell übernommen und abstandsorientiert den gekoppelten Schächten zugeordnet. Während der Simulation erfolgte der

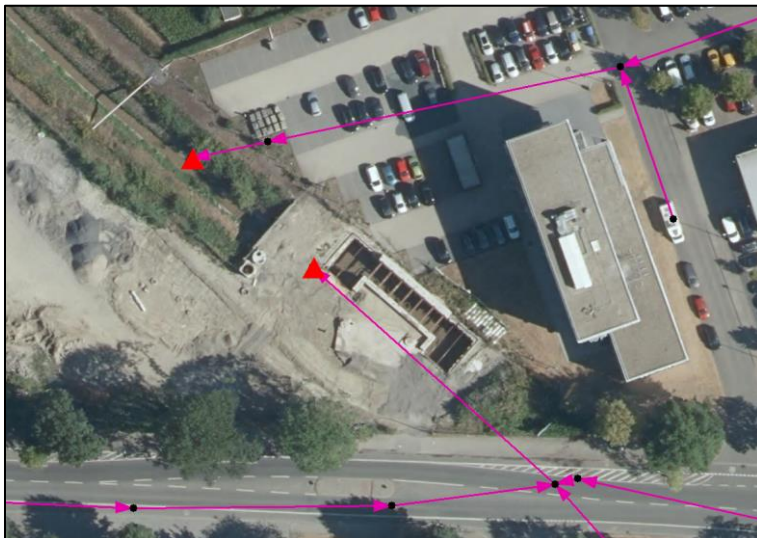
Austausch über die Kopplungsknoten und Straßenabläufe bidirektional und zeitschrittweise (Abbildung 42).



**Abbildung 42 Schema Kopplung Kanalnetz mit Oberfläche (Quelle: itwh GmbH)**

Den mit der 2D-Oberfläche gekoppelten Schächten und Straßenabläufen wurde ein Schluckvermögen von jeweils 30 l/s zugewiesen. Dieser Wert ist zeitlich konstant und stellt eine Obergrenze für den Zufluss von der Oberfläche in das Kanalnetz dar. Jedoch wird das Schluckvermögen auf 0 l/s reduziert, sobald die Haltung ausgelastet ist.

Zudem wurden Einlass- und Auslassbauwerke von verrohrten Gewässerabschnitten als Auslässe des Kanalnetzes bidirektional mit dem Oberflächenabflussmodell gekoppelt.



**Abbildung 43 Auslassbauwerk (Kopplungsknoten, rot)**

#### Erstellung des 2D-Berechnungsgitters

Innerhalb der festgelegten Modellgrenze wurde ein hochaufgelöstes 2D-Berechnungsgitter erzeugt, welches die Höhenverhältnisse der Höhendaten möglichst genau repräsentiert. HE2D verwendet ein unregelmäßiges Dreiecksgitter zur Abbildung der Geländeoberfläche. Dadurch

können Oberflächenstrukturen, wie z. B. Gebäudeumrisse und Bruchkanten, genau abgebildet werden. Die Auflösung des Dreiecksgitters wurde so gewählt, dass wesentliche Oberflächenstrukturen und kleinräumige Höhenunterschiede erhalten bleiben. Gleichzeitig sollten aber auch exzessive Berechnungszeiten durch unnötig kleine oder überflüssige Berechnungselemente vermieden werden. Die Generierung des Dreiecksgitters wurde mit einer maximalen Zielgröße der Gitterzellen von 20 m<sup>2</sup> vorgenommen. In Bereichen von komplexen Oberflächenstrukturen oder hohen Geländegradienten, kann die erzeugte Zellgröße jedoch vielfach kleiner ausfallen, damit diese Strukturen topologisch sinnvoll abgebildet werden. Für das Herner Stadtgebiet ergibt sich so eine mittlere Zellgröße von ca. 12 m<sup>2</sup>. Die beiden Modellquartiere Baukau und Pantringshof werden im Modell als Detailgebiete abgebildet. Das heißt, sie sind deutlich höher aufgelöst als das restliche Oberflächenmodell der Stadt Herne. Die angestrebte Zellgröße beträgt 5 m<sup>2</sup>.

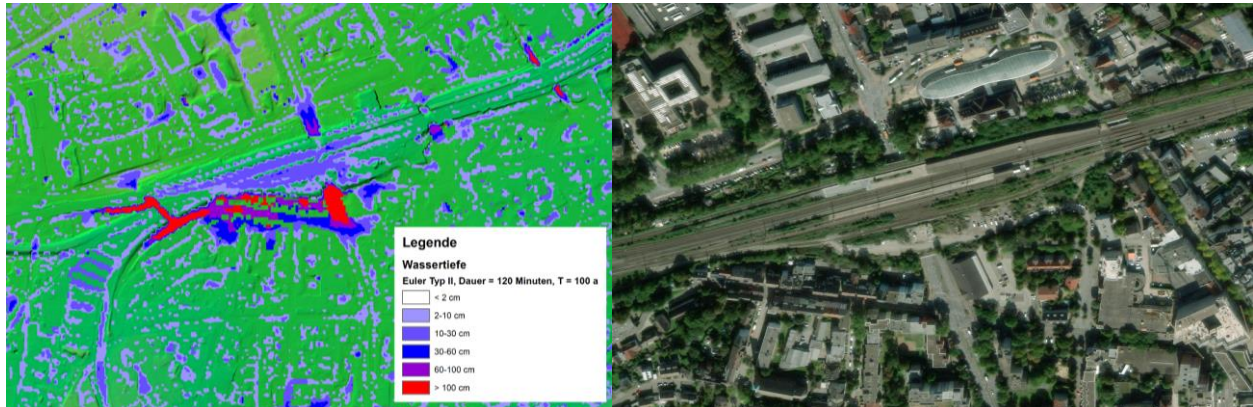


**Abbildung 44** Gitterauflösung

#### Prüfung und Korrektur der Geländehöhen

Damit realistische Abflusspfade berechnet werden können, müssen die hydraulisch relevanten Fließwege in den Höhendaten durchgängig vorhanden sein. Oftmals werden diese bei der Aufnahme der Höhendaten (z. B. DGM1) nicht korrekt abgebildet. Bei einer Laserscan-Befliegung können z. B. Brückenbauwerke als Fließhindernis in den Höhendaten enthalten sein. Solche oder ähnliche Fehler wurden durch eine optische Prüfung der Höhendaten identifiziert. Unterstützt wurde dies zusätzlich über eine hydraulische Modellprüfung. Als Simulationsergebnis können so resultierende Wasseransammlungen im Gebiet hydraulisch relevanter Durchlassbauwerke identifiziert und genutzt werden. Zur Ermittlung wurde ein Grobmodell er-

stellt, welches mit einem Modellregen hoher Jährlichkeit belastet wurde. Beispielhaft zeigt Abbildung 46 hohe Wasserstände und eine Überflutungsausdehnung im Herner Stadtgebiet südlich der Autobahn. Dieser unrealistische Rückstau wurde durch ein Absenken der Höhendaten auf das Straßenniveau korrigiert (Abbildung 45, graue Flächen).



**Abbildung 46 Überflutungskarte - Grobmodell** **Abbildung 45 Korrigierte Zwangspunkte (grau)**

Die **2D-Oberflächenmodellierung** mit ihrer Höhenkorrektur ist somit ein iterativer Prozess. Nach jeder Modelländerung wird ein neuer Modellentwurf erzeugt und nach anschließender Simulation anhand der Ergebnisse erneut validiert.

### Überflutungsberechnung

Die Überflutungsberechnungen wurden mit Hilfe des gekoppelten 2D-Modells (2D-Oberfläche + Kanalnetz) durchgeführt. Das Simulationsmodell wurde mit verschiedenen Regenbelastungen beaufschlagt.

#### Niederschlagsszenarien

Als Niederschlagsbelastung für die Überflutungsberechnung wurde ein Euler-Typ-II-Modellregen (KOSTRA-DWD-2010R, Rasterfeld: Spalte 12, Zeile 48) gewählt (Abbildung 47).

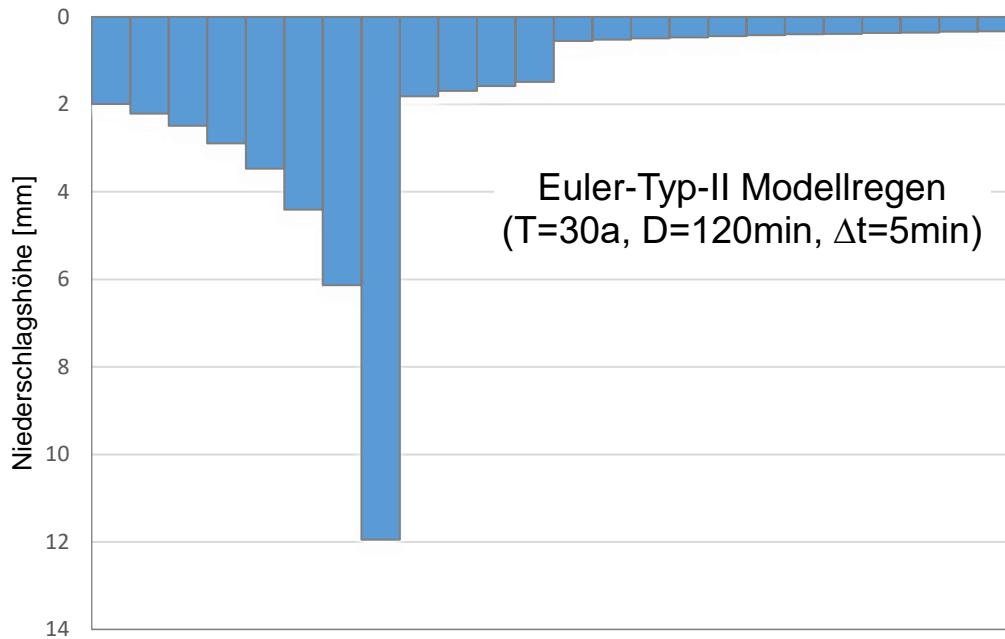


Abbildung 47 Modellregen Herne (Quelle: KOSTRA-DWD-2010R)

Es wurden Modellregen mit den Wiederkehrzeiten  $T = 30, 50$  und  $100$  Jahre für die Überflutungssimulation verwendet. Die Regensummen und maximalen Werte können der Tabelle 33 entnommen werden. Als Dauerstufe wurde  $D = 120$  min gewählt.

Tabelle 33 Ausgewählte Modellregen für Herne

Modellregen	Regensumme	Max. Wert
<b>T = 30 a</b>	47,2 mm	11,95 mm
<b>T = 50 a</b>	51,5 mm	12,95 mm
<b>T = 100 a</b>	57,3 mm	14,3 mm

Es fand eine gleichmäßige Verteilung der Niederschläge im gesamten Modell statt, wie sie nach DWA-M 119 (2016) vorgesehen ist. Nach Empfehlung des LUBW (2016), wurde eine Nachlaufzeit von 60 Minuten angesetzt.

#### 4.2.4.2 IST-Zustand

Die Ergebnisse des IST-Zustandes für das Quartier Baukau sind jeweils für die drei Modellregen T30, T50 und T100 dargestellt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 34 (Baukau) aufgeführt. Die maximale Fließgeschwindigkeit liegt in Baukau bei  $7$  m/s für alle Modellregen. Die Gesamtüberflutungsfläche sowie auch das -überstauvolumen nehmen mit steigender Niederschlagintensität zu. Die Anzahl der Überstauschächte steigt deutlich von  $12$  auf  $288$ . Die ma-

ximale Wassertiefe beim Modellregen T30 beträgt 2,34 m. Die Verwendung eines Modellregens mit höherer Wiederkehrzeit führt zu einer proportionalen Zunahme der Überflutungstiefe um 6 cm.

**Tabelle 34 Auszug Ergebnisse IST-Zustand Baukau**

Parameter	Einheit	Modellregen mit Jährlichkeit		
		T=30a Wert	T=50a Wert	T=100 Wert
Überflutungsfläche	m <sup>2</sup>	149.95	179.970	221.70
Max. Überflutungstiefe	m	2,34	2,4	2,46
Anzahl Überstausschächte	-	12	234	288
Überstau über Schacht	m <sup>3</sup>	123.20	137.379	158.16
Überstau über Straßenablauf	m <sup>3</sup>	1.382	1.969	2.753
gesamte Überstauvolumen	m <sup>3</sup>	124.58	139.348	160.91

#### 4.2.4.3 PLANUNG

##### Klimawandelszenarien

Um eine Einschätzungen für die Auswirkungen des Klimawandels zu erhalten, erfolgt eine Sensitivitätsstudie. Dazu werden die drei verwendeten Modellregen (Tabelle 33) pauschal um 10 % und 20 % erhöht und anschließend simuliert.

Abbildung 48 zeigt die Ergebnisse der Klimawandelszenarien im Vergleich zum IST-Zustand für das Quartier Baukau. Die dabei verwendeten Nachweisgrößen sind in Tabelle 35 aufgeführt.

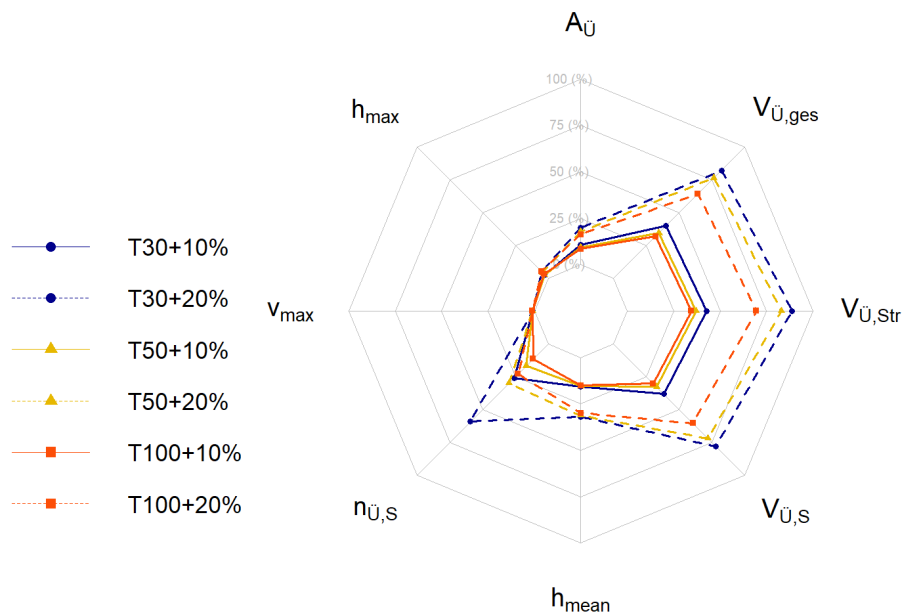
**Tabelle 35 Ergebnisindikatoren der Klimaszenarien**

Nachweisgröße	Formelbezeichnung	Einheit
Überflutungsfläche	$A_{\dot{U}}$	m <sup>2</sup>
gesamte Überstauvolumen	$V_{\dot{U}, \text{ges}}$	m <sup>3</sup>
Überstauvolumen über Straßenablauf	$V_{\dot{U}, \text{Str}}$	m <sup>3</sup>
Überstauvolumen über Schacht	$V_{\dot{U}, \text{Sch}}$	m <sup>3</sup>
mittlerer Wasserstand	$h_{\text{mean}}$	m
Anzahl Überstausschächte	$n_{\dot{U}, \text{Sch}}$	
max. Fließgeschwindigkeit	$v_{\text{max}}$	m/s
max. Überflutungstiefe	$h_{\text{max}, \dot{U}}$	m

Der Trend, dass die Überstauvolumina unter Verwendung eines Modellregens mit höherer Wiederkehrzeit steigen, ist gut zu erkennen. Prozentual gesehen, könnte das gesamte Überstauvolumen in Baukau um 75 % zunehmen, wenn die Niederschlagsintensität um 20 % steigt. Eine Zunahme der Niederschlagsmenge um 10 % bewirkt einen Anstieg der Überstaumengen bis zu 30 %. Gleichzeitig nimmt die Zahl der überfluteten Schächte zu,



besonders bei der Verwendung des Modellregens T30. Der Modellregen T100 weist im Klimaszenario vergleichsweise die geringste Erhöhung der Überstauvolumina auf.



**Abbildung 48 Ergebnisse der Klimaszenarien für das Quartier Baukau**

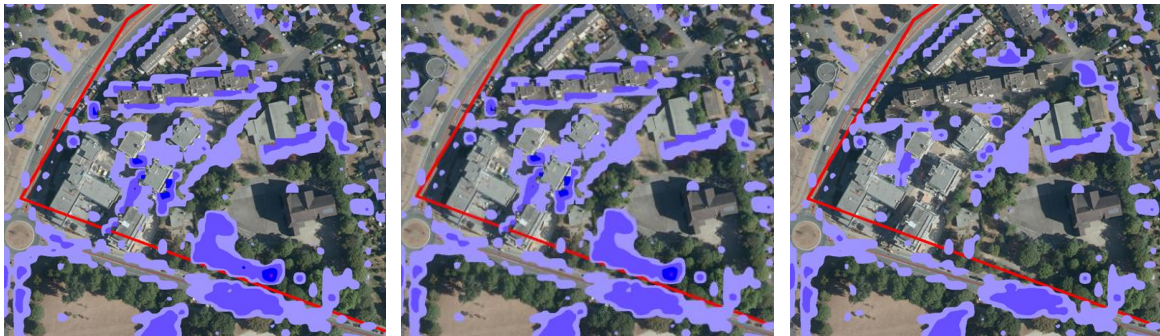
### Maßnahmenszenarien

Die Maßnahmen zur Reduzierung der Überflutung, bzw. Vermeidung potenzieller Schäden in einzelnen Quartieren werden im Kapitel 3.2 beschrieben.

Für die Überflutungsbetrachtung wurden die Auswirkungen unterschiedlicher Maßnahmen, als fiktive Planungsvarianten verglichen.

#### Voruntersuchung: Detailbetrachtung innerhalb des Quartiers

Für den in der Abbildung 49 beispielhaft ausgewählten Bereich wurden urbane Gefahrenkarten mit verschiedenen Szenarien aufgestellt. Zu den verwendeten Maßnahmen gehören unterirdische Retentionsbecken, Schutzmauern sowie Gründächer, bzw. Retentionsdächer. Die fiktive Betrachtung des Szenarios Dachbegrünung zeigt, dass die Dachbegrünung allein nicht zur Verringerung des Überstauvolumens und der Überflutungsfläche beiträgt. Dieses Szenario besitzt einen vernachlässigbaren Effekt auf die Verringerung der Überflutungsvolumina, weshalb Retentionsdächer in der Planung vorzuziehen sind. In weiteren Untersuchungen wurden deshalb Retentionsdächer implementiert. Eine weitere Betrachtung mit kombinierten Maßnahmen aus unterirdischen Retentionsbecken und Schutzmauern zeigt eine effektive Wirkung zur Verringerung der Überflutung, insbesondere in Bezug auf die Reduzierung des maximalen Überstauvolumens.



**Abbildung 49** Urbane Gefahrenkarten ( $T = 30 \text{ a}$ ,  $D = 120 \text{ min}$ ): IST-Zustand (links), Retentionsdachszenario (Mitte), Maßnahmenkombination (rechts) (Quelle: itwh GmbH)

#### Szenario 1: Retentionsdächer auf Stadtebene (Herne)

Das Szenario 1 untersucht die Reduzierung der Abflussvolumina von der Dachfläche, beim flächenhaften Einsatz von Gründächern mit Retentionsfunktion auf Stadtebene. Die Modellierung der Retentionsdächer erfolgt über die Veränderung der Abflussbildungsparameter. Dabei wurden die Benetzungsverluste und die Muldenverluste erhöht.

#### Szenario 2: Retentionsdächer auf Quartiersebene (Baukau / Pantringshof)

In Szenario 2 wird der Einsatz von Retentionsdächern auf Quartiersebene untersucht. Die Implementierung der Retentionsdächer findet hier in den Quartieren Baukau und Pantringshof statt. Die Abflussbildungsparameter wurden durch die Erhöhung der Benetzungs- und Muldenverluste angepasst.

#### Szenario 3: Mulden und Mulden-Rigolensysteme auf Quartiersebene

Das Szenario 3 untersucht den Einsatz von Versickerungs-, bzw. Speicherelementen. Hierfür wurden 8 Mulden und 3 Retentionssteiche / unterirdische Retentionsbecken eingesetzt.

Die **Ergebnisse der Szenarien 1 - 3** werden im Folgenden anhand der prozentualen Veränderung im Vergleich zum IST-Zustand bewertet. Betrachtet werden die Anzahl der Überstauschächte, das Überstauvolumen, der Überstau über den Straßenabläufen und die Überflutungsfläche. Das Szenario 1 liefert dabei bei allen verwendeten Modellregens den besten Effekt. Das Überstauvolumen wird um bis zu 27 % reduziert, gleichzeitig verringert sich der Überstau über den Straßenabläufen um 63 %. Dementsprechend stellt die großflächige Implementierung von Retentionsdächern auf Stadtebene eine effektive Maßnahme zur Überstaureduzierung dar. Die Implementierung der blauen Dächer auf Quartiersebene zeigt hingegen nur einen geringeren Unterschied zum IST-Zustand. Die Reduzierung der Überstauvolumina beträgt hier lediglich 1 %. Die Ergebnisse im Szenario 3 zeigen eine Verringerung der Überflutungsfläche, in Abhängigkeit des gewählten Modellregens, von bis zu 4 %.

Tabelle 36 Auszug Ergebnisse für das Quartier Baukau

SZENARIO 1		Modellregen mit Jährlichkeit		
Parameter	Einheit	T=30a	T=50a	T=100
		Wert	Wert	Wert
Überflutungsfläche	%	-19	-17	-14
Anzahl Überstausschächte	%	-58	-36	-33
Überstau über Straßenablauf	%	-85	-78	-63
gesamte Überstauvolumen	%	-27	-24	-21
SZENARIO 2		Modellregen mit Jährlichkeit		
Parameter	Einheit	T=30a	T=50a	T=100
		Wert	Wert	Wert
Überflutungsfläche	%	-1	-1	0
Anzahl Überstausschächte	%	0	0	0
Überstau über Straßenablauf	%	0	-4	0
gesamte Überstauvolumen	%	-1	-1	0
SZENARIO 3		Modellregen mit Jährlichkeit		
Parameter	Einheit	T=30a	T=50a	T=100
		Wert	Wert	Wert
Überflutungsfläche	%	-2	-3	-4
Anzahl Überstausschächte	%	0	0	0
Überstau über Straßenablauf	%	0	0	0
gesamte Überstauvolumen	%	0	0	0

Der Unterschied zwischen den verschiedenen Modellregen liegt bei 2 bis 3 % für den Großteil aller in der Tabelle 36 betrachteten Parameter, obwohl die reduzierte Anzahl an Schächten mit Überstau beim Modellregen T30 um 20 % höher ist als bei den anderen Modellregen. Für den Parameter Überstau über den Straßenabläufen beträgt die Abweichung zwischen den drei Szenarien mehr als 7 %.

