



kuras

Konzepte für urbane Regenwasserbewirtschaftung und Abwassersysteme

SCHWERPUNKT ABWASSERSYSTEME

Zukunftsorientierte Anpassung der urbanen Abwasserinfrastruktur

Leitfaden zum methodischen Vorgehen



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

NaWaM
Nachhaltiges Wassermanagement



INIS

Intelligente und multifunktionale
Infrastruktursysteme für eine zukunftsfähige
Wassererzeugung und Abwasserentsorgung

INHALTSVERZEICHNIS

Zusammenfassung	3
A Hintergrund	4
1 Einführung	4
2 Ziele und Inhalte des Leitfadens	4
3 Überblick zur KURAS Methodik	4
B Durchführung und Umsetzung in die Praxis.....	5
1 Identifikation der zu betrachtenden Wirkungsfelder.....	5
2 Bestands- und Schwachstellenanalyse.....	6
3 Szenarienentwicklung.....	8
4 Vorgehen in den Wirkungsfeldern.....	10
Untersuchungen zum Wirkungsfeld „Überflutung“	10
Untersuchungen zu den Wirkungsfeldern „Überstau“ und „Mischwasserüberläufe“	12
Untersuchungen zum Wirkungsfeld „Ablagerungen in Kanälen“	14
Untersuchungen zum Wirkungsfeld „Erhöhung der Betriebssicherheit von Abwasserpumpsystemen“ ..	16
Untersuchungen zum Wirkungsfeld „Verbesserung der Ablaufwerte der Kläranlage“	17
5 Kombination der Maßnahmen und Bewertung der Maßnahmenkombinationen	17
6 Berücksichtigung von Kosten, Ungewissheiten und Risiken.....	18
Kostenbewertung der untersuchten Maßnahmen und Maßnahmenkombinationen	18
Zukunftssicherung der untersuchten Maßnahmen durch Risiko-Analyse	19
Zukunftssicherung der untersuchten Maßnahmen durch SWOT-Analyse.....	19
7 Handlungsempfehlungen und Fazit	20
Anhang.....	21
Impressum und Kontakt	22

ZUSAMMENFASSUNG

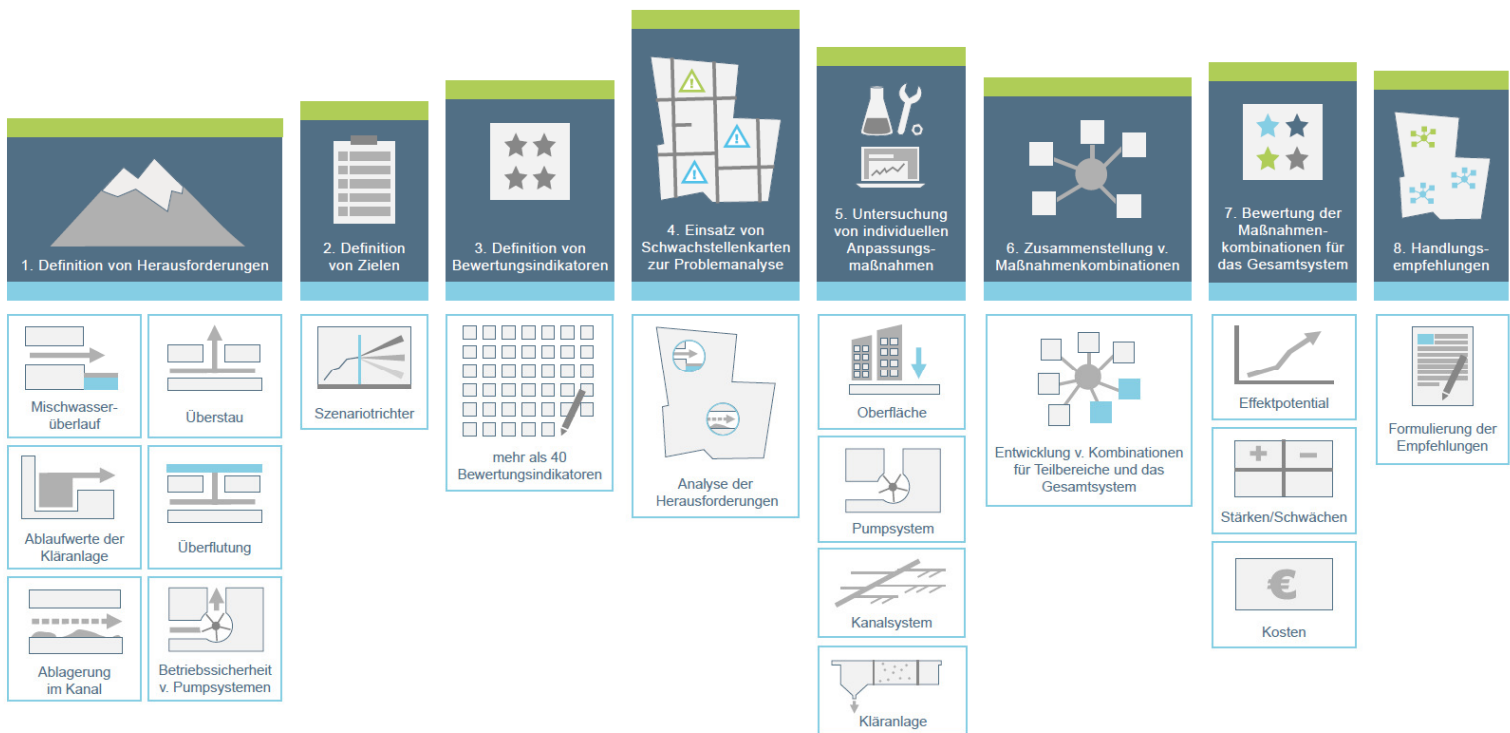


Abbildung 1: Die KURAS-Methodik auf einen Blick

Angesichts bestehender und zukünftiger Herausforderungen, wie Klimawandelfolgen und das sich verändernde Wassergebrauchsverhalten, war es das übergeordnete Ziel des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Verbundforschungsprojektes KURAS (Konzepte für urbane Regenwasserbewirtschaftung und Abwassersysteme), Handlungsempfehlungen für den Betrieb, den Ausbau und die Anpassung der urbanen Abwasser- und Regenwasserinfrastruktur an die Zukunft zu formulieren.

Dazu wurden in KURAS Planungsmethoden entwickelt, die eine konsequente Bewertung von Maßnahmen mit lokalen Anforderungen und Herausforderungen verknüpfen. Die zu Grunde gelegten Methoden wurden innerhalb des Projektes für die Themenfelder Abwassersysteme und Regenwasserbewirtschaftung erarbeitet und für Berliner Fallstudien auf Quartier- und Einzugsgebietsebene angewendet.

Es zeigte sich, dass eine integrierte, skalenübergreifende Planung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung und des Abwassermanagements einen erhöhten Nutzen erzielen kann. Die in KURAS entwickelte Methode ist geeignet, eine solche Planung zu unterstützen.