Insgesamt konnte aufgezeigt werden, dass Gründächer eine vernachlässigbare Wirkung im Hinblick auf den Überflutungsschutz haben. Retentionsdächer sind hier allgemein in der Planung vorzuziehen, wobei eine signifikante Auswirkung von Retentionsdächern hier nur auf Stadtebene zu erwarten ist. Eine gute Lösung zur Verringerung von Überflutungsgefahren findet sich in der Kombination von Maßnahmen. Innerhalb dieses Kombinationsszenarios konnte auch gezeigt werden, dass auf Quartiersebene schon die einfache Planung eines „Schutzmauerchens“ die Überflutungsgefahr für einzelne Gebäude erheblich mindern kann.

#### 4.2.5 Straßen- und Kanalzustand

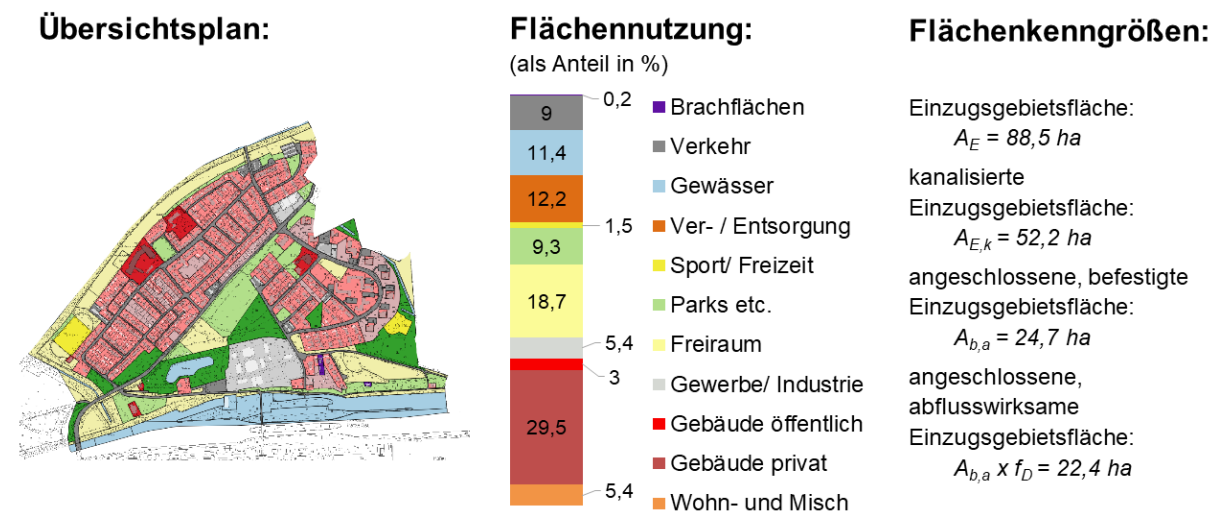
Im Quartier ist der Straßenbauzustand der primäre Sanierungstrigger. Hier besteht fast durchgehend Sanierungsbedarf. Aufgrund heterogener Kanalzustandsdaten (Verwendung unterschiedlicher Normen aufgrund einer Umstellung der Befahrungssystematik) konnten keine Substanzklassen nach SubKanS ermittelt werden, da für einen Großteil der Haltungen Befahrungsdaten nach Arbeitshilfe Abwasser vorlagen. Trotzdem kann abgeleitet werden, dass bei jeder Kanalsanierungsmaßnahme eine integrale Sanierung mit der Straße sinnvoll erscheint und zu prüfen ist. In Abbildung 50 sind die Zustandsklassen für den Kanal und die Straße abgebildet. Es ist zu sehen, dass fast alle Straßenabschnitte in einem schlechten Zustand sind und sich daher alle Sanierungsmaßnahmen zur integralen Umsetzung anbieten und zu prüfen sind. Der Kanalzustand, soweit ausgewertet, ist weitgehend in keinem kurzfristig sanierungsbedürftigen Zustand. Allerdings wurden die Wohngebiete aufgrund der unterschiedlichen Verwendung der Normung nicht ausgewertet. Hier kann ein kurzfristiger Sanierungsbedarf vorliegen.



Abbildung 50 Übersicht der Straßenbau und Kanalzustandsklassen für das Quartier Baukau

### 4.3 Quartier Pantringshof

Das Quartier „Pantringshof“ liegt im Nordosten der Ruhrgebietsstadt Herne. Ein Übersichtsplan sowie Informationen zur Flächennutzung und Flächenkenngrößen sind in Abbildung 27 zusammengestellt. Das Quartier wird im Nordwesten entlang der Emscher durch die Stadtgrenze zu Recklinghausen, im Osten durch die Stadtgrenze zu Castrop-Rauxel, im Süden durch den Rhein-Herne-Kanal und im Westen durch den Landwehrbach begrenzt, an den sich weiter westlich ein schmaler werdender, gewerblich genutzter Streifen anschließt. Der größere Gebietsteil zwischen Emscher und Pöppinghauser Straße wird durch 1-2-Familienhaus-Bebauung der 1950er-Jahre geprägt. Der aus den 1970er-Jahren stammende Stadtraum am östlich gelegenen Emsring wird durch Punkthochhäuser dominiert sowie großkörnige Elemente wie großflächiger Einzelhandel, eine Sporthalle, eine Schule und einen Kindergarten. Der Süden des Quartiers im Anschluss an die Wohnbebauung am Emsring ist bis zum Kanal durch Freiraum geprägt.



**Abbildung 51** Übersichtsplan, Flächennutzung und Flächenkenngrößen des betrachteten Quartiers Herne-Pantringshof

Das Gebiet wird im Mischsystem entwässert. Die Ableitung des Gebietsabflusses erfolgt über den südlich der Emscher gelegenen „Abwasserkanal Emscher“ (AKE). Im Westen des Gebiets verläuft der Landwehrbach. Die Gebietsabflüsse teilen sich in zwei Entwässerungsnetze auf: Der westliche Bereich wird westlich des Sportplatzes im Nordwesten des Quartiers in den AKE eingeleitet. Vor dem Emscherumbau erfolgte die Einleitung in den Landwehrbach. Der verbleibende Quartiersteil im Norden und Osten leitet im Norden in den AKE ein.

Wie in Abbildung 52 dargestellt, liegen im Quartier vorwiegend Sande und Lehme vor. Der flächengewichtete mittlere Durchlässigkeitsbeiwert liegt bei 63 mm/h. Der Grundwasserflurabstand liegt bei mindestens 0,8 m u. GOK. Somit kann der Untergrund weitestgehend als gut sickertfähig bewertet werden.

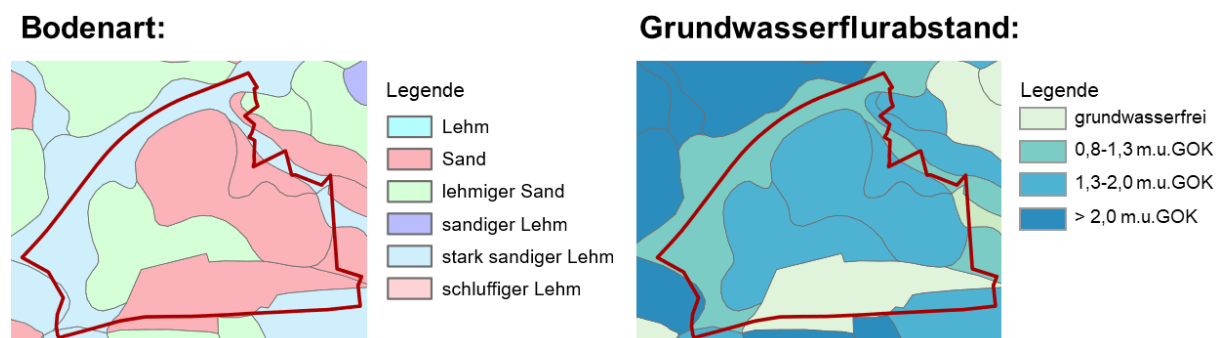


Abbildung 52 Bodenart und Grundwasserflurabstand für das Quartier Herne-Pantringshof. Entnommen aus der BK 50 (Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen 2022)

### 4.3.1 Wasserhaushalt

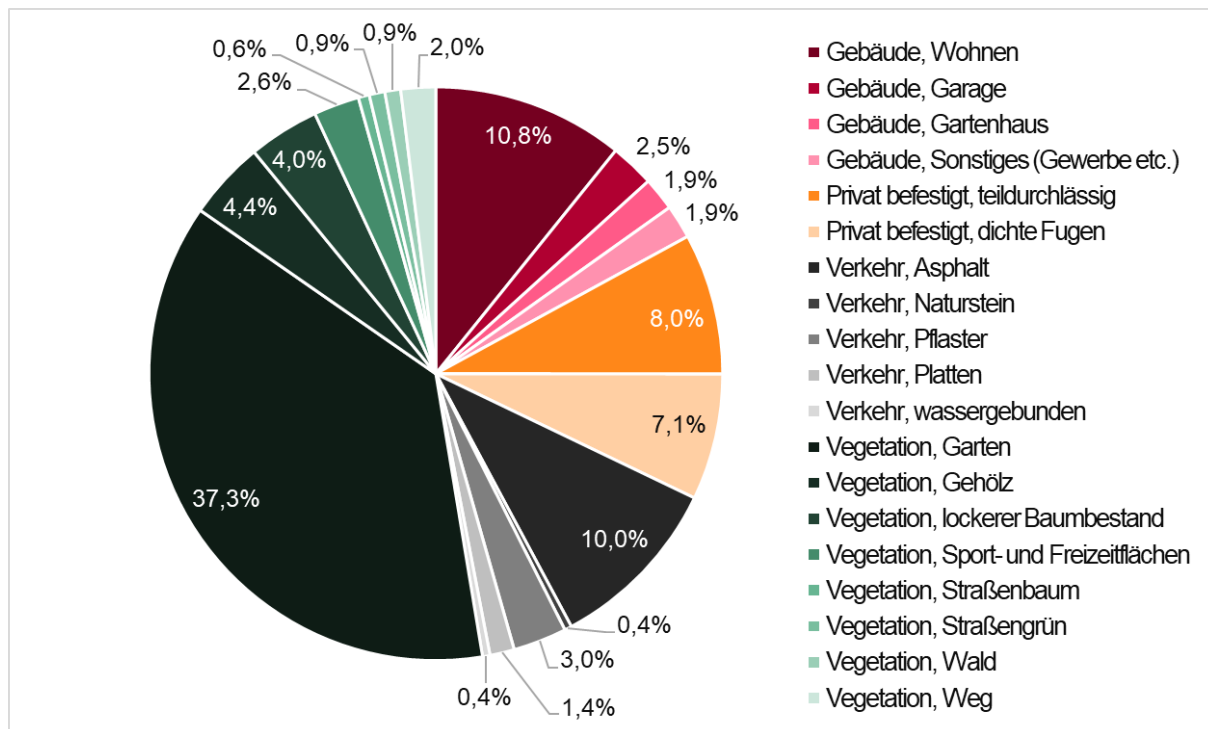
#### 4.3.1.1 IST-Zustand

Wie im vorherigen Quartier Baukau erfolgt die Betrachtung des Wasserhaushalts auf Grundlage des DWA-A 102-2/ BWK-A 3-2 (2020) bzw. DWA-M 102-4/ BWK-M 3-4 (2022). Zur Durchführung des Wasserhaushaltsnachweis wird die Software „Wasserbilanz-Expert“ (DWA 2017) genutzt.

Die zugrundeliegenden Eingangsgrößen sind in Tabelle 37 hinterlegt. Der Wasserhaushalt im unbebauten Zustand wurden auf Grundlage des „Hydrologischen Atlas Deutschland“ (HAD) (Bundesanstalt für Gewässerkunde 2022) bestimmt. Die Anteile der Wasserbilanz ergeben sich demnach zu 32% Abfluss, 21% Grundwasserneubildung sowie 47% Verdunstung. Der Durchlässigkeitsbeiwert wurde als flächengewichteter Mittelwert der BK 50 (Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen 2022a) ermittelt.

Tabelle 37 Eingangsgrößen der Wasserhaushaltsbilanzierung für das Quartier Pantringshof

Datensatz	Einheit	Wert	Quelle
<b>Hydrologische Kennwerte:</b>			
mittlerer jährlicher Niederschlag P (unkorrigiert)	mm/a	850	HAD
mittlerer jährlicher Niederschlag P <sub>Korr</sub> (korrigiert)	mm/a	850	HAD
<b>Wasserhaushalt unbebauter Zustand:</b>			
mittlere jährliche potentielle Grasreferenzverdunstung ET <sub>0</sub>	mm/a	588	HAD
mittlere jährliche Direktabflusshöhe R <sub>D</sub>	mm/a	274	HAD
mittlere jährliche Grundwasserneubildung GWN	mm/a	176	HAD
mittlere jährliche Verdunstung ET <sub>a</sub>	mm/a	401	HAD
<b>Bodenkundliche Kenndaten:</b>			
Durchlässigkeitsbeiwert des Bodens für das Quartier k <sub>f</sub>	mm/h	63,4	BK50

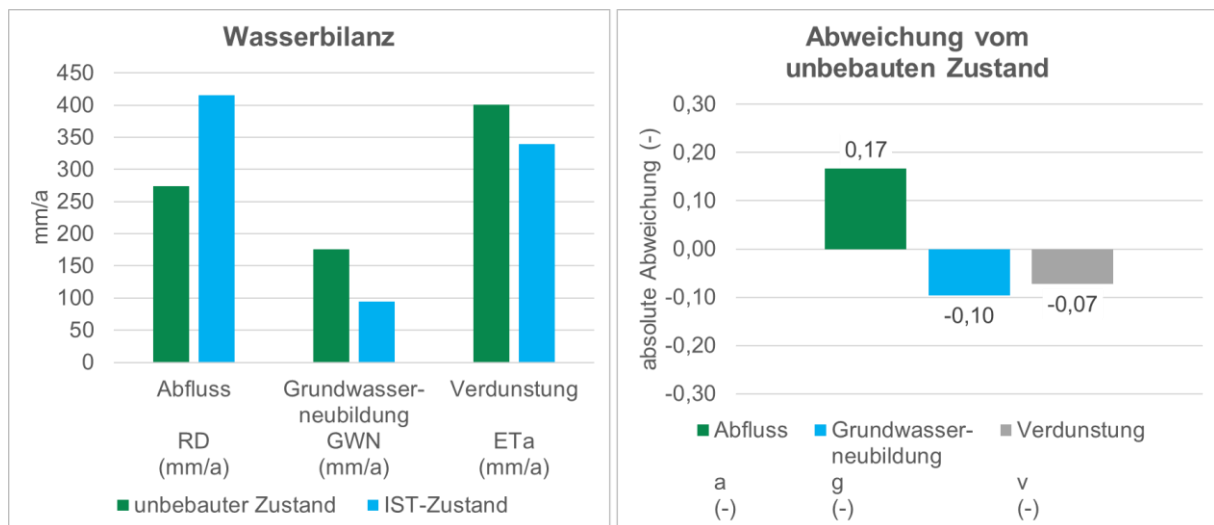


**Abbildung 53 Flächennutzung im Quartier Herne-Pantringshof**

Zur Aufbereitung der eingehenden Flächennutzungen wurde erneut der öffentlich zugängliche ALKIS-Datensatz um nähergehende Daten der Stadt Herne ergänzt. Die Aufteilung der in die Auswertung eingehenden Flächennutzung wird in Abbildung 53 dargestellt. Das kanalisierte Gebiet beinhaltet aufgrund der vorwiegend Ein- bis Zweifamilienhaus-geprägten Bebauungsstruktur sowie der großzügigen Grünflächen an den Mehrfamilienbauten im Südosten des Quartiers einen Vegetationsanteil von mehr als 50%. Die Gebäude nehmen etwa 17%, öffentliche Verkehrsflächen etwa 15 % und befestigte Privatflächen ebenfalls etwa 15% des Quartiers ein.

Die Ergebnisse der Wasserhaushaltsbilanzierung (Abbildung 54) weisen einen um 17%-Punkte erhöhten Abflussanteil auf. Auf der anderen Seite bestehen für Grundwasserneubildung und Verdunstung Defizite um 10%-Punkte bzw. 7%-Punkte. Für die Transformationsplanung bedeuten diese Ergebnisse, dass abflussmindernde und grundwasserneubildungs- bzw. verdunstungsfördernde Maßnahmen zu bevorzugen sind.

Auch für Pantringshof soll für die der Wasserhaushaltskomponenten der Versiegelungsgrad als Anteil der aktuellen Versiegelung als planerische Zielgröße zur Erreichung eines naturnahen Zustands ermittelt werden. Als tolerierte Abweichung des Wasserhaushalts vom naturnahen Zustand wird in diesem Fall ebenfalls ein Grenzwert von  $\pm 5\%$ -Punkten angenommen. Da alle drei Komponenten den Toleranzwert überschreiten, werden Zielwerte für alle drei Komponenten angegeben. Demnach sind für den Abfluss 52%, für die Grundwasserneubildung 78% und für die Verdunstung 47% der aktuell versiegelten Fläche als Maximalversiegelung einzuhalten.



**Abbildung 54** Ergebnisse der Wasserhaushaltsbilanzierung des IST-Zustands für das Quartier Herne-Pantringshof

#### 4.3.1.2 PLANUNG

Potentialräume sowie Maßnahmenpotentiale der Transformationsplanung sind in Abbildung 55 dargestellt. Zur Aufstellung wurde das in Kapitel 2.2 beschriebene Verfahren angewendet.

Vorgesehen werden Maßnahmen der Dachbegrünung, Regengärten, Regenwassernutzung und Entsiegelung. Dachbegrünungen können auf Flachdächern, beispielsweise auf bestehenden Garagendächern umgesetzt werden. Für die Etablierung von Regengärten sollte eine Einleitung der privaten befestigten Flächen (Dach, Hofflächen) vorgesehen werden. Die Regenwassernutzung wird zur Bewässerung vorgesehen. Zur Entsiegelung bieten sich Hof- und versiegelte Gartenflächen an. Im Bereich von Gärten oder Innenhofsituation kann eine vollständige Entsiegelung und Umwandlung zu Grünflächen infrage kommen. Für Flächen deren Befahr- bzw. Begehrbarkeit auch weiterhin gewährleistet sein muss, kann in Abhängigkeit der Anforderungen eine Umwandlung in teildurchlässige Flächenbeläge vorgesehen werden.

Im öffentlichen Verkehrsraum können dezentrale Regengärten die Straßenabflüsse aufnehmen. Dabei ist jedoch die Behandlungsbedürftigkeit der Abflüsse zu beachten, so dass behandlungsbedürftige Abflüsse keinesfalls unbehandelt in den Untergrund versickern. Werden die Regengärten als dezentrale Behandlungselemente im Sinne eines Retentionsbodenfilters konfiguriert, kann die Versickerung in den Untergrund geprüft werden. Andernfalls können die Elemente mit einer Abdichtung nach unten versehen werden, so dass sie zur Retention und Verdunstungsförderung beitragen, die Abflüsse jedoch deutlich verzögert dem Kanalnetz zugeführt werden. Eine Reihenschaltung mehrerer Elemente ist denkbar und kann die Effekte verstärken.

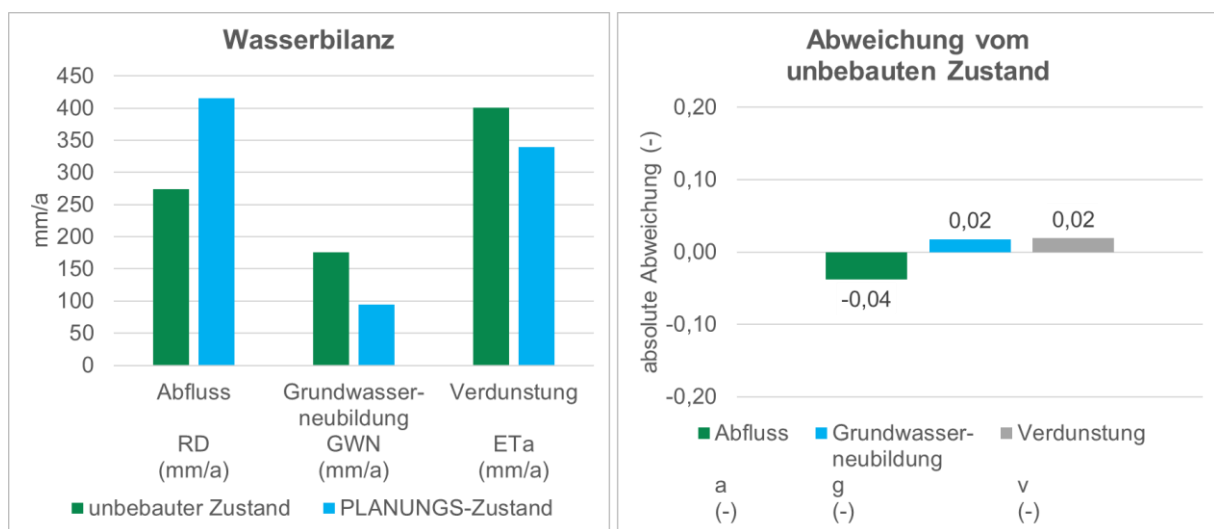




Abbildung 55 Entwickelte Transformationsplanung für das Quartier Pantringshof

Nähere Informationen zur Ausgestaltung der einzelnen Maßnahmen sind den Maßnahmensteckbriefen (Leitfaden RessourcenPlan, Teil 3.3) zu entnehmen. Es wird empfohlen die Umsetzung der Maßnahmen mit Arbeiten im Bereich der Straßen bzw. Kanäle (Kapitel 4.3.5) abzustimmen bzw. zu priorisieren. Die Entscheidungsfindung zur genauen Verortung der Maßnahmen kann u.a. durch die lokal-funktionale Bewertung (Kapitel 2.3) vereinfacht werden.

Die Wasserhaushaltsbilanzierung dient der Erfolgskontrolle der aufgestellten Transformationsplanung. Die Ergebnisse sind in Abbildung 56 dargestellt. Gegenüber dem IST-Zustand hat sich der Wasserhaushalt verbessert. Der Abfluss ist nun um 4%-Punkte leicht vermindert. Die Grundwasserneubildung und Verdunstung sind um 2%-Punkte leicht erhöht. Alle Abweichungen befinden sich im Toleranzbereich von  $\pm 5\%$ -Punkten.



**Abbildung 56** Ergebnisse der Wasserhaushaltsbilanzierung des PLANUNGS-Zustands für das Quartier Herne-Pantringshof

## 4.3.2 Emissionen

### 4.3.2.1 IST-Zustand

Die Emissionsbetrachtung wird, wie in Kapitel 2.1.1 beschrieben, in Anlehnung an das DWA-A 102-2/ BWK-A 3-2 (2020) durchgeführt. Mit dem Verfahren nach Wessels und Leutnant (2021) werden die AFS<sub>63</sub>-Belastungskategorien der Flächen ermittelt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 57 dargestellt.

In Tabelle 38 werden die Eingangs- und Ergebnisgrößen des Emissionsnachweises zusammengefasst. Mit einem flächenspezifischen Stoffabtrag AFS<sub>63</sub> von 402 kg/(ha·a) überschreitet das Gebiet den maximalen Wert von 280 kg/(ha·a). Im Falle eines Trennsystems wäre eine Behandlung vor Einleitung in das Gewässer mit einem Wirkungsgrad von 30,3 % vorzusehen. Die Behandlung kann zentral oder dezentral im Gebiet angeordnet werden.

Die Zielgröße der maximal angeschlossene Fläche ergibt sich aus einer angenommenen Abkopplung vom Kanal mit einem der aktuellen Gebietszusammensetzung entsprechenden Stoffabtrag. Sie wird als Anteil der aktuell angeschlossenen befestigten Fläche formuliert und kann als Orientierungsgröße für zukünftige Planungen dienen. Für das Quartier Baukau beläuft sich die Zielgröße auf 70% der aktuell angeschlossenen Fläche.



Abbildung 57 AFS<sub>63</sub> Belastungskategorien im Quartier Pantringshof. Hintergrund: Digitale Orthophotos NRW (Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen 2022b)

**Tabelle 38 Ergebnisse des Emissionsnachweis zur Aufstellung des RessourcenPlans für das Quartier Pantringshof**

Datentyp	Datensatz		t
<b>Eingangsgrößen</b>	kanalisierte Einzugsgebietsfläche	$A_{E,k}$	<b>52,2 ha</b>
	angeschlossene befestigte Fläche	$A_{b,a}$	<b>54,9 ha</b>
	angeschlossene befestigte Fläche Kategorie I	$A_{b,a,I}$	<b>13,0 ha</b>
	angeschlossene befestigte Fläche Kategorie II	$A_{b,a,II}$	<b>11,5 ha</b>
	angeschlossene befestigte Fläche Kategorie III	$A_{b,a,III}$	<b>0,3 ha</b>
	flächenspezifischer Stoffabtrag Kategorie I (lt. DWA-A 102-2)	$b_{R,a,AFS63,I}$	<b>280 kg/(ha·a)</b>
	flächenspezifischer Stoffabtrag Kategorie II (lt. DWA-A 102-2)	$b_{R,a,AFS63,II}$	<b>530 kg/(ha·a)</b>
	flächenspezifischer Stoffabtrag Kategorie III (lt. DWA-A 102-2)	$b_{R,a,AFS63,III}$	<b>760 kg/(ha·a)</b>
<b>(Zwischen-) Ergebnisse</b>	jährlicher Stoffabtrag Kategorie I	$B_{R,a,AFS63,I}$	<b>3.629 kg/a</b>
	jährlicher Stoffabtrag Kategorie II	$B_{R,a,AFS63,II}$	<b>6.080 kg/a</b>
	jährlicher Stoffabtrag Kategorie III	$B_{R,a,AFS63,III}$	<b>236 kg/a</b>
	jährlicher Stoffabtrag AFS <sub>63</sub> des Gesamt-Gebiets	$B_{R,a,AFS63}$	<b>9.944 kg/a</b>
	flächenspezifischer Stoffabtrag AFS <sub>63</sub> des Gesamt-Gebiets	$b_{R,a,AFS63}$	<b>402 kg/(ha·a)</b>
<b>Planerische Zielgröße</b>	erforderlicher Wirkungsgrad einer Behandlungsmaßnahme	$\eta_{r,erf}$	<b>30,3 %</b>
	benötigte Reduktion AFS <sub>63</sub> aus Gebiet	$B_{R,r,AFS63,erf}$	<b>3.017 kg/a</b>
	<b>maximal angeschlossene Fläche als Anteil an aktuell angeschlossener befestigter Fläche</b>	$\eta_{A,b,a,erf}$	<b>70 %</b>

### 4.3.3 Immissionen

Der Landwehrbach wird von mehreren kleinen Bächen gespeist und besitzt dadurch ein deutlich größeres Einzugsgebiet als der Ostbach. Pantringshof befindet sich kurz vor der Mündung des Landwehrbachs in die Emscher. Auch hier ist kein Anschluss im Trenngebiet vorgesehen. Anders als in Baukau wird auch kein Planungsgebiet neu bebaut (mit potentieller Entwässerung im Trennsystem), deshalb wurde für Pantringshof kein Planzustand aus Immissionssicht betrachtet. Trotzdem wird berechnet, welche Substanzen ein Problem darstellen könnten, falls Herne Pantringshof in Zukunft an den Landwehrbach angeschlossen werden sollte. In diesem Fall ist ganz Pantringshof das Planungsgebiet und somit sind die Flächen für das Urbane Stadtgebiet und das Planungsgebiet identisch (Tabelle 39). Das gesamte EZG des Landwehrbachs beläuft sich auf 56,5 km<sup>2</sup>, Pantringshof hingegen erstreckt sich nur über 0,913 km<sup>2</sup>. Flussaufwärts von Pantringshof gibt es zwar viele weitere Ortschaften, diese sind jedoch nicht an den Landwehrbach angeschlossen, so dass der Wert für „area\_urban\_upstream“ gleich 0 gesetzt werden konnte. Diese Zahl ist ausschließlich für die hydrologische Bewertung relevant. Der Landwehrbach besitzt in Pantringshof einen mittleren Durchfluss von 0,25 m<sup>3</sup>/s und durchfließt einen mittleren Querschnitt von 1 m<sup>2</sup> über 430 m Fließstrecke. Wie bereits für den Ostbach wurde kein einjähriger natürlicher Abfluss vorgegeben, sondern mit der EZG-Größe und dem Gefälle abgeschätzt. Er beträgt 54 L/(s·km<sup>2</sup>) bzw. 3088 L/s für das gesamte EZG.

**Tabelle 39 Standorteigenschaften für die Bewertung des Stadtteils in Herne Pantringshof**

Variable	Einheit	Wert
SUW_name		Landwehrbach
LAWA_type		19
Q_mean	m <sup>3</sup> /s	0.25
river_cross_section	m <sup>2</sup>	1
river_length	m	430
rain_year	mm/Jahr	822
City_name		Herne Baukau
x_coordinate		3813634.44
y_coordinate		2753912.5
area_catch	km <sup>2</sup>	56.5
area_urban	km <sup>2</sup>	0.913
area_plan	km <sup>2</sup>	0.913
area_urban_upstream	km <sup>2</sup>	0
Hq1pnat_catch	L/(s·km <sup>2</sup> )	
Hq2pnat_catch	L/(s·km <sup>2</sup> )	
slope_catch	%	0.1

Da die Fließstrecke durch Pantringshof sehr gering ist, fällt die Dauer des charakteristischen Regens mit 69 min sehr viel geringer aus. Der Hauptanteil der 69 Minuten stammt von den pauschal angenommenen 60 min Aufenthaltszeit im Kanal, die hier besonders wichtig werden. Die Intensität des Regens beträgt 40,7 L/(s·ha), was einer gesamten Regenhöhe von etwa 17 mm entspricht. Diese Intensität ist aufgrund der kurzen Dauer deutlich höher als beim Ostbach.

Pantringshof besteht vor allem aus Einfamilienhäusern (Tabelle 40). Ein Teil des an den Landwehrbach angrenzenden Gebiets ist außerdem Grünfläche (25 %) und Gewerbegebiet (7 %).

**Tabelle 40 Eingabe der Stadtstrukturtypen in Herne Pantringshof**

landuse	fD	proportion	separate_sewer
residential_city	0.75	0	0
residential_suburban	0.71	0.68	0
commercial	0.73	0.07	0
main_road	0.94	0	0
no_runoff	0	0.25	

Die Hintergrundwerte des Landwehrbachs sind Mittelwerte von 2 Messstellen mit den IDs 557833 und 577856 und bestehen aus mindestens 8 Messungen. Für Stoffe, die nicht gemessen wurden (mit NA gekennzeichnet), wurden die im R-Paket hinterlegten Standardwerte verwendet.

**Tabelle 41 Eingabe der Hintergrundkonzentrationen im Ostbach**

Substance	Unit	Background Concentration
-----------	------	--------------------------

Anthracen	ug/L	0.01
Cadmium gelöst	ug/L	0.02
Carbendazim	ug/L	NA
Diethylhexylphthalat (DEHP)	ug/L	NA
Mecoprop	ug/L	NA
Phenanthren	ug/L	0.03
Diuron	ug/L	NA
Fluoranthren	ug/L	0.01
Blei gelöst	ug/L	0.1
Naphthalin	ug/L	0.02
Nickel gelöst	ug/L	2
Benzo[a]pyren	ug/L	0.0029
Benzo[b]fluoranthren	ug/L	0.0035
Benzo[k]fluoranthren	ug/L	0.0017
Benzo[g,h,i]perylen	ug/L	0.0033
Terbutryn	ug/L	NA
Zink gelöst	ug/L	4.86
Kupfer gelöst	ug/L	2.29
AFS fein (<63µm)	mg/L	NA
Orthophosphat	mg/L	NA
Gesamt-Phosphor	mg/L	0.12

Die Ergebnisse der hydrologischen Bewertung sind in Tabelle 42 aufgelistet. Von der gesamten Stadtfläche von Pantringshof dürfen 346 L/s in den Landwehrbach eingeleitet werden. Bei dem definierten Stadtstrukturmix dürften 12 ha bzw. 17,5 % der befestigten Fläche an eine Trennkanalisation ohne Drossel angeschlossen werden. Soll hingegen die gesamte Fläche angeschlossen werden wäre eine Drossel von 3,8 L/(s·ha) notwendig.

**Tabelle 42 Hydrologische Bewertung für den Ostbach und das Planungsgebiet in Herne Pantringshof**

Parameter	Einheit	Wert
<b>Tolerierbarer Abfluss aus dem befestigten Stadtgebiet</b>	L/s	346
<b>Potentiell Anschließbare Fläche im Stadtgebiet (basierend auf dem Strukturtypmix)</b>	ha	12
	%	17,5
<b>Benötigte Drossel im Planungsgebiet *</b>	L/(s·ha)	3,8

\* Für den Fall, dass das gesamte Planungsgebiet an die Trennkanalisation angeschlossen wird

#### Die stoffliche Bewertung in

Tabelle 43 wurde mit den Mittelwerten im Regenwasserabfluss durchgeführt. Kupfer ist der mit Abstand kritischste Schadstoff für den Landwehrbach. Das liegt neben der potentiell hohen Konzentration im Regenwasserabfluss an der Vorbelastung des Landwehrbachs, die mit 2,29 µg/L nur knapp unterhalb der UQN (2,4 µg/L) liegt. Falls Pantringshof im Trennsystem an den Landwerhbach angeschlossen wird, müsste die Kupferkonzentration im Regenwasserab-

fluss um mehr als 99 % gesenkt werden. Ebenfalls problematisch sind Zink und Benzo(b)fluoranthen als einziges PAK. Während Kupfer häufig hochkonzentriert im Regenwasserabfluss von Einfamilienhäusern vorkommt, ist für Zink und PAK das Gewerbegebiet die Hauptquelle. Ggfs. müsste hier der Abfluss behandelt werden. Für den Fall eines kompletten Anschlusses an eine Trennkanalisation sollte überprüft werden, inwieweit Biozide wie Mecoprop angewendet wurden. Phosphor stellt hingegen keinen limitierenden Faktor dar.

Die maximalen Schadstoffkonzentrationen sind geringer als im Ostbach, da aufgrund der lokalen Verhältnisse ein ein- statt sechsständiges Ereignis zu Grunde liegt.

**Tabelle 43 Stoffliche Bewertung für den Landwehrbach und das Stadtgebiet Herne Pantringshof**

	Maximale Schadstofffracht		
	Anschließbare Fläche im Stadtgebiet		Maximale Schadstofffracht aus dem Stadtgebiet mg/Ereignis bzw. kg/Jahr
	ha	%	
<b>Benzo(b)fluoranthen</b>	28,9	24	231
<b>Benzo(g,h,i)perylen</b>	67,3	98	128
<b>Orthophosphat</b>	2 971	4 340	2 251
<b>Gesamt Phosphor</b>	145	212	364
<b>Kupfer (gelöst)</b>	0,22	0	1 469
<b>Mecoprop</b>	55,5	81	1 302
<b>Zink (gelöst)</b>	12,5	18	408 900

## 4.3.4 Überflutung

### 4.3.4.1 Methodik

Die Methodik entspricht dem in Kapitel 4.2.4.1 beschriebenen Vorgehen.

### 4.3.4.2 IST-Zustand

Die Tabelle 44 zeigt die Überflutungsergebnisse für das Quartier Pantringshof im IST-Zustand. Die Überflutungsfläche und das Überstauvolumen steigen analog zum Quartier Baukau bei Verwendung eines Modellregens mit höherer Wiederkehrzeit an. Das gesamte Überstauvolumen in Pantringshof beträgt 12.142 m<sup>3</sup>, bei einer Simulation mit einem Modellregen T100. Das sind etwa 35 % mehr Überstauvolumen im Vergleich zu einem Modellregen T30. Die maximale Überflutungstiefe steigt im Quartier Pantringshof um ca. 12 % (im Vergleich T30 zu T100) an. Der größte Anstieg der Überflutungstiefe erfolgt von T30 zu T50 und beträgt 13 cm. Bei allen verwendeten Modellregen beträgt die maximale Fließgeschwindigkeit 2,8 m/s.

**Tabelle 44 Auszug Ergebnisse des IST-Szenario für das Teilgebiet Pantringshof**

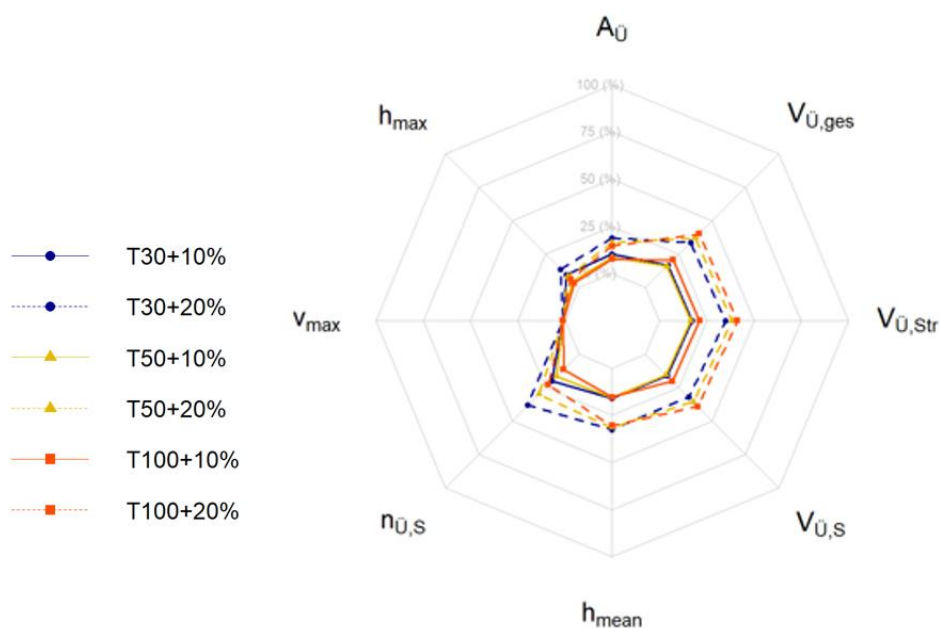
Parameter	Einheit	Modellregen mit Jährlichkeit		
		T=30a Wert	T=50a Wert	T=100 Wert
Überflutungsfläche	m <sup>2</sup>	56.268	70.018	87.349
Max. Überflutungstiefe	m	1,55	1,68	1,76
Anzahl Überstausschächte	-	203	234	288
Überstau über Schacht	m <sup>3</sup>	5.274	6.523	8.495
Überstau über Straßenablauf	m <sup>3</sup>	2.659	3.072	3.647
gesamte Überstauvolumen	m <sup>3</sup>	7.934	9.595	12.142

### 4.3.4.3 PLANUNG

#### Klimawandelszenarien

Die Ergebnisse der Klimaszenarien im Quartier Pantringshof (Abbildung 58) zeigen eine geringere Steigerung des Überstauvolumens im Vergleich zum Gebiet Baukau (Kapitel 4.2.4.3). Die gesamte Überstaumenge steigt um bis zu 45 % nach Simulation des Klimaszenarios +20 %. Somit ergibt sich bei einer Erhöhung des Modellregens um 10 % eine Zunahme des Überlaufvolumens um 25 %. Die größte Überflutungsmenge tritt bei T100 auf. Die maximale Anzahl von Überstausschächten, sowie die maximalen Wassertiefen sind während des Regens T30 zu beobachten.





**Abbildung 58** Ergebnisse der Klimaszenarien für das Quartier Pantringshof

### Maßnahmenszenarien

Die Maßnahmen zur Reduzierung der Überflutung, bzw. Vermeidung potenzieller Schäden in einzelnen Quartieren werden im Kapitel 3.2 beschrieben. Exemplarisch und konzeptionell sind Maßnahmenszenarien auf Stadtebene und Quartiersebene in Kapitel 4.2.4.3 dargestellt.

Die Ergebnisse für das Quartier Pantringshof sind in der Die ungleiche Verringerung des Überstauvolumens zwischen den beiden Quartieren ist unter anderem auf die Gebietsgröße, die Geländehöhe sowie die zufließenden Zuflüsse zurückzuführen. Das Quartier Pantringshof ist mit 89,1 ha deutlich kleiner als das Quartier Baukau mit 159 ha. Zusätzlich ist die Abflussmenge angeschlossener Außengebiete durch unterschiedliche Flächennutzung geprägt. Das Gebiet Baukau ist insgesamt höher versiegelt (90 %), weshalb weniger Wasser verdunsten oder versickern und mehr Niederschlagswasser zum Abfluss kommt. Dahingegen beträgt der Anteil der versiegelten Fläche in Pantringshof etwa 66 %. Die verschiedenen Flächeneigenschaften sind ein Grund dafür, dass „benachbarte“ Quartiere unterschiedliche Simulationsergebnisse aufweisen.

**Tabelle 45** als prozentualer Vergleich zum IST-Szenario dargestellt. Das gesamte Überstauvolumen kann im Szenario 1 um bis zu 28 % reduziert werden, der Überstau über den Straßenabläufen ebenfalls. Die Änderung der Überstauvolumen im Szenario 2 ist marginal, bei allen Modellregen verringert sich die Überstaumenge um 2 bis 4 %. Im Vergleich zu den Szenarien 1 und 2 führen die Maßnahmen im Szenario 3 zu einer stärkeren Wirkung bei Modell-

regen mit hohen Wiederkehrzeiten, woran sich zeigt, dass lokale Schutzmaßnahmen wie Mulden und Versickerungsteiche eine effiziente Maßnahme im Hinblick auf außergewöhnliche Starkregen sein können.

Die ungleiche Verringerung des Überstauvolumens zwischen den beiden Quartieren ist unter anderem auf die Gebietsgröße, die Geländehöhe sowie die zufließenden Zuflüsse zurückzuführen. Das Quartier Pantringshof ist mit 89,1 ha deutlich kleiner als das Quartier Baukau mit 159 ha. Zusätzlich ist die Abflussmenge angeschlossener Außengebiete durch unterschiedliche Flächennutzung geprägt. Das Gebiet Baukau ist insgesamt höher versiegelt (90 %), weshalb weniger Wasser verdunsten oder versickern und mehr Niederschlagswasser zum Abfluss kommt. Dahingegen beträgt der Anteil der versiegelten Fläche in Pantringshof etwa 66 %. Die verschiedenen Flächeneigenschaften sind ein Grund dafür, dass „benachbarte“ Quartiere unterschiedliche Simulationsergebnisse aufweisen.

**Tabelle 45 Auszug Ergebnisse für das Teilgebiet Pantringshof**

<b>SZENARIO 1</b>		<b>Modellregen mit Jährlichkeit</b>		
		T=30a	T=50a	T=100
<b>Parameter</b>	<b>Einheit</b>	<b>Wert</b>	<b>Wert</b>	<b>Wert</b>
<b>Überflutungsfläche</b>	%	-3	-4	-3
<b>Anzahl Überstausschächte</b>	%	-42	-36	-33
<b>Überstau über Straßenablauf</b>	%	-28	-27	-33
<b>gesamte Überstauvolumen</b>	%	-28	-23	-19
<b>SZENARIO 2</b>		<b>Modellregen mit Jährlichkeit</b>		
		T=30a	T=50a	T=100
<b>Parameter</b>	<b>Einheit</b>	<b>Wert</b>	<b>Wert</b>	<b>Wert</b>
<b>Überflutungsfläche</b>	%	0	0	0
<b>Anzahl Überstausschächte</b>	%	0	0	0
<b>Überstau über Straßenablauf</b>	%	-4	-4	-3
<b>gesamte Überstauvolumen</b>	%	-3	-2	-2
<b>SZENARIO 3</b>		<b>Modellregen mit Jährlichkeit</b>		
		T=30a	T=50a	T=100
<b>Parameter</b>	<b>Einheit</b>	<b>Wert</b>	<b>Wert</b>	<b>Wert</b>
<b>Überflutungsfläche</b>	%	-1	-2	-2
<b>Anzahl Überstausschächte</b>	%	0	0	0
<b>Überstau über Straßenablauf</b>	%	-2	-4	-6
<b>gesamte Überstauvolumen</b>	%	0	-1	-5

### 4.3.5 Straßen- und Kanalzustand

Im Quartier ist ebenfalls der Straßenbauzustand der primäre Sanierungstrigger. Hier besteht fast durchgehend Sanierungsbedarf. Aufgrund heterogener Kanalzustandsdaten (Verwendung unterschiedlicher Normen aufgrund einer Umstellung der Befahrungssystematik) konnten keine Substanzklassen nach SubKanS ermittelt werden, da für einen Großteil der Haltungen Befahrungsdaten nach Arbeitshilfe Abwasser vorlagen. Trotzdem kann abgeleitet werden, dass bei jeder Kanalsanierungsmaßnahme eine integrale Sanierung mit der Straße sinnvoll erscheint und zu prüfen ist. In Abbildung 59 sind die Zustandsklassen für den Kanal und die Straße abgebildet. Es ist zu sehen, dass fast alle Straßenabschnitte in einem schlechten Zustand sind und sich daher alle Sanierungsmaßnahmen zur integralen Umsetzung anbieten und zu prüfen sind. Der Kanal ist ebenfalls überwiegend in einem Zustand des kurz- und mittelfristigen Handlungsbedarfs.