Im vorliegenden Leitfaden wird die im Schwerpunkt „Abwassersysteme“ entwickelte KURAS-Methode zur Anpassung der urbanen Abwasserinfrastruktur vorgestellt.

A HINTERGRUND

1 Einführung

Nur mit einer funktionierenden Abwasserinfrastruktur kann die Kommune eine hygienisch einwandfreie und dem Umwelt- und Überflutungsschutz entsprechende Abwasserableitung und -behandlung sicherstellen. Im Bereich des Abwassermanagements in urbanen Räumen sind Konzepte gefragt, die zum einen die Entsorgungssicherheit gewährleisten und zum anderen einen Beitrag zur Lösung der mit der urbanen Hydrologie eng verknüpften Umweltauswirkungen leisten. Dazu müssen für die gesamte Abwasserinfrastruktur - von der Stadtoberfläche über das Kanalnetz und das Pumpsystem bis hin zur Kläranlage - Lösungsansätze entwickelt werden. Insbesondere Mischsysteme, die in vielen mitteleuropäischen Großstadtzentren seit über 100 Jahren bestehen, sind erheblichem Anpassungsdruck ausgesetzt: Klimawandel, Bevölkerungsentwicklung und Änderung des Wassergebrauchsverhaltens sind nur eine Auswahl zukünfti-

ger (und aktueller) Herausforderungen. Sie bedingen starke hydraulische und stoffliche Belastungsschwankungen, die dem Abwassersystem Flexibilität abverlangt. Überlastsituationen nach Starkregenereignissen (Lastfall *Überlast*), aber auch ausge dehnte Trockenperioden und damit einhergehende Probleme (Lastfall *Unterlast*) müssen für den gesamten Abwasserableitungs- und Aufbereitungsprozess systemübergreifend betrachtet werden.

Die KURAS-Methodik der integrierten Planung von Anpassungsmaßnahmen für urbane Abwassersysteme wurde entwickelt, um durch die an lokale Anforderungen angepasste Auswahl und Implementierung von Anpassungsstrategien, den Bestand zu optimieren und zukunftsfähig zu machen. Dabei können Synergien genutzt und mögliche negative Wechselwirkungen zwischen Teilsystemen vermieden werden.

2 Ziele und Inhalte des Leitfadens

Für Kommunen liegt die Problemstellung der zukunftsfähigen Anpassung der Infrastrukturen in der Erfordernis der Integration technischer, sozialer, ökonomischer, ökologischer und gestalterischer Ansprüche zu Abwasserinfrastruktur, Stadtstruktur und Stadtfreiraum. Gegenüber verschiedenen Handlungsempfehlungen besteht das Entscheidungsproblem oftmals in dem unzureichenden Erfassen sich überlagernder Wirkungseffekte sowie deren Quantifizierung. Daher ist es ein übergeordnetes Ziel im Rahmen der KURAS Methodik, mit möglichst geringen Ressourcen, mögliche Entwicklungen und dazu betreffende Lösungen aufzuzeigen, die den Herausforderungen gerecht werden.

Der Weg zur Anpassung

Der Leitfaden hat zum Ziel, Betreiber und Kommunen dazu zu befähigen, über ein systematisches Vorgehen, eine Auswahl von ortsspezifischen Anpassungsmaßnahmen bei unterschiedlichen Handlungsspielräumen und -zwängen zu erreichen. Der Leitfaden beschreibt die Vorgehensweise bei der Anpassungskonzeption und erläutert die zu empfehlenden Arbeitsschritte. Durch die konsequente Anwendung der Methodik können schließlich Anpassungsstrategien entwickelt werden, die eine Vielzahl von Kriterien berücksichtigen und mit den jeweiligen lokalen Anforderungen und Herausforderungen verknüpft sind.

3 Überblick zur KURAS Methodik

Anhand der entwickelten KURAS-Methodik zur Anpassung urbaner Abwasserinfrastrukturen wurde

eine Handreichung zur kommunalen Vorsorge erstellt.

Um ganzheitliche Anpassungsstrategien mit einer integrierten Bewertung für das gesamte Abwassersystem zu entwickeln, wurden folgende Aspekte in der **KURAS-Methodik** berücksichtigt:

- I) Die Definition von gegenwärtigen und zukünftigen Herausforderungen, Wirkungsfeldern und Zielen,
- II) die Definition von Bewertungsindikatoren,
- III) eine Abgrenzung der zu betrachtenden Subsysteme (Oberfläche, Kanalsystem, Pumpsystem und Kläranlage),
- IV) die Untersuchung und Bewertung von Anpassungsmaßnahmen mit unterschiedlichen Untersuchungswerkzeugen,
- V) eine Kombination der individuellen Anpassungsmaßnahmen zu ganzheitlichen Anpassungsstrategien auf Grundlage einer integrierten Systembewertung,
- VI) eine Bewertung der entwickelten Anpassungsstrategien anhand von Zukunftsszenarien, sowie, abschließend,
- VII) der Entwurf einer risikobasierten Bewertungsmethode um die entwickelten Anpassungsstrategien vergleichend zu bewerten.

Das Vorgehen der einzelnen Arbeitsschritte und die dafür notwendigen Bedingungen sind in den folgenden Abschnitten erläutert.

Die KURAS-Methodik wurde für ein Berliner Modellgebiet (31 km², ~260.000 Einwohner, ~40.000 m³ täglicher Trockenwetterabfluss) erprobt. Das Modellgebiet sowie die untersuchten Maßnahmen sind im Katalog *Zukunftsorientierte*

*Planmäßiges Handeln statt teurer
Nachsicht*

Anpassung der urbanen Abwasserinfrastruktur – Einzelmaßnahmen beschrieben. Die aus den individuellen Maßnahmen entwickelten Maßnahmenkombinationen sind im Katalog *Zukunftsorientierte Anpassung der urbanen Abwasserinfrastruktur – Maßnahmenkombinationen* erläutert.

B DURCHFÜHRUNG UND UMSETZUNG IN DIE PRAXIS

1 Identifikation der zu betrachtenden Wirkungsfelder

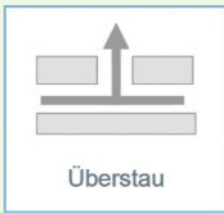
Um gezielte und mit lokalen Anforderungen und Herausforderungen verknüpfte Anpassungsstrategien entwickeln zu können, müssen die Ansprüche und prioritären Handlungsnotwendigkeiten identifiziert werden. Für das Fallbeispiel Berlin wurden

insgesamt **sechs Wirkungsfelder** identifiziert, die in einem Zeithorizont bis 2050 durch die untersuchten Maßnahmen und Maßnahmenkombinationen verbessert werden sollten:



Überflutung

Eine Zunahme schadensträchtiger Ereignisse durch Starkregenüberflutungen ist zu beobachten (GDV, 2015). Überflutungen führen zu Schäden an Infrastruktureinrichtungen, Sach- und Personenschäden sowie hygienischen Beeinträchtigungen.



Überstau

Bei hydraulischer Überlastung des Kanalnetzes kann es zum Überstau kommen (= Wasserstand > Geländeoberkante). Treten infolge des Überstaus Schäden auf, spricht man von Überflutung (s.o.).