Abbildung 59 Übersicht der Straßenbau und Kanalzustandsklassen für das Quartier Pantringshof

## 5 Ökobilanzierung

Es wurden zwei Systemen der Regenwasserbewirtschaftung (RWB) für den Teil Baukau in der Stadt Herne mit einer ökobilanziellen Fallstudie untersucht. Zunächst werden das Ziel und der Untersuchungsrahmen vorgestellt, gefolgt von der Sachbilanz und den Ergebnissen. Abschließend erfolgt eine kurze Einordnung der RWB-Systeme in die Quartiersplanung. Das Kapitel beruht unter anderem auf Vorarbeiten von Camilla Carraros Masterarbeit (Carraro 2021). Ihre Studie wurde entsprechend angepasst und in den Kontext für die Stadt Herne gestellt.

### 5.1 Ziel und Untersuchungsrahmen

Im ersten Schritt wird der Ziel- und Untersuchungsrahmen definiert. Das Ziel der Studie ist der Vergleich von zwei Systeme, die für die RWB in einem Teil von Baukau (Herne) genutzt werden könnten. Dabei wird analysiert, welches System geringere Umweltauswirkungen hat und in welcher Lebenszyklusphase der Großteil der Umweltauswirkungen auftritt. Diese Erkenntnisse sollen genutzt werden, um eine RWB zu ermöglichen, die eine hohe Leistungsfähigkeit vor Ort auszeichnet, aber auch möglichst geringe Umweltauswirkungen verursacht.

Die betrachtete Fläche (Abbildung 23) ist 1,5 km<sup>2</sup> groß und ist von 8.108 Menschen bewohnt. Die beiden Systeme sind die folgenden:

- IST-Zustand: Vorhandene Betonkanalisation im Mischsystem
- SOLL-Szenario: Dezentrale RWB-Maßnahmen: Das Szenario basiert auf der Arbeit von (Lewe 2020).

Die Häuser im Referenzgebiet haben unterschiedliche Bevölkerungsdichten und -strukturen, d.h. auch unterschiedliche Wasserbedarfe.

Die primäre Funktion der Kanalisation im Mischsystem (IST-Szenario) ist die Entsorgung des Regenwassers wie Hausabfluss und des häuslichen Abwassers. Das SOLL-Szenario beinhaltet nicht nur die Entsorgung des Regenwassers, sondern auch die Regenwassersammlung für die Bewässerung von Grünflächen. Somit wird auch ermöglicht, dass Wasser verdunsten kann, was in vielen Fällen auch Vorteile für Umwelt und Menschen haben kann (Liu et al. 2020). Die durchgeführte Ökobilanz berücksichtigt diesen möglichen Vorteil jedoch nicht, unter anderem da sich die Einbeziehung des Stadtklimaeffektes in Ökobilanzen noch in einem frühen Stadium befindet (Susca und Pomponi 2020).

Es ergeben sich somit zwei funktionale Allokationsprobleme für die Vergleichbarkeit der beiden Systeme:

- Im IST-Zustand wird das Abwasser von der Kanalisation abtransportiert, im SOLL-Szenario bei dezentralen RWB-Maßnahmen nicht.

- Im SOLL-Szenario kann das Regenwasser zur Bewässerung von Grünflächen bereitgestellt werden, im IST-System mit dem Kanalisationssystem nicht.

Die Umweltauswirkungen des Regenwassers werden mittels massenbasierter Allokation des zu behandelnden Wassers ermittelt. Da 95,9% des abzuleitenden Wassers Regenwasser sind, werden 95,9% der Umweltauswirkung des Kanalsystems dem Regenwasser zugordnet. Die Allokation der Bereitstellung des Regenwassers durch das dezentrale RWB-System wird durch eine Systemraumerweiterung vermieden: die Funktionsbereitstellung durch das Kanalsystem wird durch die gleiche Menge an Leitungswasser abgebildet, welches ohne die Regenwassernutzung verwendet werden würde. Tabelle 46 bietet eine Übersicht über die angewendeten Allokationsprinzipien.

**Tabelle 46** Übersicht über die angewendeten Allokationsprinzipien

Funktion	IST-Zustand (Kanalsystem)	SOLL-Szenario (dezentrale RWB)	Angewendete Allokation
<b>Ableitung des Regenwassers</b>	x	x	Nicht notwendig
<b>Ableitung des Schmutzwassers</b>	x		Physikalische Allokation nach Masse: Die Umweltauswirkungen des Abwassers werden nach dem Massenanteil im IST-Zustand zugeschnitten
<b>Bereitstellung des Regenwassers als Bewässerungswasser für Grünflächen</b>		x	Die Allokation wird durch eine Systemraumerweiterung vermieden: Dem IST-Szenario wird eine äquivalente Menge Leitungswasser hinzugefügt, dass dieselbe Bewässerungsfunktion erfüllt, wie das im SOLL-Szenario gewonnene Regenwasser

Die funktionelle Einheit orientiert sich an der Fähigkeit der beiden Systeme, Regenwasseraufkommen und -bedarf im Bezugsgebiet zu verarbeiten (Ableitung des Regenwassers und die Bereitstellung von Wasser für die Bewässerung): „Entsorgung von 104.556,14 m<sup>3</sup>/a Regenwasser und Bereitstellung von 3.326,37 m<sup>3</sup>/a Bewässerungswasser für 1 Jahr für die Referenzfläche von 13 ha in Herne“. Diese Definition beruht auf der Annahme, dass das Kanalsystem auf die Bedürfnisse des Referenzgebiets ausgelegt ist. Diese werden durch die Gebäudetypologien und Grünflächen bestimmt. Die gleiche Annahme gilt auch für die Regenwasserinfrastruktur.

Der Referenzfluss entspricht dem Energie- und Materialeinsatz, der nötig ist, um die funktionelle Einheit zu erfüllen. Dieser entspricht für das Kanalsystem (Ist-Szenario) einem 1,7 Kilometer langen Betonrohr. Bei den dezentralen RWB-Maßnahmen (SOLL-Szenario) sind in Summe 2.580 m<sup>2</sup> Mulden, sowie 533 m<sup>2</sup> Rinnen mit teildurchlässigen Flächenbelägen vorgesehen, ebenso wie 60 m<sup>3</sup> Regenwasserspeicher, 1.023 m<sup>2</sup> Mulden-Rigolen-Versickerung, 363 m<sup>2</sup> Flächenversickerung, 200 m<sup>2</sup> grüner Fassade, sowie 6.000 m<sup>2</sup> Schotterrasen und 750 m<sup>2</sup> Schotterpflaster.

Die betrachteten Wirkungskategorien sind Klimawandel, Ozonabbau, Versauerung, Eutrophierung, Toxizität und Wassernutzung mit der Wirkungsabschätzungsmethode ReCiPe (H) (Huijbregts et al. 2017). Es wird der gesamte Lebenszyklus betrachtet.

Vernachlässigte Aspekte sind i) die Kühlwirkung und eventuelle Dämmleistung der grünen Fassade, ii) der positive Einfluss der Biodiversität der geplanten Grünflächen, iii) die Gesundheitswirkung der Verdunstungsleistung und iv) die Abwasserbehandlung. Die Abwasserbehandlung wird im Teil 2.2 des „Leitfaden RessourcenPlan“ erläutert.

## 5.2 Sachbilanz

In der Sachbilanz sind die vorherig aufgeführten Systeme mithilfe der Ökobilanzsoftware GaBi basierend auf den Ökobilanzdatenbanken GaBi (Sphera Solutions Inc. 2021) und ecoinvent (Ecoinvent 2020) modelliert. Die Sachbilanz trägt Daten für die Produktion, Nutzung und das Lebenswegende der Technologien zusammen. Die Qualität einer Ökobilanz hängt maßgeblich von der Qualität der verwendeten Daten ab.

Für die Produktionsphase des Betonrohres für das Kanalsystem sind entsprechende Datensätze in der GaBi-Datenbank verfügbar. Weitere Daten für die anderen Nutzungsphasen basieren auf bestehenden Studien von (Hajibabaei et al. 2018; Remy 2010; Sommer 2015). Zusätzliche Angaben zur Installation und Wartungsphase als auch dem Betrieb werden direkt von der Stadt Herne geliefert. Für das SOLL-Szenari können keine Primärdaten für das Quartier genutzt werden, da diese bisher nicht in der Stadt Herne installiert sind. Die Quellen für die Materialien für die RWB-Technologien basieren auf Literaturwerten (Remy 2010; Riechel et al. 2017; Sommer 2015), welche entsprechend für diese Studie angepasst worden sind.

Für die Transportstrecken wird Folgendes angenommen: Die Bauteile für das Kanalsystem wird über eine Strecke von 5 km transportiert, da es viele Zementwerke in unmittelbarer Nähe gibt. Für Sand, Kies, zusätzlichen Boden und Asphalt wird eine Transportdistanz von jeweils 20 km angenommen, da es in der Nähe von Herne Sand und Kiesabbau gibt. Für Stahl, Polypropylen und Polyethylen wird eine Distanz von 1000 km modelliert, da es bei diesen Materialien zu längeren Transportwegen kommen kann.

Folgende Annahmen wurden zum Recycling getroffen: Plastik und Baustoffe werden zu 50% recycelt. Für Materialien wie Stahl, die zum Großteil stofflich verwertet werden, wird eine Recyclingrate von 80% angenommen.

Die Lebensdauer des Kanalsystems wird basierend auf der Studie von Morera et al. (2016) mit 70 Jahren herangezogen. Für die RWB-Maßnahmen werden Lebensdauern von 40 und 60 Jahren basierend auf der Studie von Sommer (2015) angenommen. Die jeweiligen Lebenserwartungen der Technologien sind in Tabelle 47 aufgeführt.

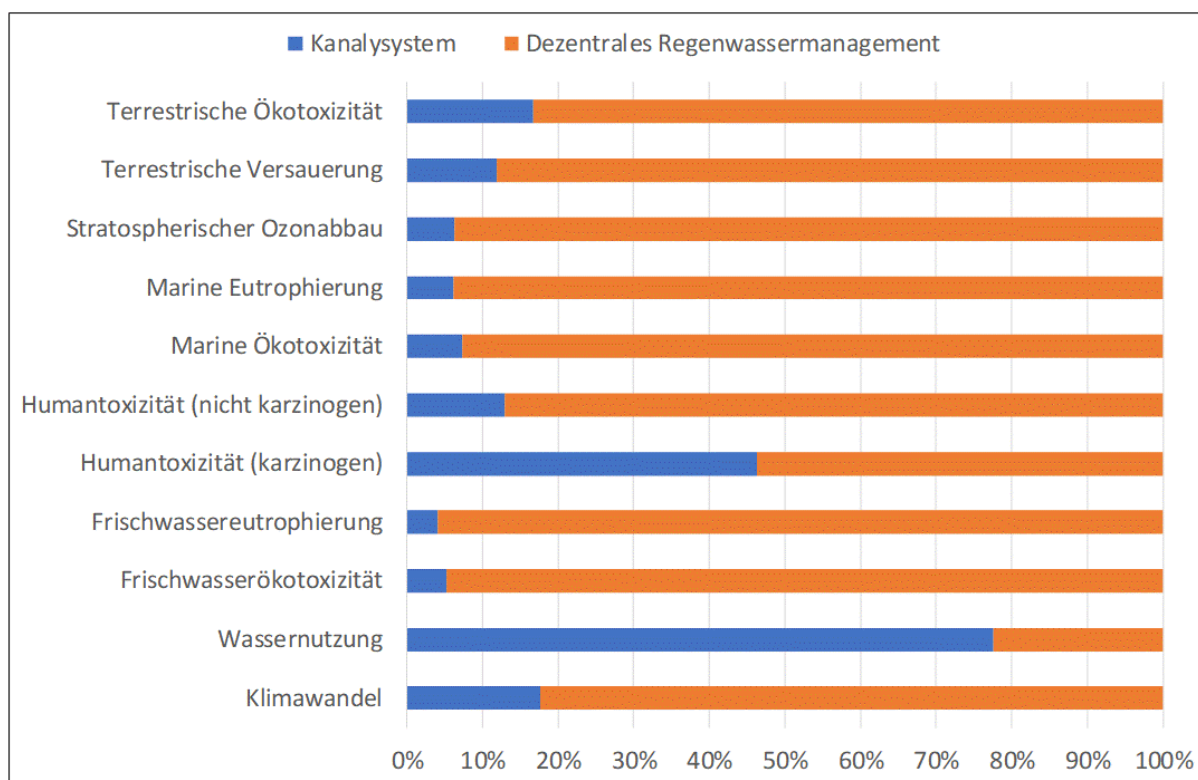
Die Instandhaltung wird wegen fehlender Daten vernachlässigt. Zudem wird das Pumpensystem und der daraus entstehende Energiebedarf nicht berücksichtigt, da die Pumpen für die ganze Emscherregion betrieben werden und die Teilnutzung der betrachteten Region somit kaum ins Gewicht fällt.

**Tabelle 47 Lebenserwartung der betrachteten Technologien basierend auf Morera et al. (2016) und Sommer (2015)**

Technologie	Lebenserwartung in Jahren
Muldenversickerung	40
Rinne und teildurchlässige Pflasterbeläge	60
Regenwassertank	60
Mulden-Rigolen Element	40
Oberflächeninfiltration	40
Grüne Fassade	40
Schotterrasen	60
Schotterpflaster	60
Kanalsystem	70

### 5.3 Ergebnisse und Interpretation

Die dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf die funktionelle Einheit. Die Ergebnisse für die verschiedenen Wirkungskategorien werden vergleichend über eine prozentuale Angabe dargestellt. Zudem wird das Gesamtergebnis der Kategorie Klimawandel auf CO<sub>2äq</sub>-Emissionen pro Kopf umgerechnet, um aufzuzeigen welchen Anteil die Regenwasserbewirtschaftung an den Emissionen einer durchschnittlichen Person ausmacht. In der folgenden Grafik wird der Vergleich der beiden Szenarien für alle betrachteten Wirkungskategorien dargestellt (Abbildung 60):



**Abbildung 60 Vergleich der Umweltauswirkungen der beiden Regenwasserbehandlungsszenarien, jeweils auf 100% skaliert, das Kanalsystem entspricht dem IST-Zustand und die dezentrale RWB-Maßnahme dem SOLL-Zustand**

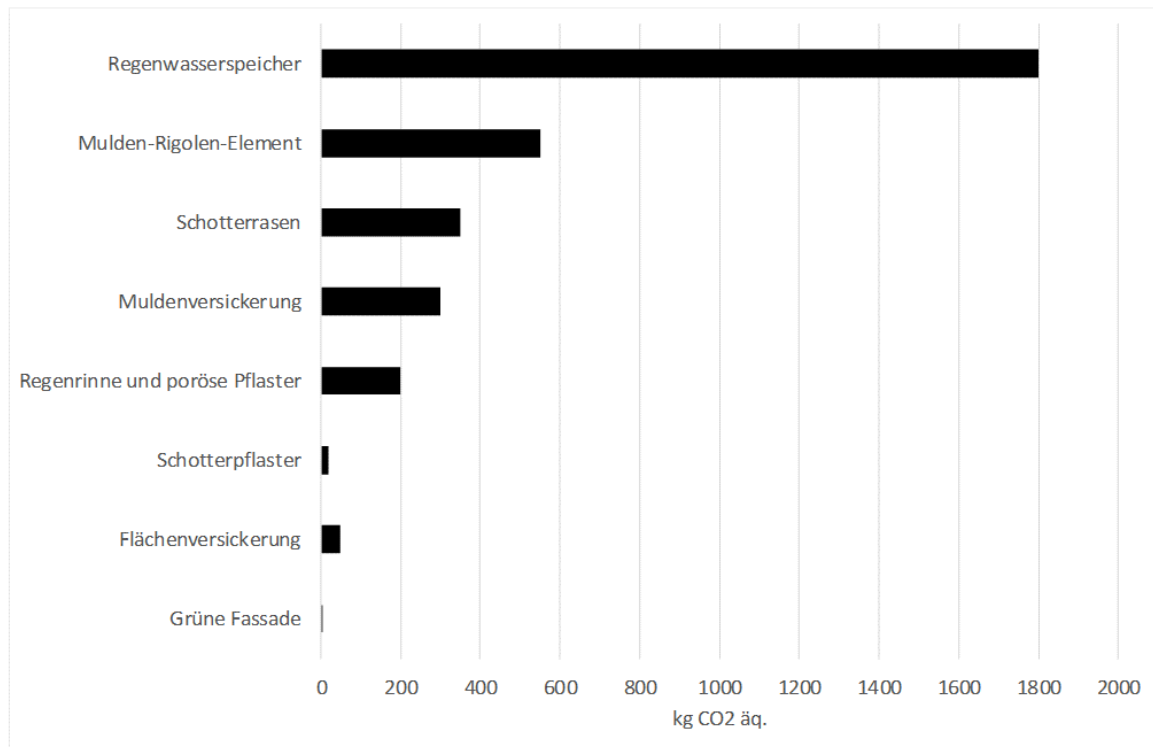
Es ist auffällig, dass bis auf die Kategorie "Wassernutzung", das Kanalsystem (IST-Szenario) durchgängig geringere Umweltauswirkungen aufweist als die dezentrale RWB-Maßnahme (SOLL-Szenario). Im Folgenden werden die Umweltauswirkungen der Wirkungskategorie "Klimawandel" im Detail erläutert. In Abbildung 61 sind die CO<sub>2</sub>äq.-Emissionen der dezentralen Technologien und der Kanalisation dargestellt. Es ist zu sehen, dass der Regenwasserspeicher die höchste Belastung in der Kategorie Klimawandel verursacht. Das Kanalsystem hat niedrigere Auswirkungen, da die verwendeten Materialien zu 50 - 80 % recycelt werden.

Zur Überprüfung der vorgestellten Ergebnisse wird eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Diese identifiziert, dass die Annahme der Betrieb des Kanalsystems brauche keinen Strom als einen wichtigen Einflussparameter. Abbildung 62 zeigt die Umweltwirkung der Systeme jeweils mit und ohne Strombedarf sowie mit unterschiedlichen Quellen.

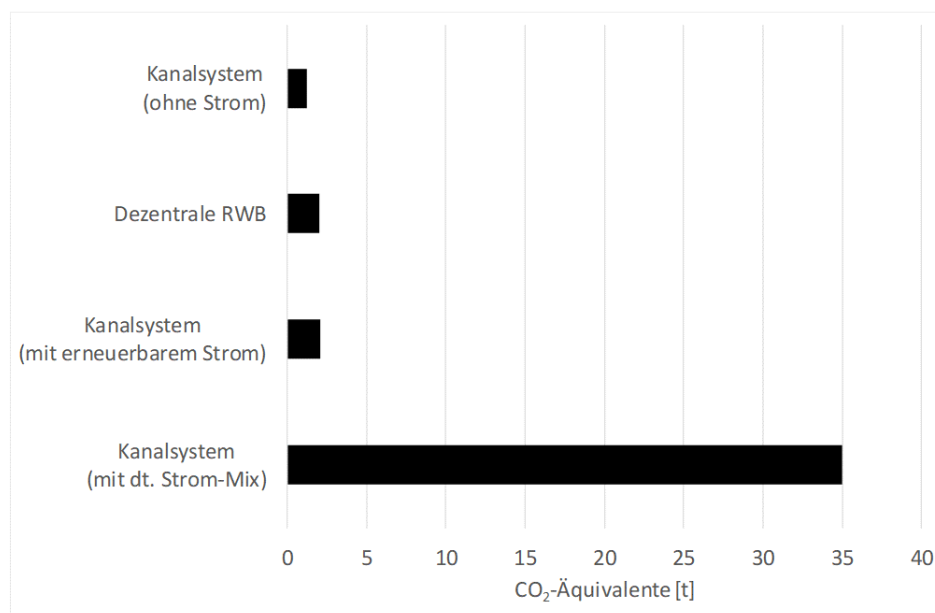
Die CO<sub>2</sub>-äq des momentan verwendeten Kanalsystems hängen stark vom Strombedarf der verwendeten Pumpen im Kanalsystem ab. Abgesehen vom Strombedarf der Pumpen, hat der Regenwassertank die höchsten Emissionen bei der dezentralen RWB-Maßnahme. Generell sind die Auswirkungen mit 1,2 - 2 t CO<sub>2</sub>äq/a bzw. 35 t CO<sub>2</sub>äq/a für 8.108 Bewohner\*innen als gering einzuschätzen. Für über 8.000 Einwohner\*innen bedeutet dies verteilt 0,05 % aller Treibhausgasemissionen im SOLL-Szenario; 0,01 % im IST-Zustand und 0,6 % im IST-Zustand unter Berücksichtigung von Verwendung von deutschem Strom-Mix. Wenn der Umstieg



auf dezentrale RWB-Maßnahmen für die ganze Emscherregion bilanziert und verglichen werden würde, könnten sich die Ergebnisse erheblich verändern. Sie sind nur repräsentativ für ein Gebiet in dem ein vergleichsweise kleiner Teil des zentralen Kanalsystems berücksichtigt wird.



**Abbildung 61** Anteile der analysierten Technologien an den Umweltauswirkungen des dezentralen RWB Systems (SOLL-Szenario)



**Abbildung 62** Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse des Strombedarfs für das Kanalsystem für die Wirkungskategorie Klimawandel. Das Kanalsystem entspricht dem IST-Szenario und die dezentrale RWB dem SOLL-Szenario

## 5.4 Implikationen für die nachhaltige Quartiersplanung

Die ökobilanziellen Ergebnisse zeigen auf, dass eine Planung von dezentralen Maßnahmen in einem Bestandsgebiet, welches bereits großflächig über ein Kanalsystem zur Regenwasserableitung verfügt, zu mehr Umweltauswirkungen führt. Wird diese zentrale Planung allerdings weitgehend durch dezentrale Planung ersetzt und somit die benötigte Energie der Pumpen reduziert, wäre die dezentrale Planung großflächig wahrscheinlich auch aus Klimaschutzperspektive zu bevorzugen.