Mischwasserüberläufe

Die vielerorts prognostizierte Zunahme von Starkregenereignissen lässt eine Zunahme von Mischwasserüberläufen und damit verbundene Beeinträchtigungen aquatischer Organismen erwarten.



Ablagerungen in Kanälen

Bei Unterlast in der Kanalisation (Trockenwetter und niedrigem Wassergebrauch) reicht die Schleppkraft der Schwemmkanalisation häufig nicht aus, um den Feststofftransport zu gewährleisten, was zahlreiche negative Auswirkungen mit sich bringt.



Betriebssicherheit von Abwasserpumpsystemen

In Abwasserpumpsystemen führt die sich ändernde Abwasserzusammensetzung aufgrund des zunehmenden Faserstoffanteils zu häufigen Störungen. Insbesondere Pumpenverstopfungen behindern den Betrieb bis hin zum Maschinenausfall.



Verbesserung von Ablaufwerten in der Kläranlage

Die Probleme, die im Entwässerungsnetz durch extreme Lastfälle entstehen, setzen sich bis zur Kläranlage fort. Außerdem werden bis zum Jahr 2050 die Kläranlagenablaufwerte voraussichtlich noch stärker reguliert sein.

2 Bestands- und Schwachstellenanalyse

Die GIS-gestützte Bestandsaufnahme und Beurteilung ist Voraussetzung für die rechtzeitige Identifikation gefährdeter Bereiche und damit elementarer Bestandteil der hier vorgestellten Methode. Bei Überlast und Unterlast in einem Stadtgebiet wird eine kartenbasierte Methodik empfohlen. Zur Sensibilisierung wie auch für ein Risikobewusstsein hat sich die Erstellung von „Schwachstellenkarten“ im Projekt bewährt. Darüber hinaus geben sie die Datengrundlage für darauf aufbauende Szenarien- und Schwachstellenanalysen und stellen einen erheblichen Nut-

Wie kommt die Kommune zum Anpassungskonzept?

zen zur strategischen Planung von Anpassungsmaßnahmen dar. Am Anfang dieser kartenbasierten Methodik mit dem Ziel, Schwerpunkte zu erkennen und Systemzusammenhänge bezüglich Überlast- und Unterlastherausforderungen zu verstehen, steht die umfassende Datenerhebung. Dabei spielen sowohl statische Infrastrukturdaten, als auch Betriebsdaten zum Umgang mit dem System, georeferenzierte Informationen zu Problemausprägungen sowie dynamische Mess- und Simulationsdaten zu lastfallabhängigem Verhalten des Systems eine wichtige Rolle.

Tabelle 1: Überblick zur Datengrundlage der Bestandsanalyse im Einzugsgebiet

GIS-Daten	Kanalnetzgeometrie	Kanalprofil, Nennweite, Sohlgefälle, Entwässerungsart, Material, Sonderbauwerke (Düker, Überlaufschwelle, Stauräume, Drosselbauwerke)
	Siedlungsstruktur	Versiegelung, Grünflächen, Bevölkerungsdichte, Gewerbe, Industrie, öffentliche Einleiter
	Topographie	Senken, Unterführungen, Bordsteinkanten
Betriebsdaten	Messdaten	Pumpwerksförderströme, Pumpenausfälle, Pegelstände, Durchflussmessungen
	Betriebsinfo	Reinigungsklassen, Ablagerungshöhen, Geruchsschwerpunkte, Schadensklassen (Korrosion)
	Kundendaten	Geruchsbeschwerden, Überflutungsbeschwerden
	Feuerwehrdaten	Überflutungseinsätze bei Regen
Simulation	Oberflächenmodell	Abflussverhalten, Fließwege
	Kanalnetzmodell	Pegelstände, Durchflüsse, Fließgeschwindigkeiten, Schubspannungen

Neben der ersten grundlegenden Datenerfassung ist eine laufende Aktualisierung der Daten unerlässlich.

Nach dem Erfassen und Erheben ist eine Validitätsprüfung sowie die Aufbereitung der Daten erforderlich. Im weiteren Vorgehen sind die Daten mit einem geeigneten GIS-Programm georeferenziert abzubilden und thematisch passende Karten zusammenzustellen. Durch die georeferenzierte Verschneidung thematisch zusammenhängender Informationen können Herausforderungen aggregiert und im Untersuchungsgebiet schneller erkannt und entsprechende Schwerpunkte gesetzt werden.

Für eine höher aufgelöste Kanalnetzanalyse zur Bewertung von Unterlast im Bestand und zur haltungsscharfen Identifikation ablagerungskritischer Bereiche mit Anpassungsbedarf ist darüber hinaus eine Auswertung hydraulischer Simulationsdaten im Trockenwettertagesgang anhand der Erfüllung sedimenttransportrelevanter Grenzwerte zielführend.

Um die Dynamik eines Kanalnetzes nachzuvollziehen und Zusammenhänge zwischen Infrastruktur,

Lastfall und Problemausprägung besser zu verstehen, empfiehlt sich eine Abstraktion des komplexen Kanalnetzes auf ein schematisches Fließbild. Die im Projekt entwickelte Methodik erschließt durch die Reduktion des fein verästelten Kanalnetzes auf ein Grobnetz, bestehend aus Mischwasserhaltungen ab DN 800 und Schmutzwasserhaltungen ab DN 400, die Fließwege der Hauptsammler im Kanalnetz. Anhand dieser Abstraktion auf ein Grobnetz lässt sich das Gebiet in wesentliche Teileinzugsgebiete mit unterschiedlicher Charakteristik unterteilen. Die Ergänzung der relevanten Sonderbauwerke (Steuerung, Stauraum, Überlaufschwelle) erzielt ein Systemverständnis für Kanalnetzzusammenhänge bei verschiedenen Lastfällen.

In der Kombination der thematischen Schwerpunktbildung im Gebiet und dem erzeugten Kanalnetzverständnis liegt das Potential, die Schwachstellen zu analysieren, zu kategorisieren, Ursachen zu erkennen und geeignete Maßnahmen zur weitergehenden Betrachtung zuzuweisen.

3 Szenarientwicklung



Szenariotrichter

Um robuste Handlungsempfehlungen für die zukunftsorientierte Anpassung der Abwasserinfrastruktur aussprechen zu können, ist es wichtig, die Ungewissheit der zukünftigen Veränderung der Randbedingungen weitestgehend zu erfassen. Dazu ist es

zu empfehlen, neben der Betrachtung des Status quo, drei Zukunftsszenarien zu entwickeln, die durch Aufspannen eines „Szenariotrichters“ die Bandbreite möglicher zukünftiger Entwicklungen möglichst gut widergeben. Folgende Szenarien wurden in KURAS für das Fallbeispiel Berlin entwickelt:

1. *Status quo*: Betrachtung des Status quo (Ausbauzustand des Kanalnetz im Jahr 2020) mit einer für den Ist-Zustand repräsentativen Niederschlagsreihe sowie aktuellen demografischen und städtebaulichen Daten (Datenbasis 2013),
2. *Basis-Szenario 2050*: Betrachtung eines Entwicklungsszenarios entsprechend der mittleren Zukunftsprognose für Niederschlag, Einwohnerzahl, Wassergebrauchsverhalten und Stadtentwicklung für das Jahr 2050,
3. „*extremes*“ *Entwicklungsszenario Überlast (hohe Abflüsse und Starkregen)*: Betrachtung eines Entwicklungsszenarios entsprechend der abflussbegünstigenden, „oberen“ Zukunftsprognose für Niederschlag, Einwohnerzahl, Wassergebrauchsverhalten und Stadtentwicklung für das Jahr 2050,
4. „*extremes*“ *Entwicklungsszenario Unterlast (geringer Abfluss)*: Betrachtung eines Entwicklungsszenarios entsprechend der abflussarmen, „unteren“ Zukunftsprognose für Niederschlag, Einwohnerzahl, Wassergebrauchsverhalten und Stadtentwicklung für das Jahr 2050.

Nachfolgend wird die Ansatzwahl für die verschiedenen Szenarienbestandteile **Niederschlag**,

Einwohnerzahl, Wassergebrauchsverhalten und **Stadtentwicklung** beschrieben.

Niederschlag

Die Art der gewählten Niederschlagsbelastung variiert je nach betrachtetem Wirkungsfeld:

Betrachtung zu Mischwasserüberläufen und Kläranlagenablaufwerten

Zur Betrachtung der Auswirkungen zukünftiger Entwicklungen und Anpassungsmaßnahmen auf das Mischwasserüberlaufgeschehen und die Kläranlagenablaufwerte wurden 1-Jahres-Langzeitsimulationen durchgeführt. Für die verschiedenen Szenarien empfiehlt es sich aus einer modellgebietsnahen Niederschlagsreihe jeweils repräsentative Jahre zu ermitteln. Für das Status quo-Szenario wurde dazu das, bzgl. charakteristischer Eigenschaften, mittlere Jahr der Niederschlagsreihe ermittelt (**Tabelle 7** im Anhang). Für das Basis-Szenario 2050 wurden die charakteristischen Eigenschaften mithilfe eines Klimamodells (CLM) für das Jahr 2050 bestimmt und zur Auswahl eines zu-

künftigen mittleren Jahres aus der Niederschlagsreihe verwendet. Für die beiden „extremen“ Entwicklungsszenarien Überlast und Unterlast 2050 wurde jeweils das niederschlagsreichste bzw. das „trockenste“ Jahr aus der Niederschlagsreihe ausgewählt und für die Simulation als Niederschlagsbelastung angesetzt.

Betrachtung zu Kanalüberstauereignissen

Die Bewertung bezüglich des Kanalüberstaus erfolgte in allen Szenarien für den bemessungsrelevanten Modellregen ($n = 0,2/a$). In der Szenarienbetrachtung ändern sich nur die übrigen Randbedingungen.

Betrachtung zu Überflutungsgefährdung und -risiko

Die Bewertung bezüglich Überflutungsgefährdung und -risiko erfolgte in allen Szenarien für einen nach DWA-M 119 (Entwurf) definierten „außergewöhnlichen“ Starkregen ($n = 0,02/a$).

Einwohnerzahl

Für die Auswahl einer Prognose für die Entwicklung von Zukunftsszenarien zur Bevölkerungsentwicklung empfiehlt es sich, falls vorhanden, auf gebiets-spezifische Prognosen zurückzugreifen. Diese berücksichtigen lokale Geburten- und Sterberaten sowie Wanderungs- und Binnenwanderungsprognosen. Für das Modellgebiet im Fallbeispiel Berlin wurde die „Bevölkerungsprognose für Berlin und die Bezirke (2011-2030)“ (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt) verwendet. Diese auf das Modellgebiet abgestimmte Prognose, er-

stellt auf Grundlage der „lebensweltlich orientierten Räume“ (IoR), kann die jüngsten Veränderungen (z.B. Anstieg der Wanderungssalden) am besten berücksichtigen. Die Prognose spannt drei unterschiedliche Entwicklungspfade bis zum Jahr 2030 auf. Im Projekt wurde der obere Pfad für das Entwicklungsszenario „Überlast“, der mittlere Pfad für das Basisszenario und der untere Pfad für das Entwicklungsszenario „Unterlast“ verwendet. Die Pfade wurden aus Ermangelung längerer Prognosen von 2030 bis 2050 extrapoliert.

Wassergebrauchsverhalten

Um möglichst realitätsnahe Szenarien entwickeln zu können, sollte auch das lokale Wassergebrauchsverhalten sowie mögliche Änderungen berücksichtigt werden.

Für das Berliner Modellgebiet wurde das spezifische häusliche Schmutzwasseraufkommen und der dazugehörige Tagesgang für das Status quo-Szenario aus der mittleren gemessenen Trockenwetterfördermenge des Hauptpumpwerk Wilmersdorf (gelegen im Modellgebiet) im Jahr 2013 abzüglich des Gewerbeanteils und des Basisabflusses abgeleitet (spezifisches Schmutzwasseraufkommen: $132,3 \text{ L EW}^{-1} \text{ d}^{-1}$, Tagesspitzenfaktor: 1,82; Tagessenkenfaktor: 0,19).

Wie wird die Zukunft aussehen?

Für die Abschätzung des zukünftigen Berliner Wassergebrauchs wurde die entsprechende Prognose des Wasserversorgungskonzepts 2040 der Berliner Wasserbetriebe (Möller et al. 2008) verwendet. Für das Basis-Szenario 2050 wurde dem mittleren Pfad gefolgt, der eine Abnahme des spezifischen Berliner Schmutzwasseraufkommens um 14,8% (von 2006 bis 2040) vorsieht. Wenn man von der leichten Abweichung des Prognosezeitraumes absieht, lässt sich aus diesem Trend ein spezifisches Schmutzwasseraufkommen von $112,5 \text{ l/(E·d)}$ als Rechengrundla-

ge für das Basis-Szenario 2050 im Berliner Modellgebiet ableiten.

Da aus keiner Prognose eine Zunahme des spezifischen Wasserverbrauchs hervorgeht, wurde im Entwicklungsszenario Überlast keine Zunahme angesetzt. Es wurde von einem gleichbleibenden Wasserverbrauch ausgegangen ($132,3 \text{ l/(E·d)}$). Unter der Annahme gleich bleibender Schmutzfrachten wurden die Konzentrationen umgekehrt proportional zum veränderten Schmutzwasseraufkommen angepasst. Der Tagesgang des Schmutzwasseraufkommens und der Schmutzstoffkonzentrationen blieben dabei unverändert.

Für die weitere Effektbetrachtung und zum Erhalt des sensitiven Charakters der Untersuchungen wurde im Entwicklungsszenario Unterlast der aktuelle spezifische Wasserverbrauch der Stadt Leipzig angesetzt 86 l/(E·d) (Kommunale Wasserwerke Leipzig 2011). Unter der Annahme gleich bleibender Schmutzfrachten wurden die Konzentrationen umgekehrt proportional zum veränderten Schmutzwasseraufkommen angepasst. Der Tagesgang des Schmutzwasseraufkommens und der Schmutzstoffkonzentrationen blieben unverändert.