Grundsätzlich machen die RWB-Maßnahmen eher einen geringen Teil der Gesamtemissionen des Quartiers aus. Daher bleibt planerisch abzuwägen, ob eine Erhöhung der Wirkungskategorie Klimawandel z.B. durch einen naturnäheren Wasserhaushalt und Verdunstungsleistungen ausgeglichen werden kann.

Zur ganzheitlichen Betrachtung der Umweltauswirkungen des Teilquartiers sollten zentrale Anlagen des Entwässerungssystems inklusive der Pump- und Steuersysteme der Emscherregion mitbetrachtet werden. Dies war im Rahmen des Projekts R2Q nicht möglich. Weitergehender Forschungsbedarf besteht in der Integration folgender Aspekte in die ökobilanzielle Bewertung: (i) Kühleffekte der Verdunstung blau-grüner Infrastrukturen, (ii) deren Gesundheitsauswirkungen auf den Menschen, (iii) der Dämmleistung von Maßnahmen der Gebäudebegrünung sowie (iv) des Einfluss von Grünflächen auf die Biodiversität.

# III. Anhang

## Literaturverzeichnis

- Bundesanstalt für Gewässerkunde (2022): „Hydrologischer Atlas Deutschland - Geoviewer“. Abgerufen von <http://geoportal.bafg.de/mapapps/resources/apps/HAD/index.html?lang=de>.
- Carraro, C. (2021): „Comparative LCA for the analysis of rainwater management processes: the case of Herne“. (Masterarbeit) Univeristà degli studi di Padova.
- DIN 1989-1, Deutsches Institut für Normung V. (DIN) (Hrsg.) (2002): *Regenwassernutzungsanlagen - Teil 1: Planung, Ausführung, Betrieb und Wartung*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DWA, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) (Hrsg.) (2021): *DWA-Positionen: Wasserbewusste Entwicklung unserer Städte*. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) (DWA-Positionen).
- DWA (2017): *Wasserbilanz-Expert Handbuch*. (Software zum Arbeitsblatt DWA A-102) (DWA Software).
- DWA, DVGW (2012): *Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien)*. 8. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA).
- DWA-A 100 (2006): *DWA-Regelwerk: Leitlinien der integralen Siedlungsentwässerung (ISiE)*. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA).
- DWA-A 102-2/ BWK-A 3-2 (2020): *DWA-Regelwerk: Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer - Teil 2: Emissionsbezogene Bewertungen und Regelungen*. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA).
- DWA-A/M 102/ BWK-A/M 3 (2020): *DWA-Regelwerk: Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwasserabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer - Merkblattreihe Teil 1-4*. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA).
- DWA-M 102-4/ BWK-M 3-4 (2022): *Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwasserabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer - Teil 4: Wasserhaushaltsbilanz für die Bewirtschaftung des Niederschlagswassers*. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA).
- DWA-M 119 (2016): *DWA-Regelwerk: Risikomanagement in der kommunalen Überflutungsvorsorge für Entwässerungssysteme bei Starkregen*. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA).
- Ecoinvent (2020): „Ecoinvent database“. Abgerufen von [www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org).
- FLL, Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL) (Hrsg.) (2015): *Bewässerungsrichtlinien - Richtlinien für die Planung, Installation und Instandhaltung von Bewässerungsanlagen in Vegetationsflächen*. 2. Aufl. Bonn: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL).

- Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen (2022a): „BK 50, Geologischer Dienst NRW, lizenziert durch dl-de/by-2-0“. Abgerufen 22.09.2022 von [www.govdata.de/dl-de/by-2-0](http://www.govdata.de/dl-de/by-2-0).
- Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen (2022b): „Digitale Orthophotos (DOP), Geologischer Dienst NRW, lizenziert durch dl-de/by-2-0“. Abgerufen 22.09.2022 von [www.govdata.de/dl-de/by-2-0](http://www.govdata.de/dl-de/by-2-0).
- Hajibabaei, M., Nazif, S., Tavanaei Sereshgi, F. (2018): „Life cycle assessment of pipes and piping process in drinking water distribution networks to reduce environmental impact“. In: *Sustainable Cities and Society*. 43 , doi: 10.1016/j.scs.2018.09.014.
- Hörschemeyer, B., Henrichs, M., Uhl, M. (2021a): „SWMM-UrbanEVA: A Model for the Evapotranspiration of Urban Vegetation“. In: *Water*. 13 (2), S. 243, doi: 10.3390/w13020243.
- Hörschemeyer, B., Matzinger, A., Seis, W., Maßmann, S., Kleckers, J., Haberkamp, J., Söfker-Rieniets, A., Uhl, M. (2021b): „Der RessourcenPlan – ein Instrument zur ressourceneffizienten wasserwirtschaftlichen Quartiersentwicklung“. In: Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV) (Hrsg.) *Tagungsband Aqua Urbanica 2021 - Schwammstadt - Versickerung 2.0?*. Innsbruck: Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV) S. 30–35.
- Hörschemeyer, B., Söfker-Rieniets, A., Niesten, J., Arendt, R., Kleckers, J., Klemm, C., Stretz, C.J., Reicher, C., Grimsehl-Schmitz, W., Wirbals, D., Bach, V., Finkbeiner, M., Haberkamp, J., Budde, J., Vennemann, P., Walter, G., Flamme, S., Uhl, M. (2022): „The ResourcePlan—An Instrument for Resource-Efficient Development of Urban Neighborhoods“. In: *Sustainability*. 14 (3), S. 1522, doi: 10.3390/su14031522.
- Huijbregts, M.A.J., Steinmann, Z.J.N., Elshout, P.M.F., Stam, G., Verones, F., Vieira, M., Zijp, M., Hollander, A., van Zelm, R. (2017): „ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level“. In: *International Journal of Life Cycle Assessment*. doi: 10.1007/s11367-016-1246-y.
- IPCC, Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., et al. (Hrsg.) (2014): *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Kerres, K., Breuer, T., Funke-Kleinken, A., Gredigk-Hoffmann, S., Sariyildiz, M., Orlik, S., Schmidt, T., Nicolas Caradot, Rouault, P., Malte Zamzow, Hippe, M., Wedmann, T., Hochstrate, K., Sympher, K.-J., Wolf, M., Stein, R., Uhlenbroch, A., Kropp, I., Kästner, A., Janda, A., Plogmeier, C., Jathe, R., Zwafink, R. (2021): *Entwicklung eines Standards zur Bewertung und Klassifizierung der baulichen Substanz von Abwasserkanälen und Schächten (SubKanS). Abschlussbericht des BMWi-Verbundvorhabens SubKanS. Förderkennzeichen 03TNH007A-J*. Aachen: FH Aachen.
- Lewe, M. (2020): „Transformation von Mischsystemen in städtebaulichen Sanierungsquartieren“. (Bachelorarbeit) Münster: FH Münster.
- Liu, J., Wang, J., Ding, X., Shao, W., Mei, C., Li, Z., Wang, K. (2020): „Assessing the mitigation of greenhouse gas emissions from a green infrastructure-based urban drainage system“. In: *Applied Energy*. 278 , doi: 10.1016/j.apenergy.2020.115686.
- LUBW, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (Hrsg.) (2016): *Leitfaden Kommunales Starkregenerisikomanagement in Baden-Württemberg*. Karlsruhe: LUBW.

- Morera, S., Remy, C., Comas, J., Corominas, L. (2016): „*Life cycle assessment of construction and renovation of sewer systems using a detailed inventory tool*“. In: *International Journal of Life Cycle Assessment*. 21 (8), doi: 10.1007/s11367-016-1078-9.
- Mutschmann, J., Stimmelmayer, F., Fritsch, P. (2011): *Taschenbuch der Wasserversorgung: mit 286 Tabellen*. 15., vollst. überarb. und aktualisierte Aufl. Wiesbaden: Vieweg + Teubner (Praxis).
- OGewV (2016): *Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung - OGewV)*.
- Remy, C. (2010): „*Life cycle assessment of conventional and source separation systems for urban wastewater management*“. In: *Technischen Universität Berlin*.
- Riechel, M., Remy, C., Matzinger, A., Schwarzmüller, H., Rouault, P., Schmidt, M., Offermann, M., Strehl, C., Nickel, D., Sieker, H., Pallasch, M., Köhler, M., Kaiser, D., Möller, C., Büter, B., Leßmann, D., von Tils, R., Säumel, I., Pille, L., Winkler, A., Bartel, H., Heise, S., Heinzmann, B., Joswig, K., Rehfeld-Klein, M., Reichmann, B. (2017): *Maßnahmensteckbriefe der Regenwasserbewirtschaftung - Ergebnisse des Projektes KURAS*. Berlin: Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH (KWB).
- Rossmann, L. (2015): *Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1*. Cincinnati, Ohio: EPA U.S. Environmental Protection Agency.
- Rossmann, L., Huber, W.C., EPA U.S. Environmental Protection Agency (Hrsg.) (2016): *Storm Water Management Model Reference Manual Volume III - Water Quality*. Cincinnati, Ohio: U.S. Environmental Protection Agency, National Risk Management Laboratory, Office of Research and Development.
- Sommer, J. (2015): „*Vergleichende Ökobilanzierung verschiedener Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung*“. (Masterarbeit) Braunschweig: Technische Universität Braunschweig.
- Sphera Solutions Inc. (2021): „*GaBi Datenbank*“.
- Susca, T., Pomponi, F. (2020): „*Heat island effects in urban life cycle assessment Novel insights to include the effects of the urban heat island and UHI-mitigation measures in LCA for effective policy making*“. In: *Journal of Industrial Ecology*. S. 1–14, doi: 10.1111/jiec.12980.
- Uhl, M., Hellberg, B. (2017): „*Hydrological Performance of combined Raintanks*“. In: *Proceedings of the 14th IWA/IAHR International Conference on Urban Drainage*. Prag: IWA/IAHR S. 1108–1111.
- Wenzel, A., Schlich, K., Shemotyuk, L., Nendza, M. (2015): *Revision der Umweltqualitätsnormen der Bundes-Oberflächengewässerverordnung*. ( Nr. 47/2015) Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- Wessels, K., Leutnant, D. (2021): „*Niederschlagswasserabflüsse von befestigten Flächen - Regelbasierte Bewertung des AFS63-Belastungspotenzials*“. In: *KA Korrespondenz Abwasser*. 68 (9), S. 722–728, doi: 10.3242/kae2021.09.002.
- Wicke, D., Matzinger, A., Sonnenberg, H., Caradot, N., Schubert, R.-L., Dick, R., Heinzmann, B., Dünnbier, U., von Seggern, D., Rouault, P. (2021): „*Micropollutants in Urban Stormwater Runoff of Different Land Uses*“. In: *Water*. 13 (9), S. 1312, doi: 10.3390/w13091312.

Zamzow, M., Seis, W., Hörschemeyer, B., Matzinger, A. (2022): „*Ein immissionsbasiertes Bewertungstool zur Berechnung des Potentials und zur konkreten Planung des Anschlusses urbaner Flächen an die Trennkanalisation*“. In: EAWAG (Hrsg.) *Tagungsband Aqua Urbanica 2022 - Grün statt Grau*. Glattfelden.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Exemplarische Ergebnisse einer Wasserhaushaltsbilanzierung .....	6
Abbildung 2	Durch einen Liter Regenwasserabfluss kontaminierte Liter unbelastetes Wasser. Abgebildet sind die mittleren 50 % der Messwerte aus dem Projekt OgRe. Mehr als 100 Messungen pro Substanz mit Ausnahme von AFS63. ....	8
Abbildung 3	Beispielhafte Eingabe zu den Standorteigenschaften .....	9
Abbildung 4	Schematische Darstellung der Eingangsdaten .....	11
Abbildung 5	Beispielhafte Eingabe zu den Stadtstrukturtypen .....	12
Abbildung 6	Dateieingabe für die Detailplanung.....	17
Abbildung 7	Ergebnisdarstellung zur Überflutungsberechnung mittels 2D-Simulation (Quelle: DWA-M 119 (2016)) .....	20
Abbildung 8	Ergebnis einer 1D/2D-gekoppelten Simulation (Quelle: itwh GmbH).....	20
Abbildung 9	Zweistufiges Modellkonzept SWMM-UrbanEVA, verändert nach Rossman und Huber (2016).....	29
Abbildung 10	Prozessschritte zur Transformationsplanung privater Flächen .....	30
Abbildung 11	Konzeptionelle Darstellung des Vorgehens zur Klasseneinteilung .....	32
Abbildung 12	Exemplarische Darstellung für die Strukturklasse 1. links: Ortsunspezifische Umsetzungspotentiale unterschiedlicher Maßnahmen für die jeweilige Strukturklasse (2.1); rechts: Wirkpotentiale der Maßnahmen hinsichtlich verschiedener Indikatoren zum Abgleich mit lokalen Anforderungen (2.2).....	34
Abbildung 13	Exemplarische Darstellung der ortsspezifischen Umsetzungspotentiale für dachgebundene Anlagen .....	34
Abbildung 14	Ablaufdiagramm Schritt 3: Konzepterstellung Flurstück .....	35
Abbildung 15	Ablaufdiagramm Schritt 4: Konzepterstellung Gesamtquartier .....	35
Abbildung 16	Prozessschritte zur Transformationsplanung öffentlicher Flächen.....	36
Abbildung 17	Exemplarische Anwendung der integrierten Bewertung im Planungsprozess .....	40
Abbildung 18	Kumulierte PKBW der Speicherstrategien in den drei Bebauungsstrukturen .....	46
Abbildung 19	Kumulierte PKBW je Liter Trinkwassereinsparung .....	46
Abbildung 20	Exemplarische Beziehung Volumen/ Bedarfsdeckung berechnet mit den im Projekt ermittelten Regressionsfunktionen .....	50
Abbildung 21	Bedarfsdeckung für den Bedarfsfall "Toilettenspülung" in Abhängigkeit des Bedarfskoeffizienten und des Speicherkoeffizienten für den Standort St. Arnold .....	50
Abbildung 22	Maßnahmenkategorien zur Überflutungsvorsorge (Quelle: DWA-M 119 (2016)) .....	52
Abbildung 23	Untersuchter Quartiersausschnitt in Herne-Baukau .....	55
Abbildung 24	Veränderung von (a) Abflussspitze und (b) der Zahl der überlasteten Schächte für das Referenzereignis bei einer Dauerstufe D=20min.....	57
Abbildung 25	Vergleich von überlasteten (a) und überfluteten (b) Schächten mit und ohne Transformationskonzept für das „Worst-Case-Szenario“ des Zeithorizont 2100 .....	58
Abbildung 26	Bewertungsansatz für Niederschlagswasser im Quartier .....	62
Abbildung 27	Übersichtsplan, Flächennutzung und Flächenkenngrößen des betrachteten Quartiers Herne-Baukau.....	65
Abbildung 28	Bodenart und Grundwasserflurabstand für das Quartier Herne-Baukau. Entnommen aus der BK 50 (Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen 2022a) .....	66



Abbildung 29	Flächennutzung im Quartier Herne-Baukau .....	67
Abbildung 30	Ergebnisse der Wasserhaushaltsbilanzierung des IST-Zustands für das Quartier Herne-Baukau .....	68
Abbildung 31	Entwickelte Transformationsplanung für das Quartier Baukau .....	69
Abbildung 32	Planung „Neue Mitte Strünkede“. Hintergrund: Digitale Orthophotos NRW (Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen 2022b) .....	70
Abbildung 33	Ergebnisse der Wasserhaushaltsbilanzierung des PLANUNGS-Zustands für das Quartier Herne-Baukau .....	71
Abbildung 34	AFS <sub>63</sub> Belastungskategorien im Quartier Baukau. Hintergrund: Digitale Orthophotos NRW (Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen 2022b) .....	72
Abbildung 35	Zuordnung der Stadtstrukturtypen im Gebiet Herne Baukau (grau: no_runoff, gelb: residential_suburban, blau: residential_city, pink: commercial, violett: main_roads) ..	75
Abbildung 36	Aufteilung der Fläche (A), der PAK-Fracht (B) und der Kupferfracht (C) im bzw. aus dem Planungsgebiet (Szenario 4). (Blau: Verkehrsbereich Straße, Grün: Gebäude mit Gründach, Orange: Gebäude mit Bitumendach) .....	82
Abbildung 37	Beispiel: Aufteilung der Modellfläche in Einzelfächentypen (Quelle: itwh GmbH) .....	84
Abbildung 38	Automatische Flächenzuordnung (Quelle: itwh GmbH) .....	85
Abbildung 39	2D-Modellgrenze .....	86
Abbildung 41	Fließweganalyse Baukau .....	87
Abbildung 42	Fließweganalyse .....	87
Abbildung 42	Schema Kopplung Kanalnetz mit Oberfläche (Quelle: itwh GmbH) .....	88
Abbildung 43	Auslassbauwerk (Kopplungsknoten, rot) .....	88
Abbildung 44	Gitterauflösung .....	89
Abbildung 46	Korrigierte Zwangspunkte (grau) .....	90
Abbildung 47	Überflutungskarte - Grobmodell .....	90
Abbildung 47	Modellregen Herne (Quelle: KOSTRA-DWD-2010R) .....	91
Abbildung 48	Ergebnisse der Klimaszenarien für das Quartier Baukau .....	93
Abbildung 49	Urbane Gefahrenkarten (T = 30 a, D = 120 min): IST-Zustand (links), Retentionsdachszenario (Mitte), Maßnahmenkombination (rechts) (Quelle: itwh GmbH) .....	94
Abbildung 50	Übersicht der Straßenbau und Kanalzustandsklassen für das Quartier Baukau .....	96
Abbildung 51	Übersichtsplan, Flächennutzung und Flächenkenngrößen des betrachteten Quartiers Herne-Pantringshof .....	97
Abbildung 52	Bodenart und Grundwasserflurabstand für das Quartier Herne-Pantringshof. Entnommen aus der BK 50 (Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen 2022) .....	98
Abbildung 53	Flächennutzung im Quartier Herne-Pantringshof .....	99
Abbildung 54	Ergebnisse der Wasserhaushaltsbilanzierung des IST-Zustands für das Quartier Herne-Pantringshof .....	100
Abbildung 55	Entwickelte Transformationsplanung für das Quartier Pantringshof .....	101
Abbildung 56	Ergebnisse der Wasserhaushaltsbilanzierung des PLANUNGS-Zustands für das Quartier Herne-Pantringshof .....	102
Abbildung 57	AFS <sub>63</sub> Belastungskategorien im Quartier Pantringshof. Hintergrund: Digitale Orthophotos NRW (Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen 2022b) .....	103
Abbildung 58	Ergebnisse der Klimaszenarien für das Quartier Pantringshof .....	109
Abbildung 59	Übersicht der Straßenbau und Kanalzustandsklassen für das Quartier Pantringshof .....	111

---

Abbildung 60	Vergleich der Umweltauswirkungen der beiden Regenwasserbehandlungsszenarien, jeweils auf 100% skaliert, das Kanalsystem entspricht dem IST-Zustand und die dezentrale RWB-Maßnahme dem SOLL-Zustand.....	116
Abbildung 61	Anteile der analysierten Technologien an den Umweltauswirkungen des dezentrales RWB Systems (SOLL-Szenario).....	117
Abbildung 62	Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse des Strombedarfs für das Kanalsystem für die Wirkungskategorie Klimawandel. Das Kanalsystem entspricht dem IST-Szenario und die dezentrale RWB dem SOLL-Szenario .....	117

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Eingangsgrößen zur vereinfachten Bewertung Wasserhaushalt/ AFS <sub>63</sub> -Emissionen... 6
Tabelle 2	Eingangs- und Ergebnisgrößen des Emissionsnachweis zur Aufstellung des RessourcenPlans..... 7
Tabelle 3	Qualitative Unterscheidung der Wohngegend im Innenstadtbereich und Außenbezirken..... 12
Tabelle 4	Schadstoffkonzentration im Regenwasserabfluss der Stadtstrukturtypen ..... 14
Tabelle 5	Handlungsfelder der wasserwirtschaftlichen Planung und empfohlene Modellwahl – SIEDLUNG..... 23
Tabelle 6	Handlungsfelder der wasserwirtschaftlichen Planung und empfohlene Modellwahl – GEWÄSSER ..... 24
Tabelle 7	Übersicht Verfahrens- und Modellansätze – SIEDLUNG ..... 25
Tabelle 8	Übersicht Verfahrens- und Modellansätze – Gewässer ..... 26
Tabelle 9	Referenzen zu den Tabellen 5 bis 8 ..... 27
Tabelle 10	Sonderbauten (Klasse 10 + 20) ..... 32
Tabelle 11	Überblick über die aus geodatenbasierten Eigenschaften abgeleiteten flächenspezifischen Funktionen (Hörnschemeyer et al. 2021b)..... 39
Tabelle 12	Untersuchte Bebauungsstrukturen und Speicherstrategien ..... 43
Tabelle 13	Ergebnisse für die untersuchten Bebauungsstrukturen und Speicherstrategien (ESS Ein-Speicher-Strategie, MSS Mehr-Speicher-Strategie) ..... 45
Tabelle 14	Statistische Kenndaten der langjährigen mittleren Jahresniederschläge ..... 49
Tabelle 15	Funktionsbewertung von Maßnahmen zur Starkregen- und Überflutungsvorsorge.... 51
Tabelle 16	Annahme Transformationsszenarien für den Zeithorizont 2050 ..... 54
Tabelle 17	Annahme Transformationsszenarien für den Zeithorizont 2100 ..... 54
Tabelle 18	Flächenzusammensetzung Untersuchungsgebiet..... 56
Tabelle 19	Eingangsgrößen der Wasserhaushaltsbilanzierung für das Quartier Herne-Baukau . 66
Tabelle 20	Ergebnisse des Emissionsnachweis zur Aufstellung des RessourcenPlans für das Quartier Baukau..... 73
Tabelle 21	Beschreibung der untersuchten Szenarien für den Emissionsnachweis Baukau ..... 73
Tabelle 22	Ergebnisse der Szenarien-Betrachtung des Stoffabtrags AFS <sub>63</sub> des Gesamt-Gebiets ..... 74
Tabelle 23	Eingabe der Stadtstrukturtypen im Einzugsgebiet des Ostbachs ..... 75
Tabelle 24	Eingabe der Standorteigenschaften für die Bewertung des Planungsgebiets in Herne Baukau..... 76
Tabelle 25	Eingabe der Hintergrundkonzentrationen im Ostbach..... 76
Tabelle 26	Hydrologische Bewertung für den Ostbach und das Planungsgebiet in Herne Baukau ..... 78
Tabelle 27	Stoffliche Bewertung für den Ostbach und das Planungsgebiet in Herne Baukau ..... 79
Tabelle 28	Prozentualer Anteil der anschließbaren Fläche im Planungsgebiet Herne Baukau in Abhängigkeit der Stadtstrukturtypen (Zahlen in %) ..... 79
Tabelle 29	Beschreibung der Szenarien für die Detailplanung ..... 80