Angeschlossene Fläche

Da auch die angeschlossene Fläche einen Einfluss auf das Abwasseraufkommen eines Einzugsgebietes hat, sollte auch diese Größe in der Szenarientwicklung berücksichtigt werden.

Für das Modellgebiet in Berlin gibt es keine belastbaren Prognosen zur Flächennutzung im Jahr 2050,

daher wurde der Anteil der Dach- und Hofflächen proportional zur Bevölkerungsentwicklung angepasst. Die Szenarienerstellung auf Basis der Bevölkerungsentwicklung erfolgte unter Annahme eines konstanten Verhältnisses von Dach- und Hoffläche pro Kopf innerhalb der einzelnen Blockflächen. Mit-

hilfe dieses Verhältniswertes wurde dann über die jeweilige Bevölkerungszunahme in den Teilflächen die Flächenveränderung berechnet. Um den je nach Stadtstruktur unterschiedlichen Verhältniswerten Rechnung zu tragen, wurden diese nicht für das gesamte Modellgebiet fest gewählt, sondern aus dem Status quo auf Blockebene ermittelt. Die Flächenveränderung der Dach- und Hofflächen in den Zukunftsszenarien wurde dann über die Bevölke-

rungsentwicklung in der Blockfläche errechnet, die Grünfläche wurde entsprechend angepasst, den Straßenflächen wurde keine Veränderung unterstellt. Die errechneten Flächenveränderungen in den Blockflächen werden abschließend auf die im Kanalnetzmodell abgebildeten Teilflächen umgelegt. Somit ist eine Modellierbarkeit für die Abflusssimulation gewährleistet.

4 Vorgehen in den Wirkungsfeldern

Untersuchungen zum Wirkungsfeld „Überflutung“



Im Untersuchungsschwerpunkt „Überflutung“ wurden Anpassungsmaßnahmen zur Reduzierung der Überflutungsgefährdung und des Überflutungsrisikos (= Verschneidung

von Überflutungsgefährdung und Schadenspotenzial) anhand des Berliner Modellgebietes untersucht. Die Maßnahmen beinhalten sowohl eine Reduzie-

rung als auch die gezielte Leitung und Retention von überflutungsrelevanten Niederschlagsabflüssen auf der Oberfläche. Ergänzend wurde der Effekt von objektbezogenen Überflutungsschutzmaßnahmen untersucht.

Für die objektive Bewertung von Maßnahmen ist eine Definition quantitativer Bewertungsindikatoren erforderlich. In KURAS wurden die in

Tabelle 2: Bewertungsindikatoren für Anpassungsmaßnahmen zur Reduzierung von Überflutungsgefährdung und -risiko

Indikator	Kurzbeschreibung
Effektbereich „Überflutungsgefährdung“	
Gebäudewasserstand (Mittelwert, Median und Maximum) [cm]	Mittlerer / höchster Gebäudewasserstand, der sich im Untersuchungsgebiet für die gewählte Niederschlagsbelastung einstellt
Überflutungsgefährdung [Anzahl der Gebäude in GK 3 und 4]	Anzahl der Gebäude in Gefährdungsklasse 3 und 4 (=Wasserstand > 30 cm)
Effektbereich „Überflutungsrisiko“	
Überflutungsrisiko [Anzahl der Gebäude in RK 3 und 4]	Anzahl der Gebäude in Risikoklasse 3 und 4 (Definition Risikoklasse s.u.)

Zur Auswertung wurde der Gebäudewasserstand, definiert als maximaler Wasserstand an der Gebäudedekante, ermittelt. Zur gebäudebezogenen Gefährdungsklassifizierung anhand des Gebäudewasserstands empfiehlt sich die Nutzung des Vorschlags aus DWA-M 119 (Entwurf) (Tabelle 3). Das Überflu-

tungsrisiko bildet sich dabei aus der Verschneidung von Gefährdung und Schadenspotenzial nach Abbildung 2. In KURAS erfolgte die Klassifizierung des gebäudebezogenen Schadenspotenzials auf Grundlage der Gebäudenutzungsinformation

Tabelle 3: Vorschlag zur Festlegung von Gefahrenklassen in Abhängigkeit ermittelter Wasserstände an der Oberfläche aus DWA-Merkblatt 119 (DWA, 2015)

Gefahrenklasse	Überflutungsgefahr	Wasserstand
1	gering	< 10 cm
2	mäßig	10cm – 30cm
3	hoch	30cm – 50cm
4	sehr hoch	>50cm

$T_N = 30 \text{ a}$		Schadenspotenzial				$T_N = 50 \text{ a}$		Schadenspotenzial			
		gering	mäßig	hoch	sehr hoch			gering	mäßig	hoch	sehr hoch
Gefährdung	gering	gering	mäßig	mäßig	hoch	Gefährdung	gering	gering	gering	mäßig	mäßig
	mäßig	mäßig	mäßig	hoch	sehr hoch		mäßig	gering	mäßig	mäßig	hoch
	hoch	mäßig	hoch	sehr hoch	sehr hoch		hoch	mäßig	mäßig	hoch	sehr hoch
	sehr hoch	hoch	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch		sehr hoch	mäßig	hoch	sehr hoch	sehr hoch

Abbildung 2: Verknüpfung der Bewertungen Überflutungsgefährdung und Schadenspotenzial zum Überflutungsrisiko für verschiedene Niederschlagsbelastungen nach dem Vorschlag aus DWA-Merkblatt 119 (Entwurfassung) (DWA, 2015)

Für die Untersuchung von Anpassungsmaßnahmen für das Wirkungsfeld „Überflutung“ hat sich in KURAS folgende Schrittfolge bewährt:

1. Erhebung und Modellierung des Ist-Zustands
2. Analyse des Istzustands
3. Lokalisierung und Modellierung von Maßnahmen
4. Genaue Quantifizierung der Maßnahmenwirkung

Für eine detaillierte *Modellierung des Istzustands* (Schritt 1) empfiehlt sich die Nutzung einer 1D/2D Abflusssimulation. In KURAS wurde dafür innerhalb eines Schwerpunktbereiches aus der Schwachstellenanalyse ein hydrologisch abgegrenztes Teilgebiet ausgewählt. Hierfür wurde ein Oberflächenmodell mithilfe der Shewchuk-Triangulation aus einem digitalen Geländemodell (DGM1) erzeugt. In diesem wurden Gebäude als Fließhindernisse definiert, Bordsteinkanten modelliert sowie flächenspezifische Oberflächenrauheiten berücksichtigt. Die Kopplung zwischen dem 1D-Kanalnetzmodell und dem 2D-Oberflächenmodell findet über die Schächte statt. Der Niederschlagsabfluss von Dachflächen

wird direkt in das 1D-Kanalnetzmodell konzentriert, die übrigen Flächen werden im 2D-Oberflächenmodell direkt berechnet. Ein Rückstau aus dem Gesamtnetz in den betrachteten Detailbereich wird abgebildet.

Zur *Analyse des Istzustands* (Schritt 2) wurde das Modell des Ist-Zustands mit einem Modellregen der Dauer $D = 60$ Minuten und der Niederschlagshöhe $h_N = 57,2 \text{ mm}$ ($T_N = 50\text{a}$) belastet. Die Analyse des Ist-Zustands wurde mithilfe der beschriebenen Bewertungsindikatoren durchgeführt.

Nach Auswertung der maximalen Wasserstände aus der Simulation des Ist-Zustands und des Abflussvorgangs an der Oberfläche wurden unter Berücksichtigung der Potenzialanalyse aus dem KURAS Schwerpunkt „Regenwasserbewirtschaftung“ *Maßnahmen der gezielten Leitung und Retention verortet und durch Anpassung des Oberflächenmodells modelliert* (Schritt 3) (z.B. Einebnung für Mulden/Parkplatzabsenkungen, Anhebung für Schwellen). Die Maßnahmen der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung (Dachbegrünung, Muldenver-

sickerung) wurden wie in den übrigen Untersuchungen modelliert. Maßnahmen des objektbezogenen Überflutungsschutzes wurden an Gebäuden mit Risikoklasse 3 bzw. 4 verortet. Zur Modellierung einer objektbezogenen Schutzmaßnahme wurde an den betreffenden Gebäuden die Schadenspotenzialklasse auf Klasse 1 verringert.

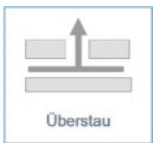
Die *Quantifizierung der Maßnahmenwirkung* (Schritt 4) wurde analog zur Analyse des Istzustands

mithilfe der beschriebenen Bewertungsindikatoren durchgeführt.

Dafür war folgende Datengrundlage notwendig:

- Digitales Geländemodell (DGM1 empfohlen)
- Kanalnetzmodell (Feinnetz)
- Digitale Geoinformationen zu Gebäuden und Flächenarten sowie abflussbeeinflussenden Strukturen (Bordsteinkanten)
- Gebäudenutzungsdaten zur Abschätzung der Schadenspotenzialklassen

Untersuchungen zu den Wirkungsfeldern „Überstau“ und „Mischwasserüberläufe“



In den Untersuchungsschwerpunkten „Überstau“ und „Mischwasserüberläufe“ wurden Anpassungsmaßnahmen zur Reduzierung von Überstau und Mischwasserüberläufen untersucht. Die Maßnahmen beinhalten sowohl eine Reduzierung des Niederschlagsabflusses, z.B. durch Versickerung, als auch eine verbesserte Bewirtschaf-

tung der Mischwasserkanalisation, z.B. durch die Aktivierung von zusätzlichem Stauraum.

Für die objektive Bewertung von Maßnahmen ist eine Definition quantitativer Bewertungsindikatoren erforderlich. In KURAS wurden die in Tabelle 4 zusammengefassten Bewertungsindikatoren für die Wirkungsfelder Mischwasserüberläufe und Überstau verwendet.



Tabelle 4: Bewertungsindikatoren für Anpassungsmaßnahmen zur Reduzierung von Mischwasserüberläufen und Überstau

Indikator	Kurzbeschreibung
Wirkungsfeld „Mischwasserüberläufe“	
Überlaufvolumen [m³]	Gesamtvolumen des Mischwassers, das über alle Regenüberläufe entlastet wird
Überlaufdauer [h]	Gesamtdauer, während der es an mindestens einem Regenüberlauf zur Mischwasserentlastung kommt
Entlastungsspitze [m³/s]	Spitzenentlastungsrate aufsummiert über die drei Mischwasserauslässe ins Gewässer; enthält auch den Niederschlagsabfluss der Trenngebiete
Überlaufhäufigkeit [-]	Anzahl der Ereignisse, bei denen es an mindestens einem Regenüberlauf zur Entlastung kommt; Trenndauer: 6h
Schmutzfracht [kg]	Gesamtschmutzfracht, die über alle Regenüberläufe entlastet wird, wird separat für BSB ₅ , CSB und NH ₄ -N berechnet
Wirkungsfeld „Überstau“	
Anzahl überstauter Schächte [-]¹	Anzahl der Schächte, an denen es im Untersuchungszeitraum zum Überstau kommt, d.h. Wasserstand über Geländeoberkante
Überstauintegral [m*s]¹	Überstauhöhe (in Meter über GOK) integriert über die Zeit (in Sekunden) aufsummiert über alle Schächte im Einzugsgebiet

¹ wird unterteilt nach Schadenspotenzialklassen (SPK). SPK0: keine Bebauung im Umkreis von 50 m (Freiflächen, Parks, ...); SPK1: nur Gebäude ohne besondere Nutzung im Umkreis von 50 m; SPK2: Gebäude mit erhöhten materiellen Werten im Umkreis von 50 m (Bibliotheken, Labore, ...); SPK3: Gebäude mit Gefahr für Leib und Leben im Umkreis von 50 m (Kitas, Krankenhäuser, Tiefgaragen, ...).

Für die Untersuchung von Anpassungsmaßnahmen im Wirkungsbereich des Kanalnetzes empfehlen sich hydrodynamische Niederschlags-Abfluss- und Schmutzfrachtmodelle (in KURAS: InfoWorks CS). Entscheidend für die Güte und Zuverlässigkeit des Modells ist eine sorgfältige Kalibrierung und Validierung anhand von Messdaten für Abwassermenge und -qualität. Die Messdaten sollten nach Möglichkeit an verschiedenen Punkten im Kanalnetz aufgenommen werden und mehrere Trockenwettertage sowie möglichst unterschiedliche Regenereignisse enthalten. In KURAS erfolgte die Modellkalibrierung auf Grundlage von kontinuierlichen Durchflussmessungen sowie Zwei-Stunden-Mischproben zur Wasserqualität für vier Trockenwettertage (am Hauptpumpwerk). Für die Regenwettersituation wurden kontinuierliche Durchfluss- und Wasserstandsmessungen für sieben Regenereignisse unterschiedlicher Intensität und Dauer verwendet (an verschiedenen Bauwerken). Für die Validierung standen Messdaten für drei weitere Regenereignisse zur Verfügung. Für die Schmutzfracht aus dem Regenabfluss wurde auf die Parametrisierung des kalibrierten Modelles eines benachbarten Einzugsgebiets zurückgegriffen, da hier keine eigenen Daten erhoben werden konnten.

Für die Untersuchung von Anpassungsmaßnahmen hat sich in KURAS folgende Schrittfolge bewährt:

1. Erhebung des Istzustands,
2. Potenzialabschätzung zu Maßnahmen,
3. Lokalisierung und Dimensionierung von Maßnahmen,
4. Genaue Quantifizierung der Maßnahmenwirkung.