Tabelle 30	Anteil der eingeleiteten Schadstofffracht an der tolerierbaren Schadstofffracht unter Berücksichtigung der aktuellen Situation (0 % Anschluss an eine Trennkanalisation im gesamten urbanen Gebiet) .....	81
Tabelle 31	Anteil der eingeleiteten Schadstofffracht an der tolerierbaren Schadstofffracht bei gleichverteilter Einleitung aus dem urbanen Gebiet .....	82
Tabelle 32	Abflussbildungsparameter .....	85
Tabelle 33	Ausgewählte Modellregen für Herne .....	91
Tabelle 34	Auszug Ergebnisse IST-Zustand Baukau .....	92
Tabelle 35	Ergebnisindikatoren der Klimaszenarien .....	92
Tabelle 36	Auszug Ergebnisse für das Quartier Baukau .....	95
Tabelle 37	Eingangsgrößen der Wasserhaushaltsbilanzierung für das Quartier Pantringshof ....	98
Tabelle 38	Ergebnisse des Emissionsnachweis zur Aufstellung des RessourcenPlans für das Quartier Pantringshof .....	104
Tabelle 39	Standorteigenschaften für die Bewertung des Stadtteils in Herne Pantringshof .....	105
Tabelle 40	Eingabe der Stadtstrukturtypen in Herne Pantringshof .....	105
Tabelle 41	Eingabe der Hintergrundkonzentrationen im Ostbach .....	105
Tabelle 42	Hydrologische Bewertung für den Ostbach und das Planungsgebiet in Herne Pantringshof .....	106
Tabelle 43	Stoffliche Bewertung für den Landwehrbach und das Stadtgebiet Herne Pantringshof .....	107
Tabelle 44	Auszug Ergebnisse des IST-Szenario für das Teilgebiet Pantringshof .....	108
Tabelle 45	Auszug Ergebnisse für das Teilgebiet Pantringshof .....	110
Tabelle 46	Übersicht über die angewendeten Allokationsprinzipien .....	113
Tabelle 47	Lebenserwartung der betrachteten Technologien basierend auf Morera et al. (2016) und Sommer (2015) .....	115

## Anhang

<b>Anhang 1</b>	<b>Entscheidungsunterstützung zur Aufstellung von wasserwirtschaftlichen Transformationsplanungen .....</b>	<b>130</b>
Anhang 1.1	Private Flächen – Ortsunspezifisches Umsetzungspotential .....	130
Anhang 1.2	Private Flächen – Ortsunspezifisches Wirkpotential .....	138
Anhang 1.3	Private Flächen – Ortsspezifisches Umsetzungspotential .....	140
Anhang 1.4	Öffentliche Flächen .....	141
<b>Anhang 2</b>	<b>Anpassung von blau-grünen Infrastrukturen an Transformationsszenarien .....</b>	<b>146</b>