Die *Erhebung des Istzustands* (Schritt 1) erfolgte anhand von Modellberechnungen für das Nieder-

schlagsjahr 1990 (für Mischwasserüberläufe) und einem 5-jährlichen Modellregen (Euler Typ II) der Dauer 60 Minuten (für die Überstausituation). Das Niederschlagsjahr 1990 wurde ausgewählt, weil es die Niederschlagseigenschaften der Status-Quo-Periode (1981 bis 2010) am besten widerspiegelt (siehe Tabelle 7 im Anhang). Der 5-jährliche Modellregen ist für das Untersuchungsgebiet (Stadtzentrum im Bestand) nach DIN EN 752 bemessungsrelevant.

Die *erste Abschätzung des Potenzials* einer Vielzahl von Maßnahmen (Schritt 2) erfolgte mit Hilfe von Betriebs- und Geo-Daten sowie den Simulationsdaten für den Istzustand. Die Arbeiten dienten einer ersten Priorisierung sowie dem Ausschluss von Maßnahmen ohne nennenswertem Potenzial.

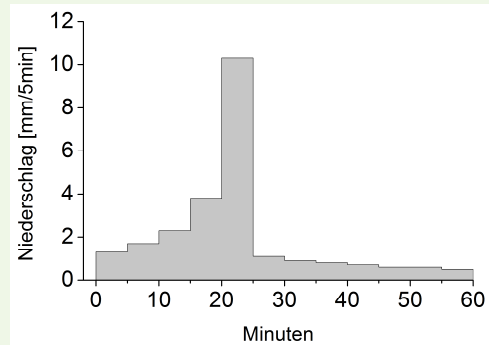
Die *Lokalisierung und Dimensionierung* ausgewählter Maßnahmen (Schritt 3) erfolgte anhand von Modellberechnungen für die Modellregen der Häufigkeiten $n = 4/a, 2/a, 1/a, 0,5/a, 0,33/a$ und $0,2/a$ (Dauer: 60 min, Euler Typ II). Die Untersuchungen sollten beispielsweise zeigen, an welchen Standorten zusätzlicher Stauraum die größte Wirkung entfaltet oder wie ein variables Wehr gesteuert werden muss, um im Niederschlagsfall den besten Rückhalt zu bieten.

Die *Wirkung der lokalisierten und dimensionierten Maßnahmen* (Schritt 4) wurde analog zu Schritt 1 anhand von Modellberechnungen für das Niederschlagsjahr 1990 (für Mischwasserüberläufe) und den 5-jährlichen Modellregen (für die Überstausituation) quantifiziert.

Tabelle 5 und Abbildung 3 geben einen Überblick über die sechs Modellregen und deren zeitlichen Verlauf.

Tabelle 5: Charakteristik der sechs Modellregen

Häufigkeit [1/a]	Niederschlag [mm]	Regenspende _{smin} [L/s,ha]
4	7,9	86
2	11,8	146
1	15,7	207
0,5	19,3	263
0,33	21,8	300
0,2	24,6	343


Abbildung 3: zeitlicher Verlauf des Modellregens der Häufigkeit $n = 0,2/a$

Zur systematischen und reproduzierbaren Auswertung der Modellergebnisse, insbesondere zur Quantifizierung der Bewertungsindikatoren, wird die Verwendung von Skriptsprachen wie „R“ empfohlen. Der Einsatz von herkömmlichen Tabellenkalku-

lations-Programmen ist aufgrund der großen Datenmenge und der hohen Anzahl an Simulationsläufen nur bedingt geeignet. Für die örtliche Beurteilung der Überstausituation ist die Verwendung eines GIS-Systems sinnvoll.

Untersuchungen zum Wirkungsfeld „Ablagerungen in Kanälen“



Die Grundlage von Untersuchungen zum Verhalten des Kanalnetzes bei Unterlast liefert die in Kapitel B 2 angesprochene Datenverfügbarkeit zum Entwässerungsgebiet

anhand eines GIS-Systems und einem Kanalnetzmodell zur Simulation hydraulischer Systemzustände im Trockenwettertagessgang.

Für die Untersuchung von Anpassungsmaßnahmen für den Lastfall Unterlast hat sich in KURAS folgende Schrittfolge bewährt:

1. Identifikation von Unterlastschwerpunkten im Istzustand,
2. Auswahl und Potenzialabschätzung von Maßnahmen
3. Lokalisierung und standortbezogene Dimensionierung von Maßnahmen,
4. Genaue Quantifizierung der Maßnahmenwirkung.

Aufbauend auf der dargestellten Methode zur Bestandsanalyse sind über die Schwachstellenkarten und die haltungsscharfe Kanalnetzanalyse-Methode *Unterlastschwerpunkte zu identifizieren* (Schritt 1). Eine Differenzierung erfolgte anhand hydraulischer Grenzwerte für ablagerungsfreien Betrieb. Die Schwachstellenanalyse betreffender Schwerpunkte vermittelt ein standortbezogenes Verständnis zu Ursache und Wirkung der Unterlastausprägung. Neben der theoretischen Betrachtung der Schwerpunkte helfen ortsbezogene Begehungen, die Datenlage der Unterlastherausforderung sowie der Strömungsverhältnisse zu validieren.

In schwer bzw. nicht zugänglichen Bereichen wie Dükern oder Abwasserdruckleitungen, die sich aufgrund der hydraulischen Situation häufig als Unterlastschwerpunkt herausstellen, wird eine messtechnische Erfassung der Problematik empfohlen, siehe Tabelle 6.

Tabelle 6: Übersicht der messtechnischen Erfassung für schwer zugängliche Bereiche

Düker	Eine Durchfluss- und Füllstandsmessung im Zulauf kann wertvollen Aufschluss zur Dükerhydraulik in unterschiedlichen Lastfällen liefern
Abwasserdruckleitung	Die Zugabe eines Tracer-Farbstoffes im Pumpwerk und die Detektion der Transportzeit bis zum Ende der Druckleitung kann unter Berücksichtigung des Pumpwerkförderstromes und der theoretischen Verweilzeit bei ablagerungsfreiem Rohrdurchmesser schnell und einfach Aufschluss über den Zustand in der Abwasserdruckleitung geben.
	Die Parallelbeprobung des Zu- und Abflusses von langen Abwasserdruckleitungen und entsprechende Abwasseranalytik ist etwas aufwändiger, hat sich jedoch als potente Methode herausgestellt, um über eine Bilanzierung des In- und Outputs bei verschiedenen Förderströmen das Sedimenttransportverhalten und biogene Abbauprozesse in verschiedenen Lastfällen zu beleuchten

Anhand der Kenntnis zum Systemverhalten, Ursache und Wirkung der standortbezogenen Unterlastausprägung sind *Maßnahmen auszuwählen* (Schritt 2). Grundsätzlich lassen sich zwei verschiedene Maßnahmentypen zum Umgang mit kritischem Feststofftransportverhalten bei Unterlast differenzieren.

- I) Maßnahmen zur Verbesserung der hydraulischen Zustände im Trockenwettertagesgang, die eine Sedimentation vermeiden/verhindern.
- II) Maßnahmen zur regelmäßigen vorausschauenden automatisierten Spülung ablagerungskritischer Bereiche, die zu einer Remobilisierung vorhandener Ablagerung führen.

Anschließend empfiehlt sich eine Priorisierung der Maßnahmen durch Fachpersonal anhand einer Potentialabschätzung.