## Anhang 1 Entscheidungsunterstützung zur Aufstellung von wasserwirtschaftlichen Transformationsplanungen

### Anhang 1.1 Private Flächen – Ortsunspezifisches Umsetzungspotential

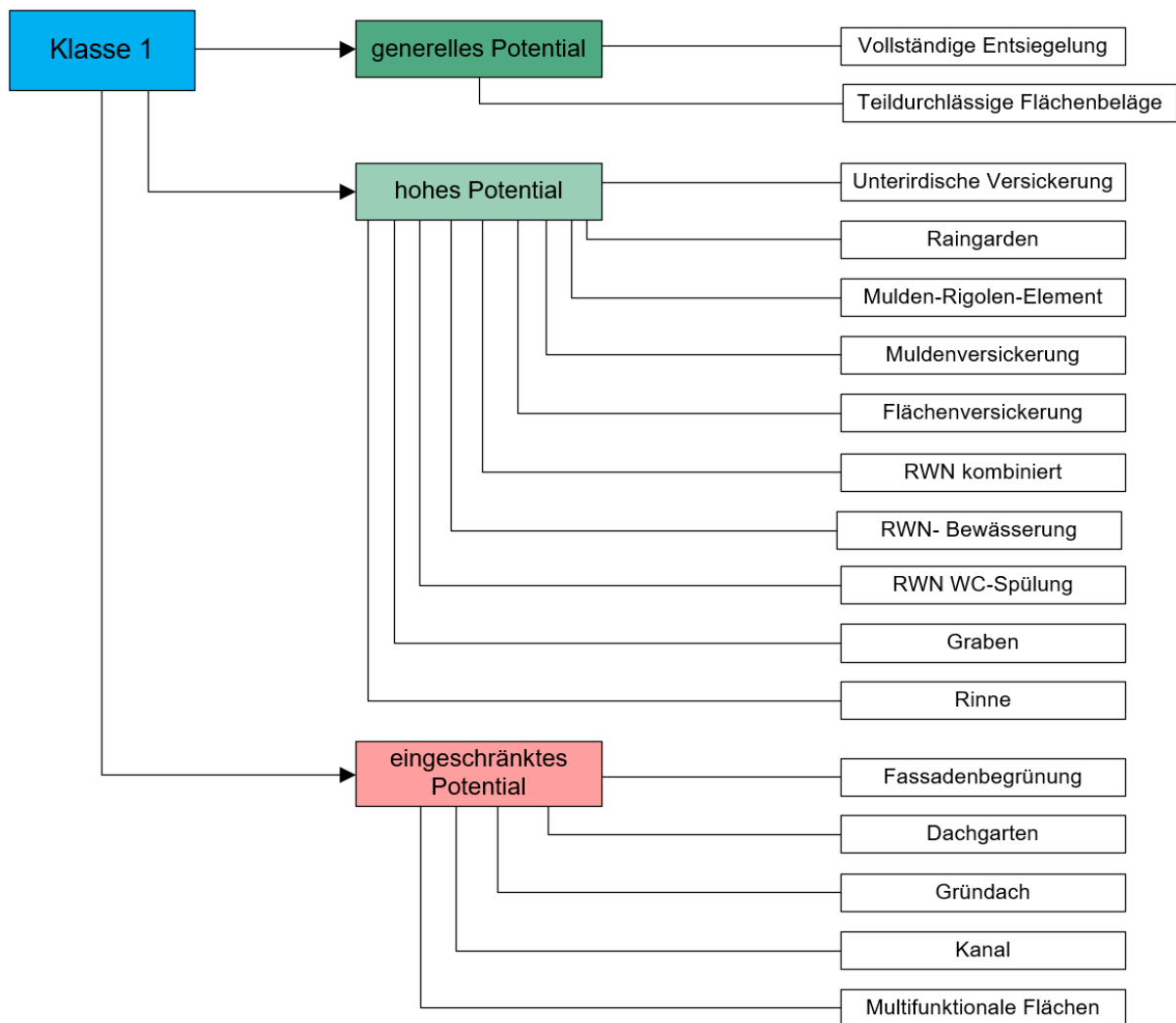


Abbildung A 1 Ortsunspezifisches Umsetzungspotential, Strukturklasse 1

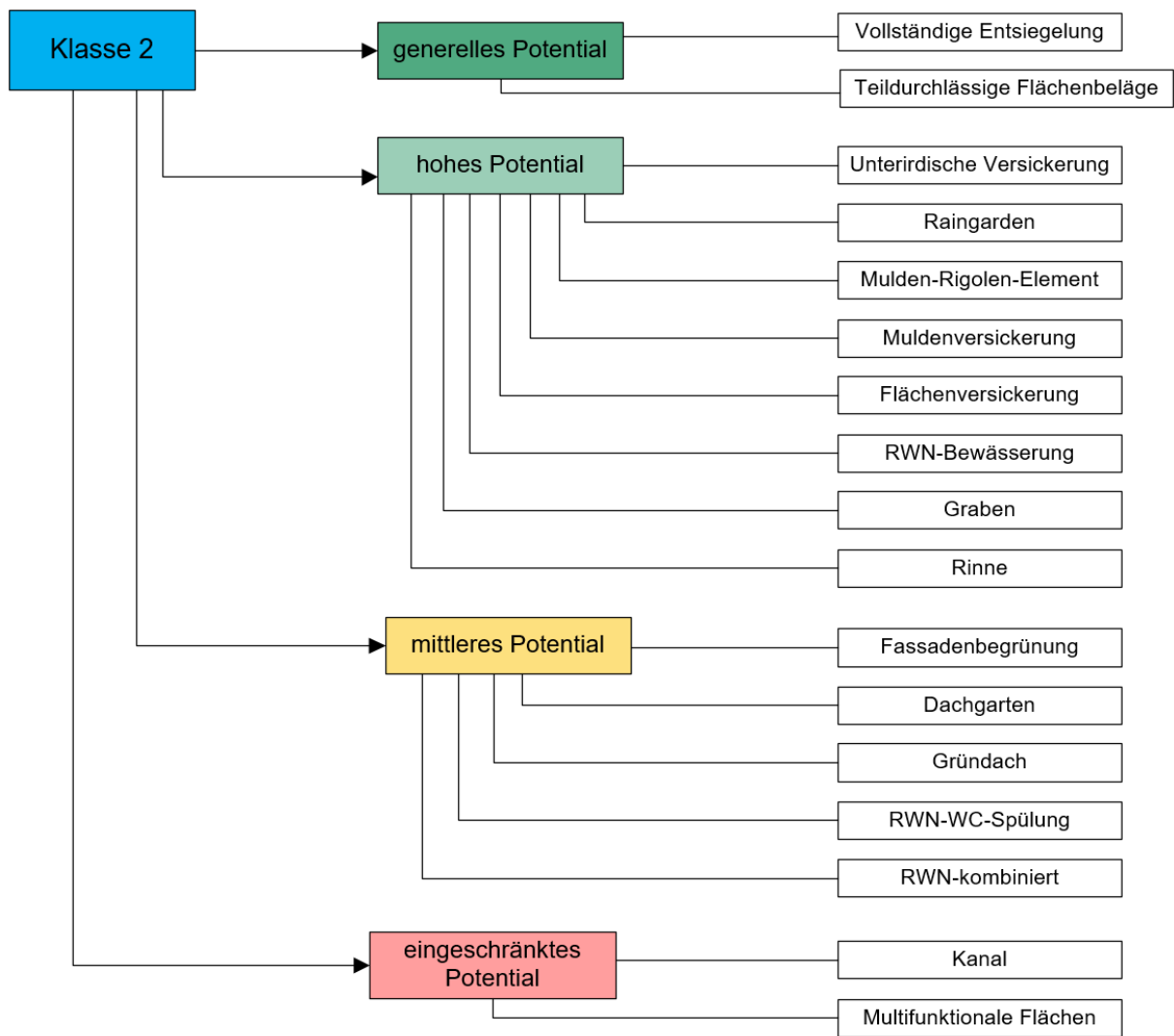


Abbildung A 2 Ortsunspezifisches Umsetzungspotential, Strukturklasse 2

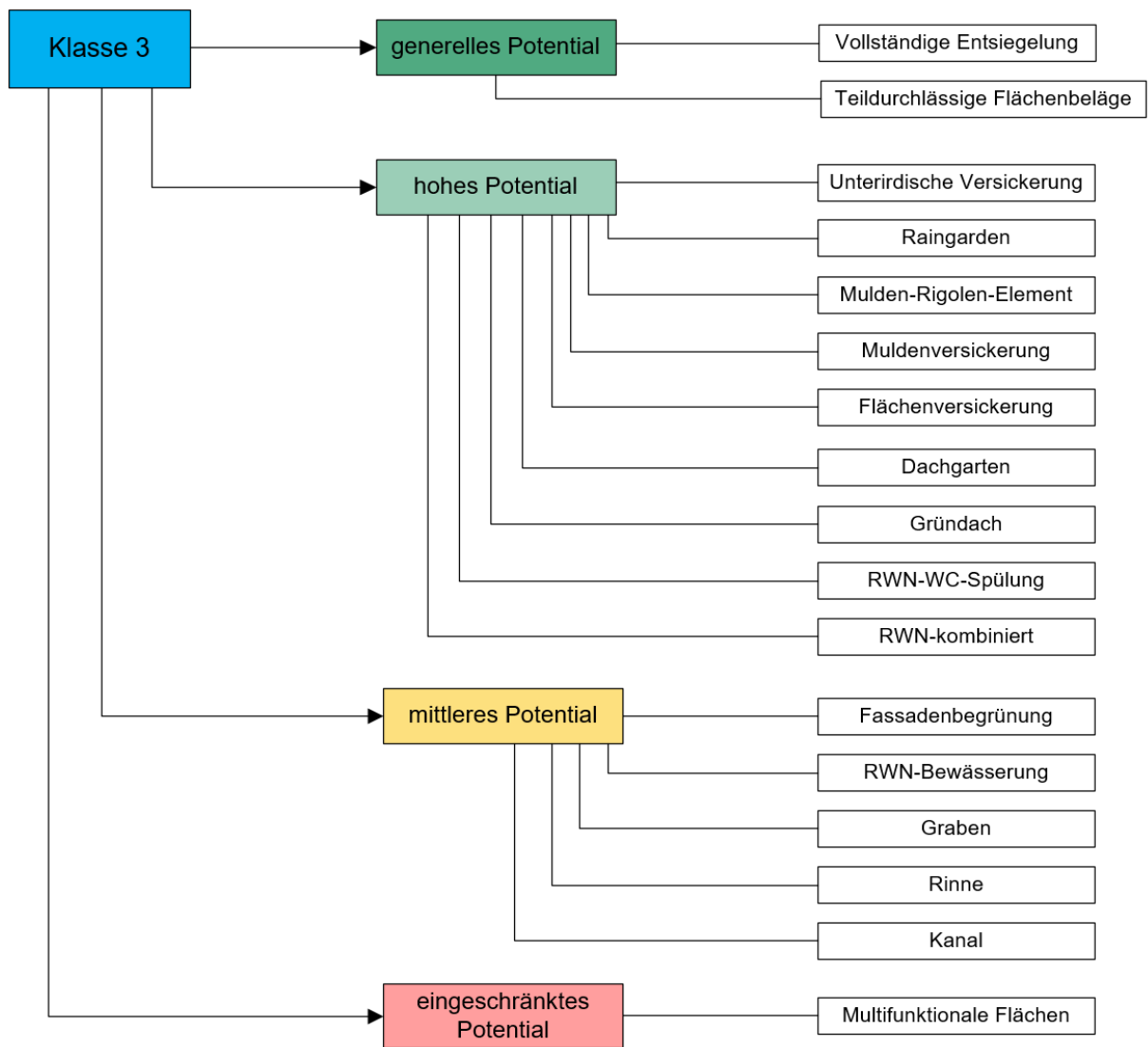


Abbildung A 3 Ortsunspezifisches Umsetzungspotential, Strukturklasse 3



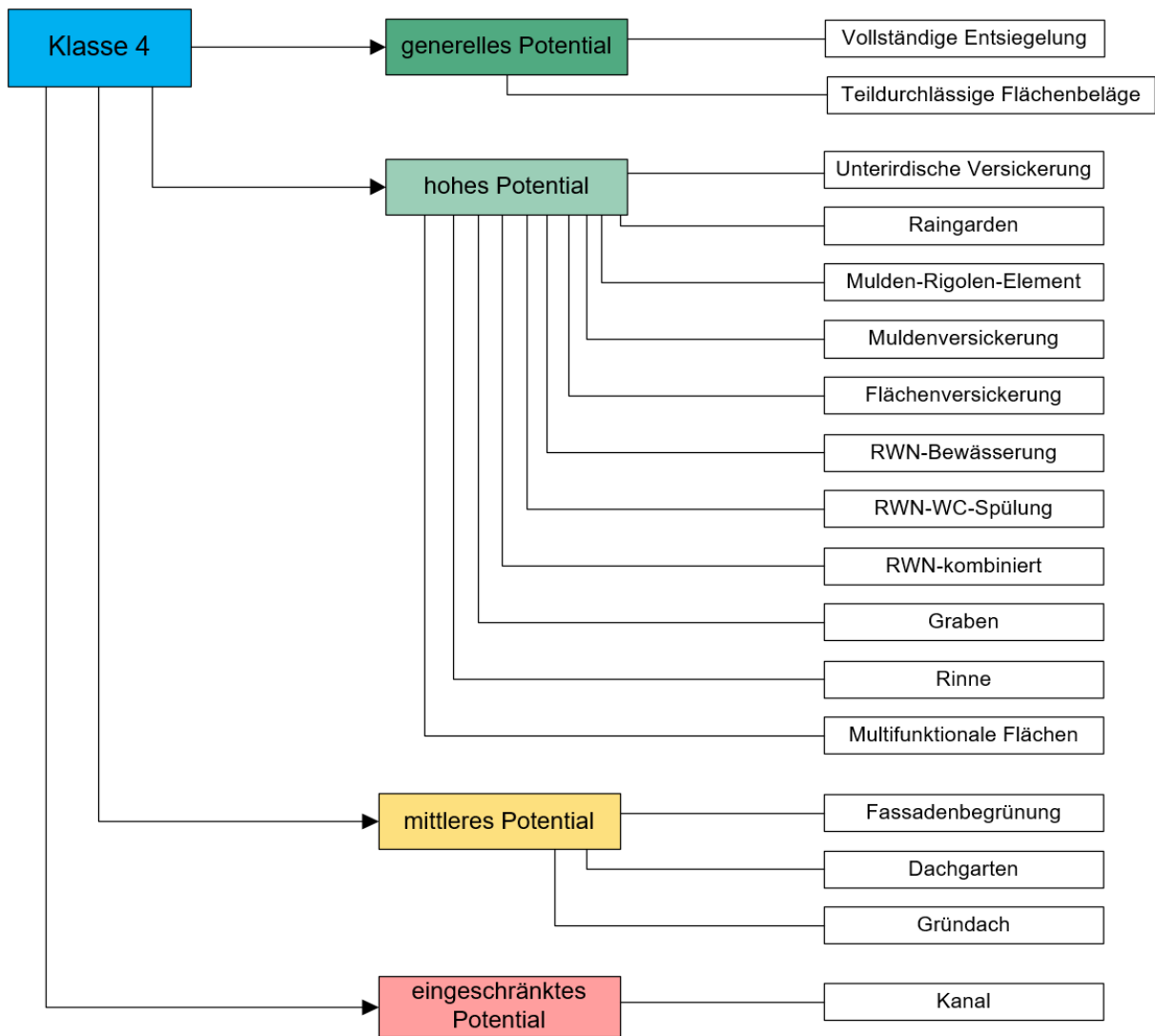


Abbildung A 4 Ortsunspezifisches Umsetzungspotential, Strukturklasse 4

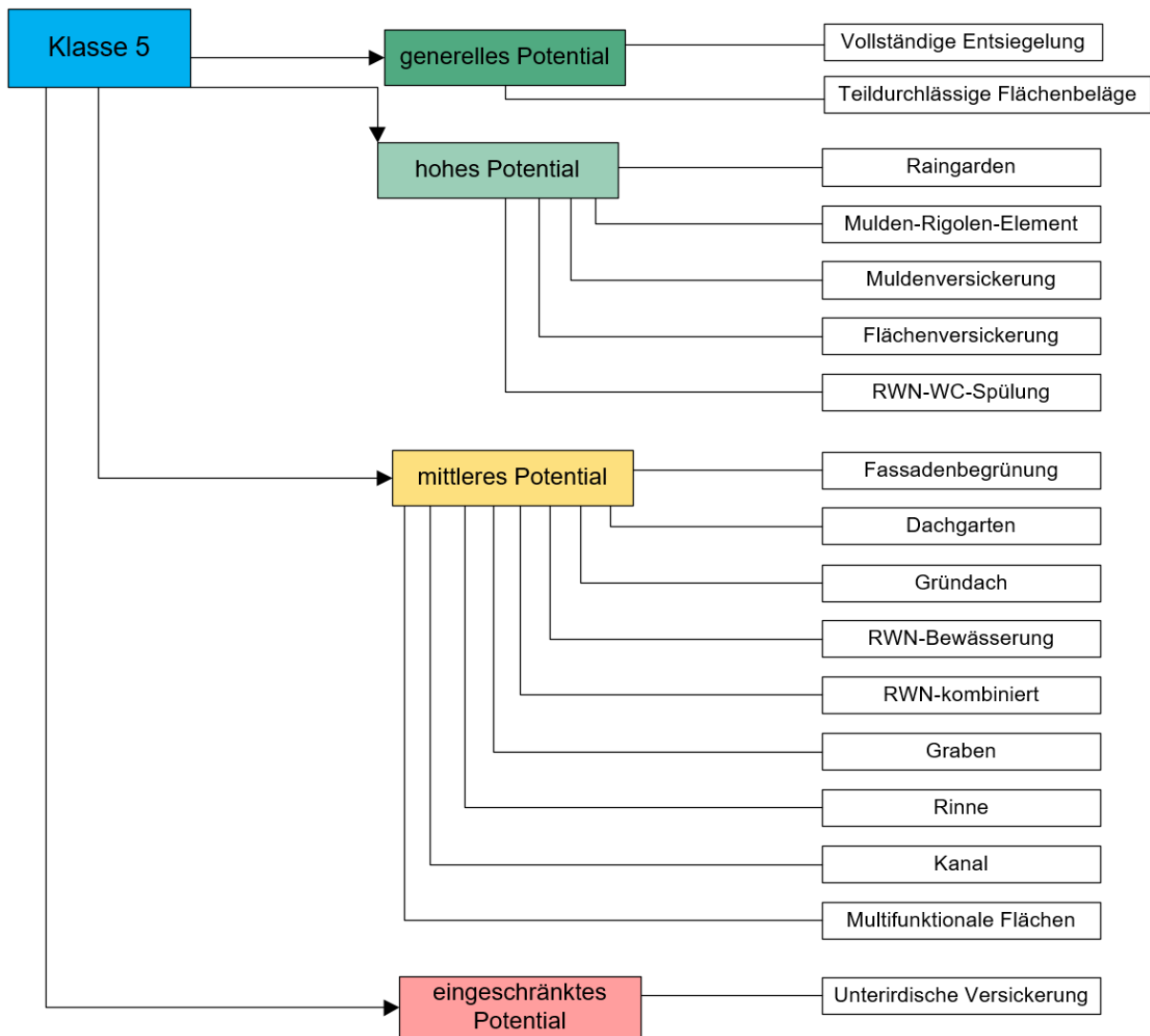


Abbildung A 5 Ortsunspezifisches Umsetzungspotential, Strukturklasse 5

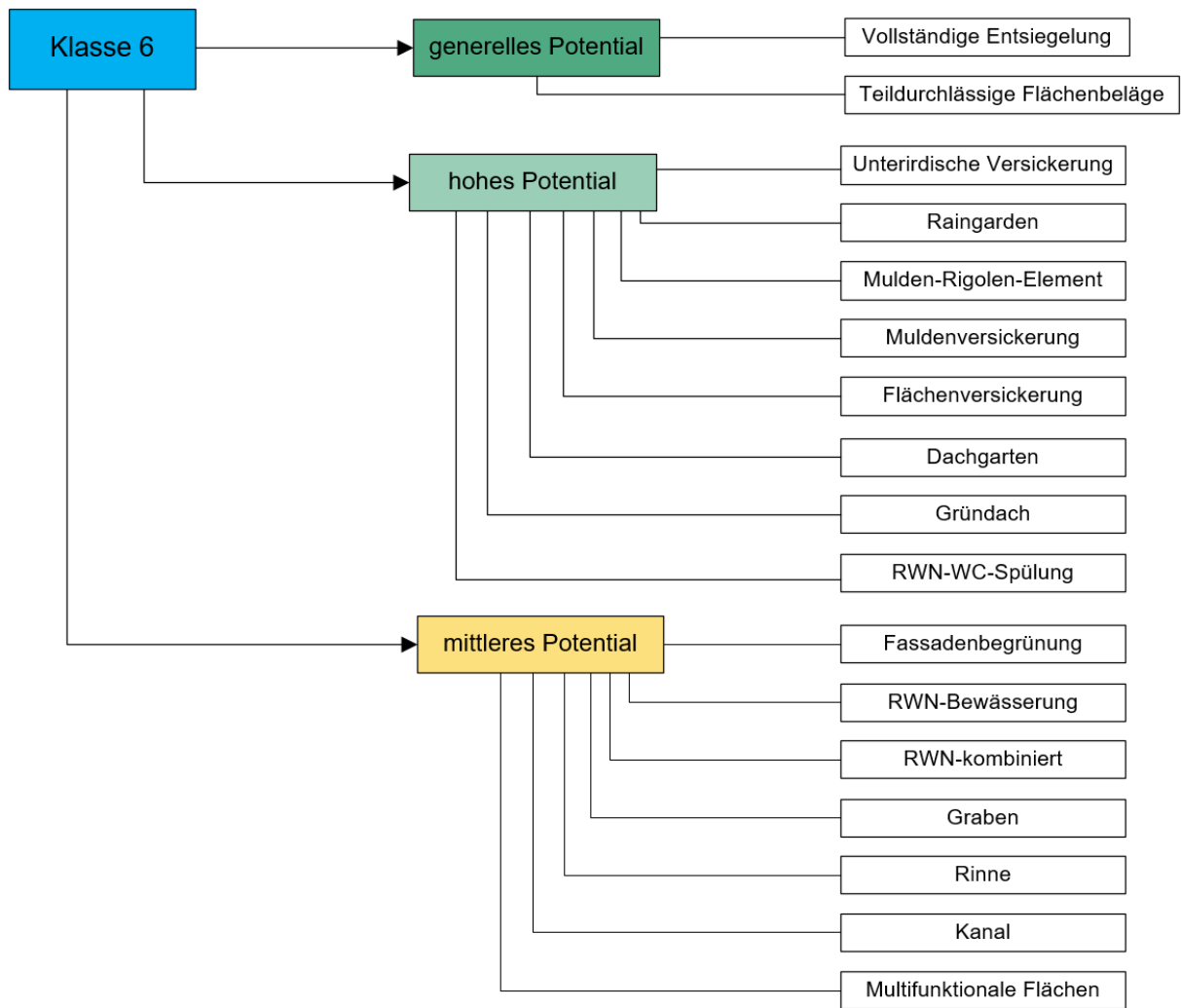


Abbildung A 6 Ortsunspezifisches Umsetzungspotential, Strukturklasse 6

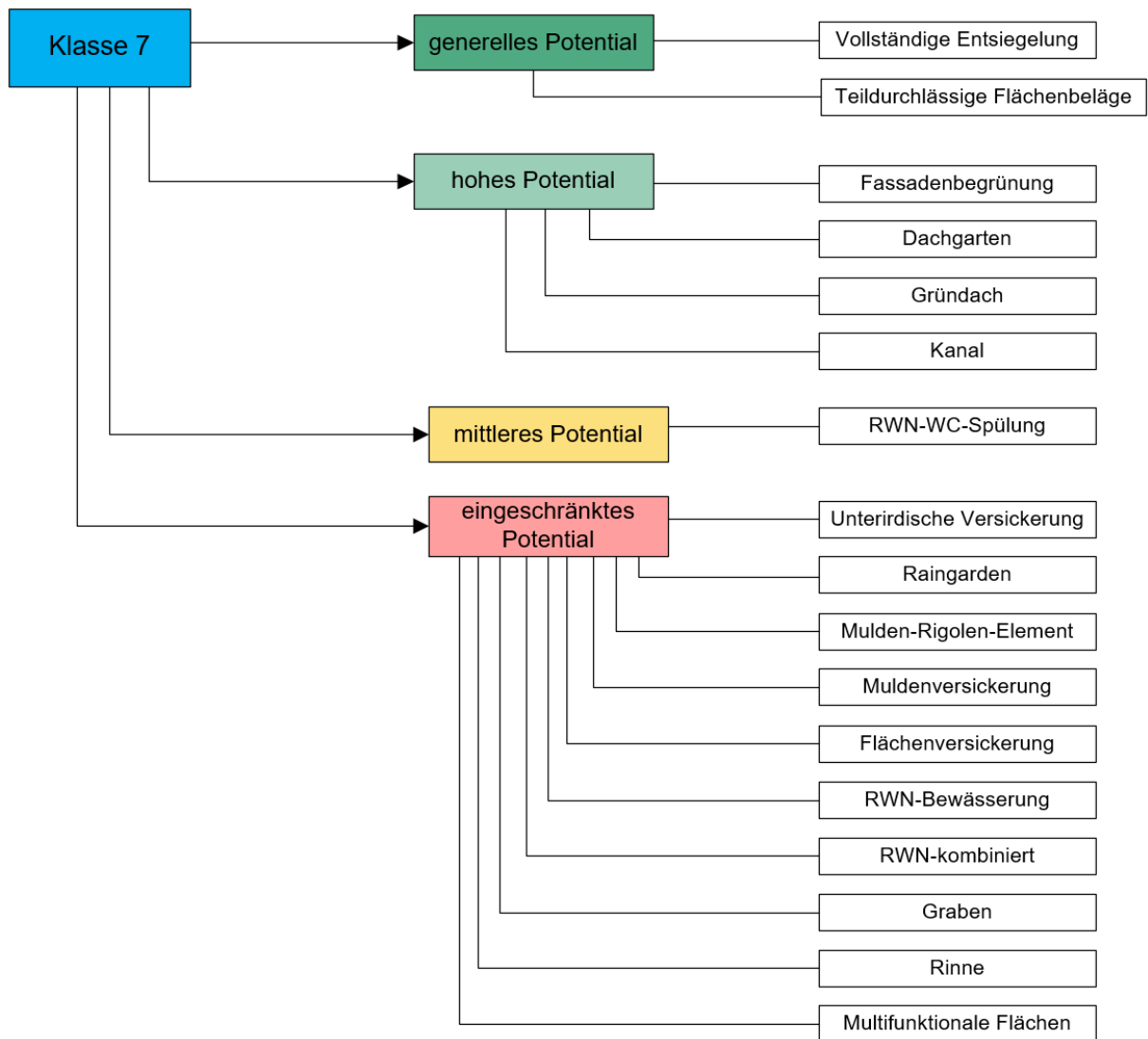


Abbildung A 7 Ortsunspezifisches Umsetzungspotential, Strukturklasse 7

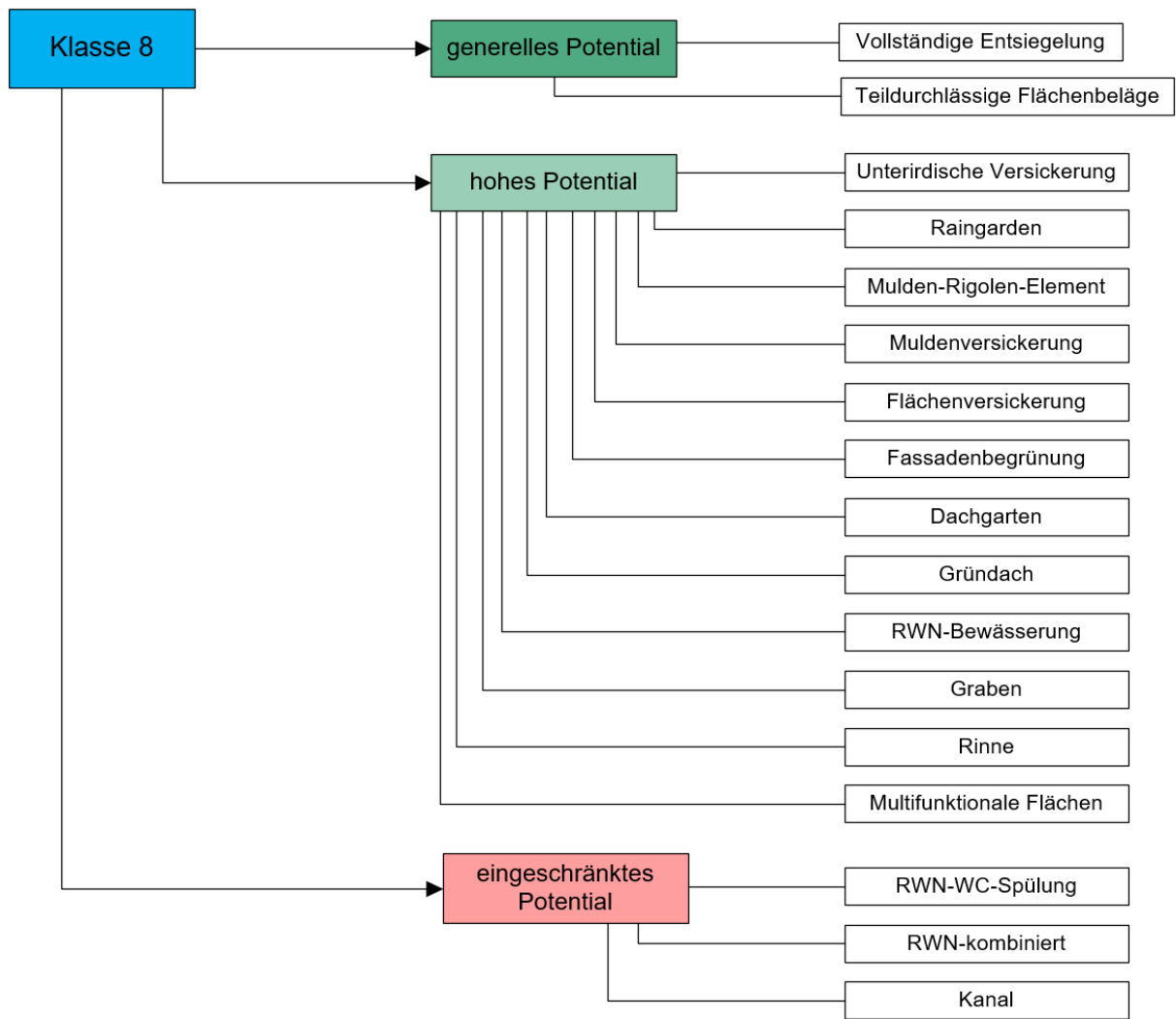


Abbildung A 8 Ortsunspezifisches Umsetzungspotential, Strukturklasse 8

Anhang 1.2 Private Flächen – Ortsunspezifisches Wirkpotential

	2.2 ortunspezifische Wirkpotentiale					Behandlungsbedarf Regenwasser
	Ökosystemleistungen	0 keine Wirkung	1 gering	2 mittel	3 hoch	
	Reduktion Abfluss	Erhöhung Verdunstung	Grundwasserneubildung	Stadtklima	Steigerung Biodiversität	Freiraumqualität
Vollständige Entsiegelung	3	1	2	2	2	2-3
Teildurchlässige Flächenbeläge	2	2	2	2-3	0	3
Unterirdische Versickerung	3	0	3	0	0	3
Raingärten	3	3	3	3	3	1-2
Mulden-Rigolen-Element	3	2	3	2	3	1-2
Muldenversickerung	3	1	3	1	3	2-3
Flächenversickerung	3	1	3	1	3	2-3
RWN kombiniert	3	2	2	2	1	2
RWN- Bewässerung	2	3	3	3	1	0
RWN WC- Spülung	3	0	0	0	0	2-3
Graben	1	1	1	1	2	1-2
Rinne	0	0	0	0	0	0
Fassadenbegrünung	3	2	1	2	3	2
Dachgarten	3	3	0	3	3	0
Gründach	2-3	2-3	0	2-3	2-3	0
Kanal	0	0	0	0	0	0
Multifunktionale Flächen	3	3	3	3	3	1-2

Abbildung A 9 Ortsunspezifische Wirkpotentiale; Teil 1 von 2

2.2 ortsspezifische Wirkpotentiale		Akzeptanz			Koordination			Multifunktionalität
		Bedienkomfort	Aufenthaltsqualität	Begegnung	Umsetzungsaufwand	Betrieblicher Aufwand	Know-How-Verfügbarkeit	
Vollständige Entsiegelung	3	0	1	1	1	0	2-3	
Teildurchlässige Flächenbeläge	3	0	1	1	1	0	1	
Unterirdische Versickerung	3	0	0	0	0-1	2	1	
Reingärten	2	3	2	2	2	2	2-3	
Mulden-Rigolen-Element	3	1	0	0	2	2	1-2	
Muldenversickerung	3	2	2	2	2	0	2	
Flächenversickerung	3	3	3	3	2	0	2-3	
RWN kombiniert	2	0	3	3	2	2	2	
RWN- Bewässerung	2	0	3	3	1	2	0	
RWN WC- Spülung	2	0	3	3	unsicher	2	0	
Graben	3	1	3	3	1	0	0	
Rinne	3	2	3	3	1	0	0	
Fassadenbegrünung	2	1	1	1	1	1	1	
Dachgarten	2	3	3	3	2	2	2-3	
Gründach	1-3	3	3	3	2	2	2	
Kanal	3	0	0	0	3	0	0	
Multifunktionale Flächen	3	3	3	3	unsicher	2	3	

Abbildung A 10 Ortsunspezifische Wirkpotentiale; Teil 2 von 2

### Anhang 1.3 Private Flächen – Ortsspezifisches Umsetzungspotential

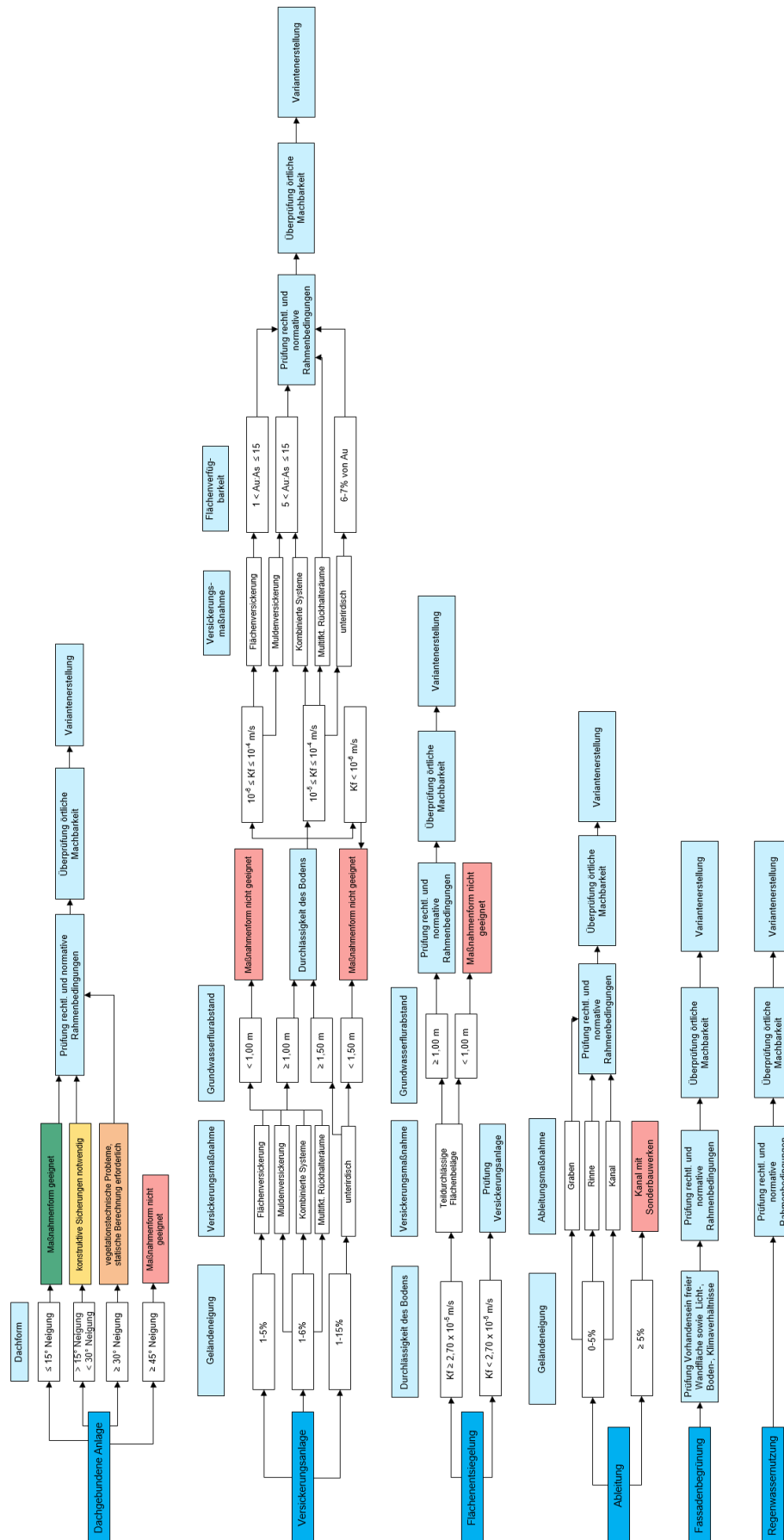


Abbildung A 11 Ortsspezifische Umsetzungspotentiale verschiedener Anlagentypen



## Anhang 1.4 Öffentliche Flächen

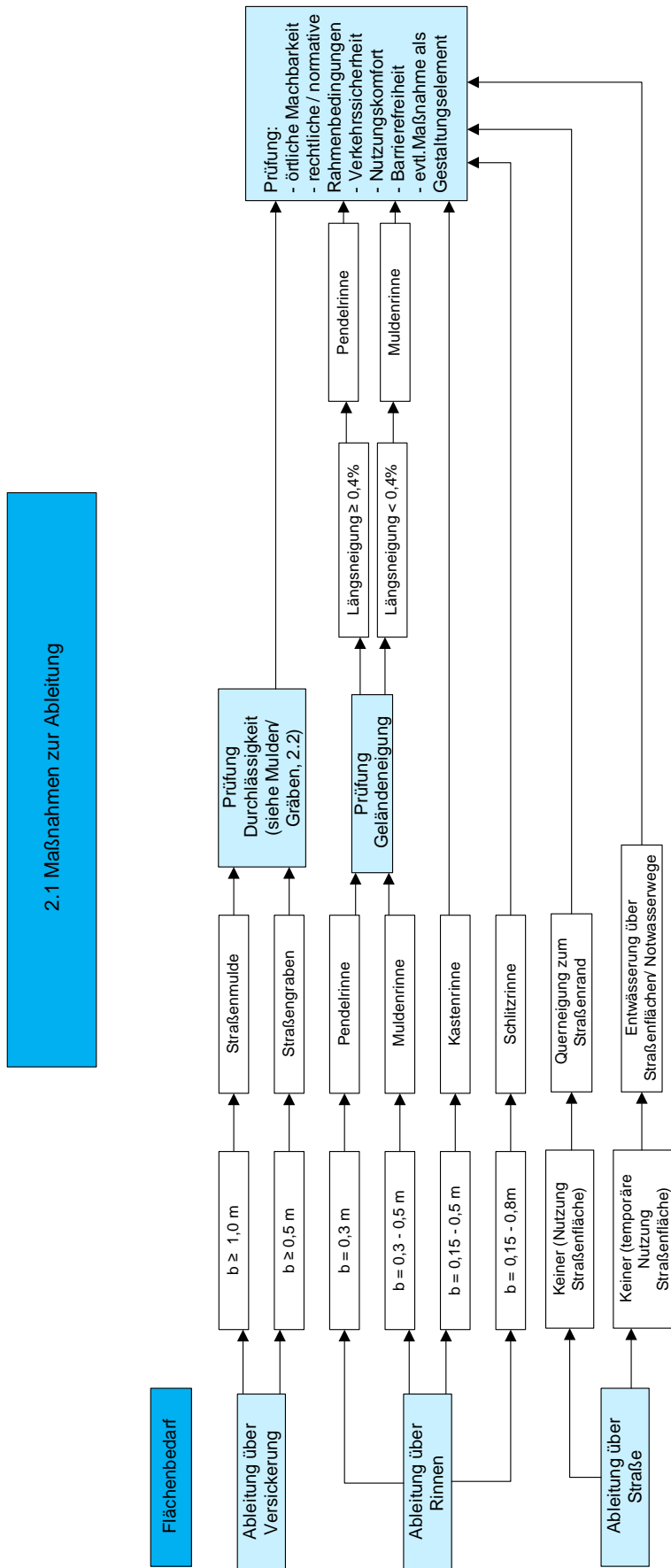


Abbildung A 12 Maßnahmenwahl Ableitung

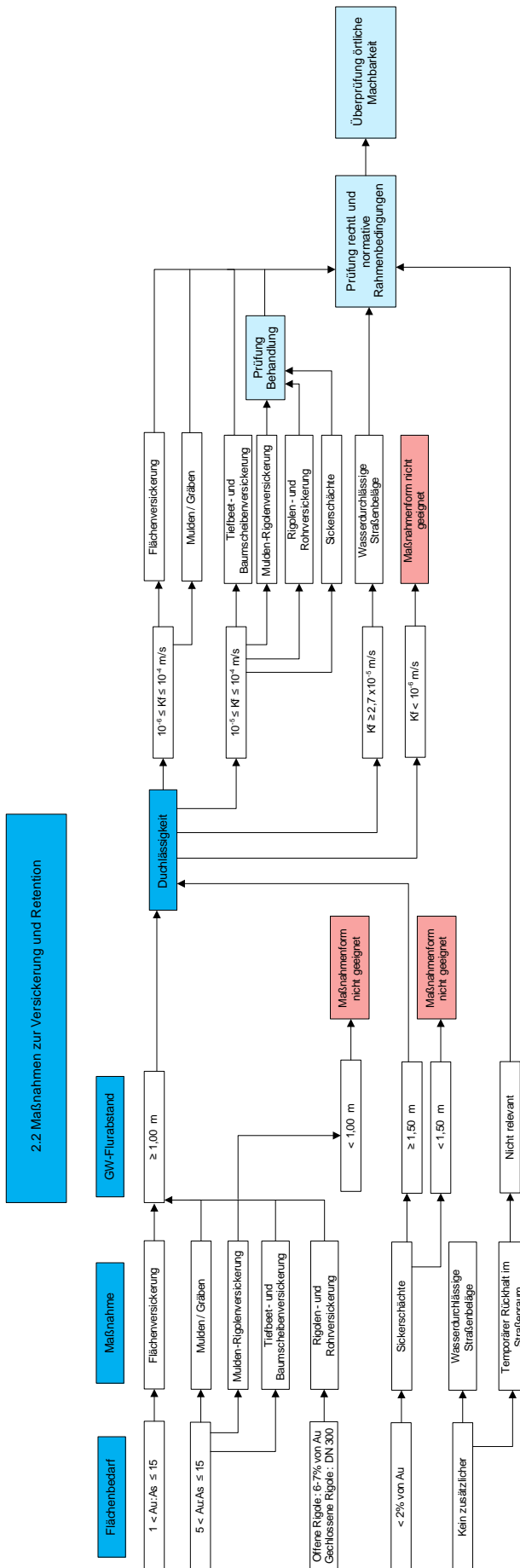


Abbildung A 13 Maßnahmenwahl Versickerung und Retention

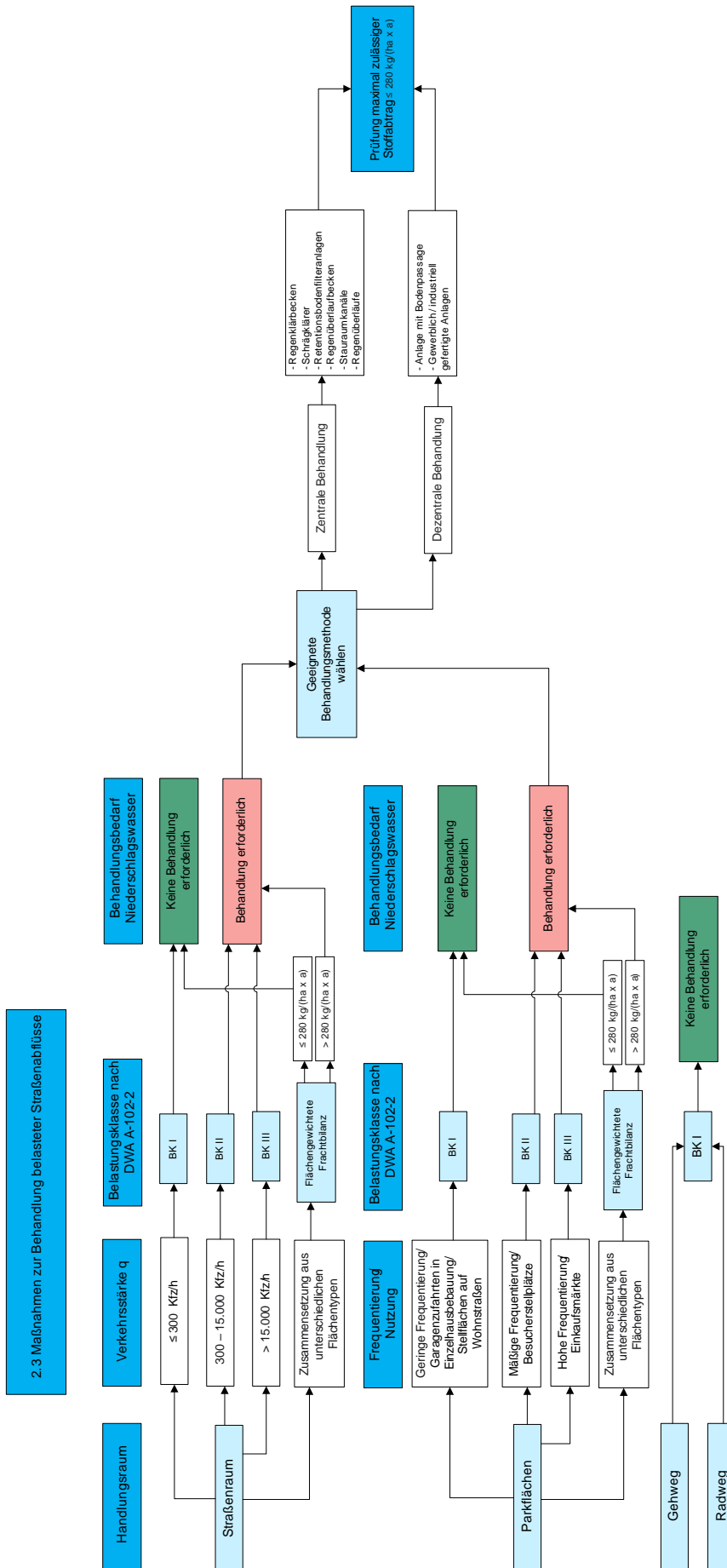


Abbildung A 14 Maßnahmenwahl Behandlung

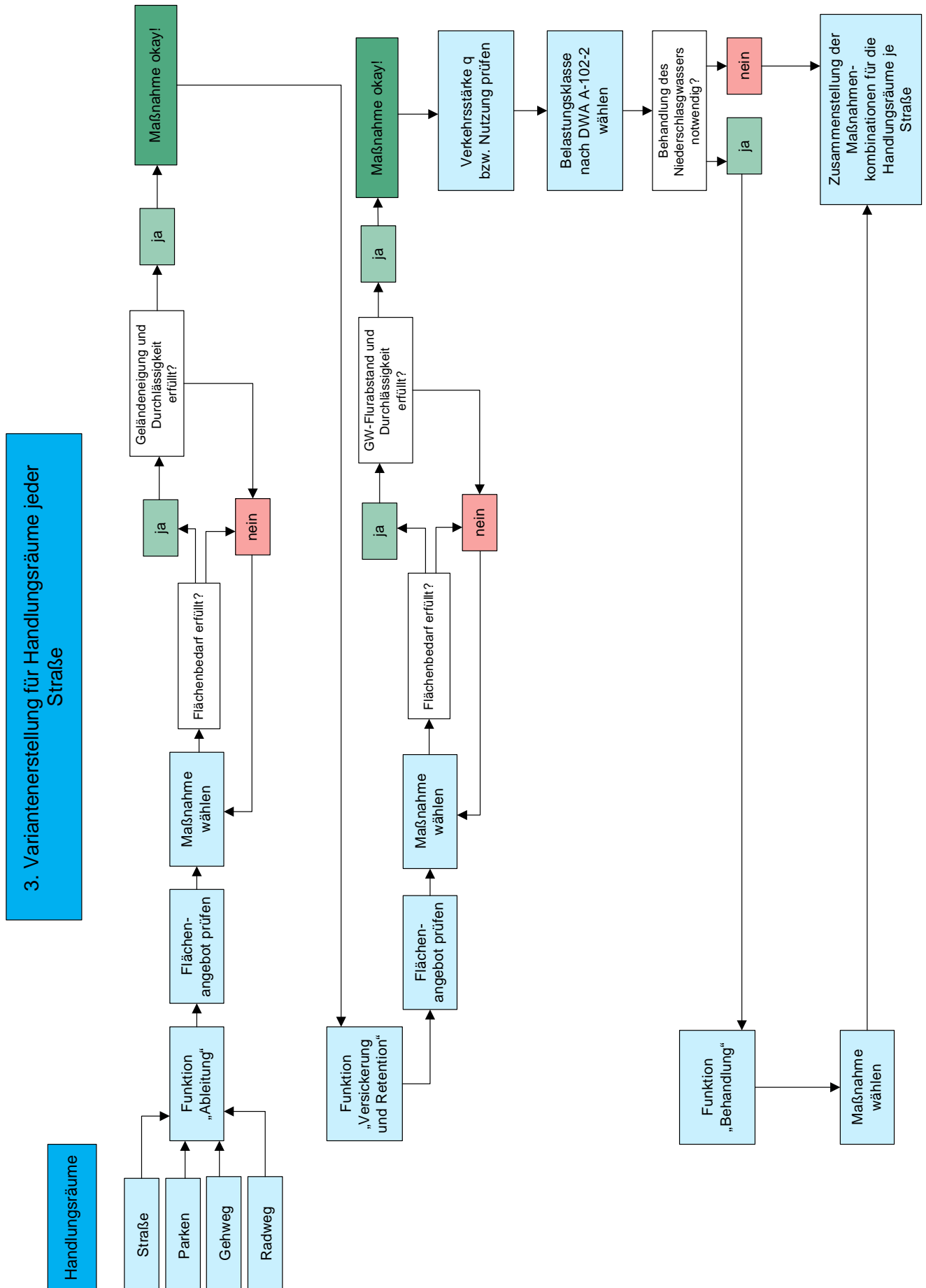


Abbildung A 15 Variantenerstellung für Handlungsräume jeder Straße

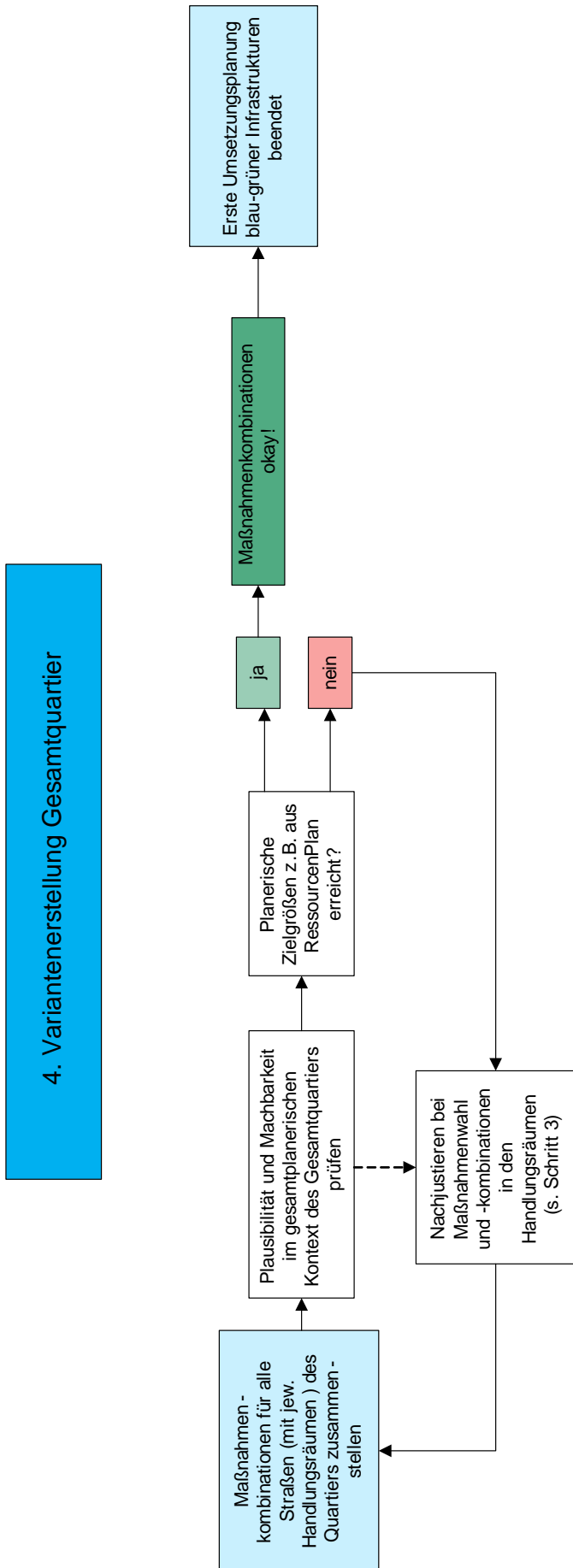
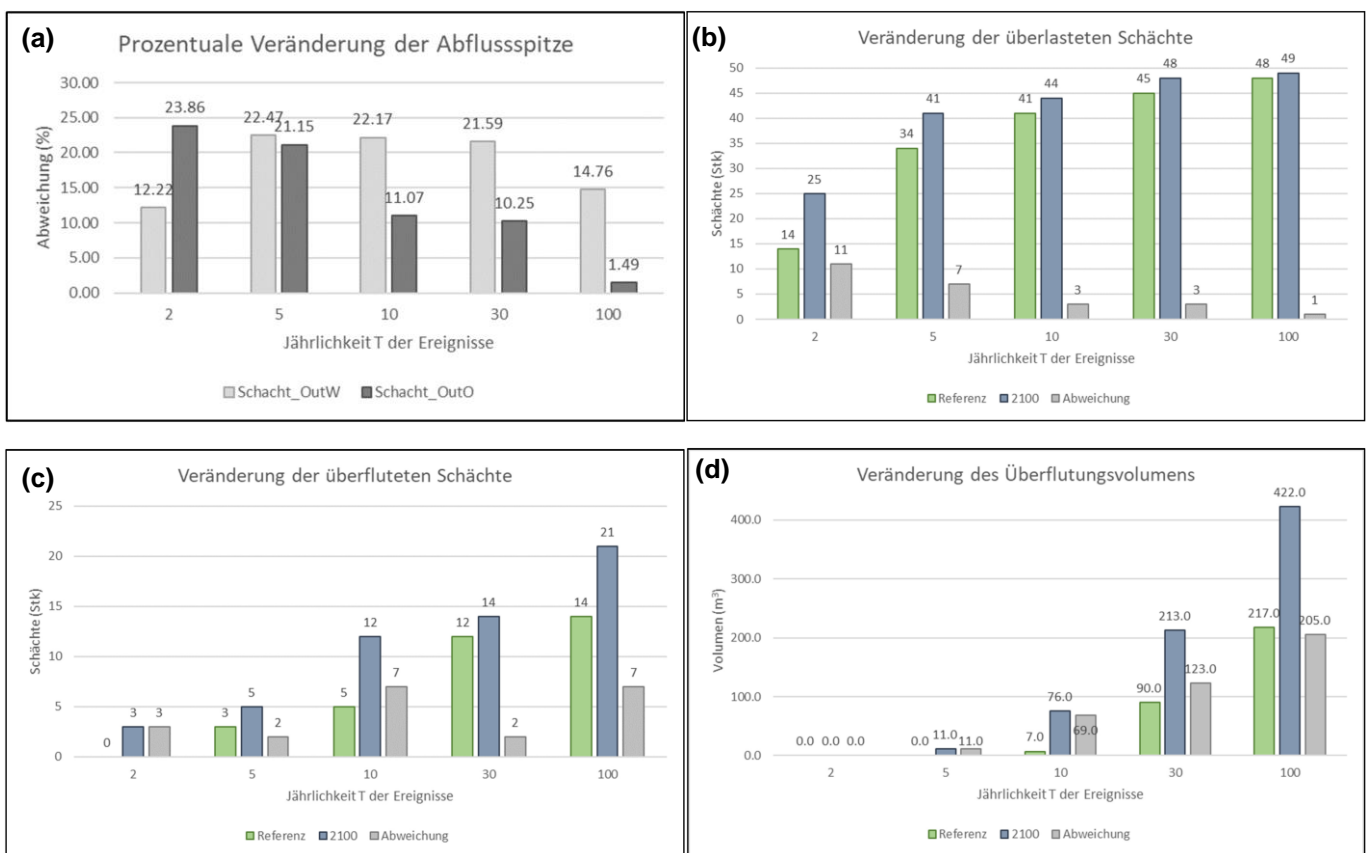


Abbildung A 16 Variantenerstellung Gesamtquartier

## Anhang 2 Anpassung von blau-grünen Infrastrukturen an Transformationszenarien

**Tabelle A 1 Wasserbilanz der veränderten Niederschlags- (N\_2100) und Verdunstungs-Szenarien (V\_2100) für das „Worst-Case-Szenario“ des Zeithorizonts 2100 im Vergleich zum Referenzjahr**

Variante	Summen (mm)				Anteile (-)		
	N	A	GWN	V	a	g	v
2016	728,4	263,0	133,7	317,3	0,36	0,18	0,44
N_2100	751,7	271,2	150,7	315,0	0,37	0,21	0,43
V_2100	728,4	259,2	121,1	334,0	0,36	0,17	0,46



**Abbildung A 17 Veränderungen der Abflussspitze (a), der Zahl der überlasteten (b) und überfluteten (c) Schächte sowie des Überflutungsvolumens (d) bei einer Dauerstufe D=20min für das Worst-Case-Szenario 2100 im Vergleich zum Referenzzustand**

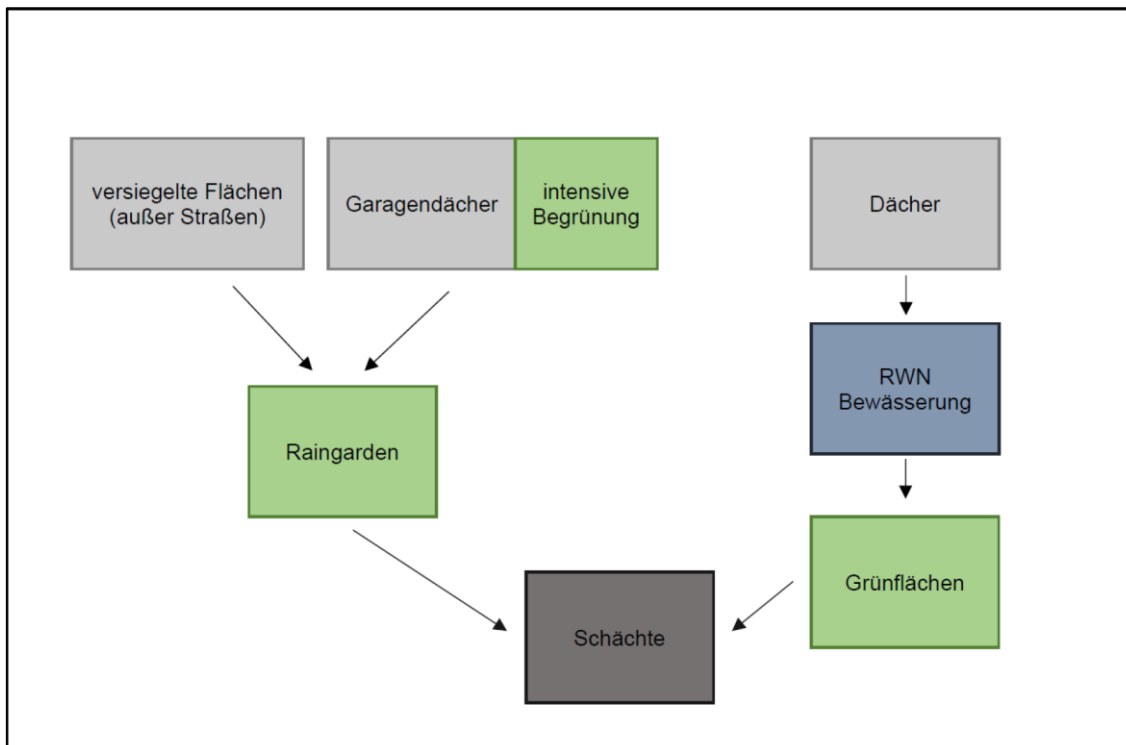


Abbildung A 18 Entwässerungswege des angedachten Transformationskonzepts

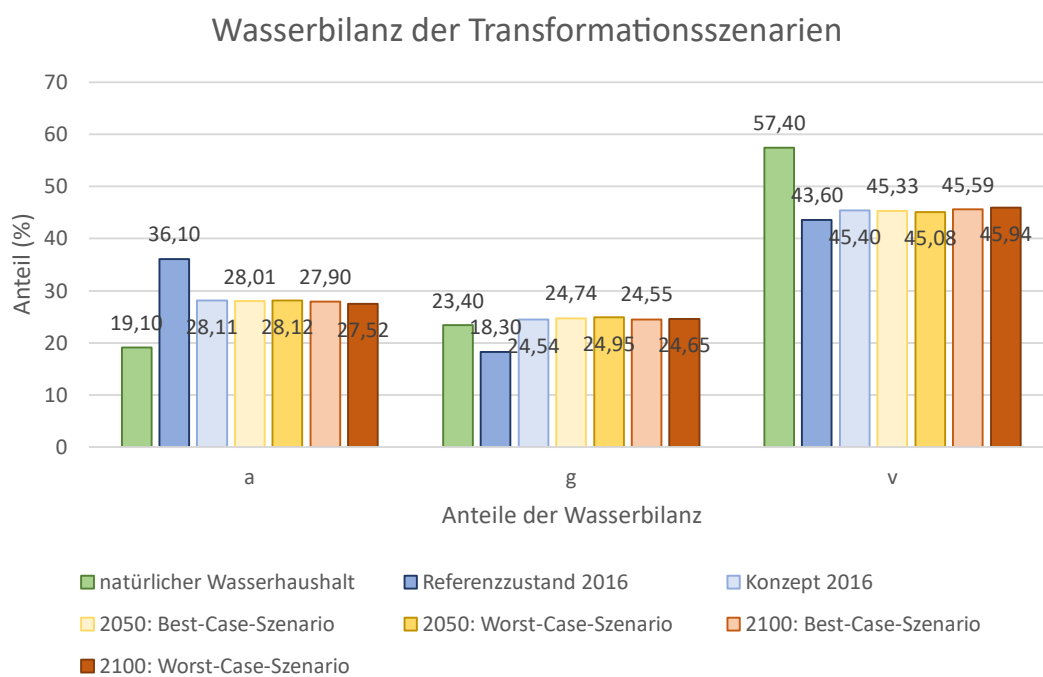


Abbildung A 19 Wasserbilanzen des Referenzzustandes und der Transformationsszenarien