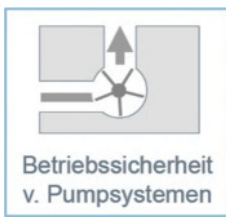
Im nächsten Schritt werden die ausgewählten Maßnahmen den Schwerpunkten inkl. Einsatzbereich zugeordnet (*Lokalisierung und Dimensionierung von Maßnahmen*, Schritt 3). Neben der angesprochenen Differenzierung der Maßnahmen anhand des Wirkprinzips zur Vermeidung oder Remobilisierung von Ablagerungen lässt sich eine Maßnahmenzuordnung gemäß den Einsatzbereichen Anfangshaltung (<DN400), Hauptsammler (DN 400-1000), Großprofil (>DN 1000) und Sonderbauwerke (Düker, Stauraum etc.) unterscheiden.

Die Untersuchung der Maßnahmeneffekte (Schritt 4) erfolgte in KURAS standortbezogen über Modellierung und Simulation im Kanalnetzmodell mit InfoWorks CS. Da nach dem aktuellen Stand der Technik die modelltechnische Abbildung zum Transportverhalten partikulärer Stoffe mangels zuverlässiger Kalibrierung mit vielen Unsicherheiten verbunden ist, empfiehlt sich die Bewertung des Sedimenttransportverhaltens anhand hydraulischer Parameter.

Entsprechend wurden die folgenden Bewertungskriterien für die Maßnahmen entwickelt/verwendet.

- I) Maßnahmen, die die Bildung von Ablagerungen vermeiden sollen, wurden anhand von Grenzwerten für ablagerungsfreien Betrieb im Trockenwettertagesgang bewertet. Maßgebend hierfür sind die Regeln des Arbeitsblattes DWA A110 zur Einhaltung der erforderlichen Mindestschubspannung ($\tau_{\min} = 3,4 \cdot Q^{1/3} > 1 \text{ N/m}^2$) für mindestens 8 Stunden am Tag.
- II) Maßnahmen zur regelmäßigen, automatisierten Spülung ablagerungskritischer Bereiche wurden anhand von Grenzwerten zur Remobilisierung vorhandener Ablagerungen bewertet. Maßgebend hierfür ist die erforderliche Mindestschubspannung von $\tau_{\min} > 3 \text{ N/m}^2$ einer Spülwelle.

Untersuchungen zum Wirkungsfeld „Erhöhung der Betriebssicherheit von Abwasserpumpsystemen“



Für ein bestehendes Abwasserpumpsystem kann über eine Systemanalyse identifiziert werden, welche Systemkomponenten zu einem Versagen des Gesamtsystems

führen können. Für die einzelnen Elemente können weitergehend Fehlerursachen und Auftretenswahrscheinlichkeit sowie Konsequenz von Fehlerzuständen als Risiko zusammengeführt werden. Damit kann ermittelt werden, wo Maßnahmen zur Erhöhung der Betriebssicherheit von Abwasserpumpsystemen ansetzen müssen. Eine der häufigsten Störungen in Abwasserpumpsystemen, sind sogenannte Pumpenverstopfungen, so auch im Berliner Modellgebiet in KURAS. Zur Reduzierung des Risikos durch Pumpenverstopfungen können Maßnahmen auf die Verstopfungsursachen und damit auf die Auftretenswahrscheinlichkeit abzielen, oder als aktive Gegenmaßnahme die Konsequenz, also die Verstopfung selbst, bekämpfen. Beide Maßnahmentypen wurden in KURAS untersucht.

Möglichkeiten zur Reduzierung der Auftretenswahrscheinlichkeit:

- Vermeidung von Sedimentation in Schachtpumpwerken und Saugräumen
- Vermeidung von Akkumulation von Faserstoffen
- Zerstörung von Schwimmdecken

Möglichkeiten zur Bekämpfung der Konsequenz:

- Aktive Maßnahmen gegen Pumpenverstopfung

Vermeidung von Sedimentation, Faserakkumulation und Schwimmdecken

Schachtpumpwerke werden aktuell mit radialem Zulauf und verschiedenen Bermenformen ausgeführt. Über Modellversuche kann gezeigt werden, dass ablagerungsfreier Betrieb oft nicht möglich ist. Schwachstellen sind häufig Textilansammlungen auf den Pumpen, bedingt durch den radialen Zulauf, und Sedimentationszonen im Bereich neben den Fußkrümmern, wo das Material nicht von den Pumpen angesaugt werden kann. Über eine tangential

Zuführung des Abwassers in den Pumpensumpf können die Faserstoffablagerungen auf den Pumpen vermieden und Sedimentationszonen aus dem Bereich der Fußkrümmen in den vorderen Bereich der Schachtsohle verschoben werden. Über optimierte Bermenkonturen können Ablagerungszonen weiter ins Zentrum der Schachtsohle verlagert werden, wo die Sedimente über die Pumpen abtransportiert werden können. Bei großen Saugräumen ist ein ablagerungsfreier Betrieb im kontinuierlichen Betrieb nicht möglich. Zusätzlich bilden sich über die große freie Oberfläche häufig Schwimmdecken aus. Sedimentation und Schwimmdecken müssen in diesem Fall über Saugraum-Spülprogramme aktiv bekämpft werden. Über eine an die tatsächlichen Strömungsbedingungen angepasste Saugraumgeometrie wird die Wirkung von Spülprogrammen zur Bekämpfung von Sedimentation und Schwimmdecken unterstützt.

Aktive Gegenmaßnahmen gegen Pumpenverstopfung

Pumpenausfälle aufgrund von Pumpenverstopfungen können über aktive Gegenmaßnahmen vermieden werden. Dafür muss eine anbahnende Pumpenverstopfung über eine Sensorik erkannt werden und eine Eingriffsmöglichkeit zur Verfügung stehen. Für die Verstopfungserkennung müssen die Betriebsparameter der Pumpe überwacht werden, primär die Förderhöhe und der Förderstrom, bei drehzahlgezieltem Betrieb auch die Pumpendrehzahl. Stehen diese Informationen nicht zur Verfügung können je nach eingesetztem Pumpentyp unter Umständen auch die Leistungsaufnahme oder die Stromaufnahme herangezogen werden. Alternativ ist eine Verstopfungserkennung mit nur einem Messsignal über zeitlich-hochaufgelöste Druckmessungen und mit anschließender Frequenzanalyse möglich. Auftretende Pumpenverstopfungen können beispielsweise über eine Reinigungssequenz bekämpft werden. Dabei wird im Verstopfungsfall über einen parametrisierten Frequenzumrichter eine Drehzahlsequenz abgefahren, wobei das Verstopfungsmaterial durch eine Drehzahl- und Drehrich-

tungsvariation des Pumpenlaufrads zerkleinert und abgefördert wird. In KURAS wurde die Maßnahme in einem großen Pumpwerk implementiert und unter realen Betriebsbedingungen über mehrere Monate erfolgreich getestet.

Über das Zusammenwirken aus der Bekämpfung von Sedimentation im Pumpensaugraum und dem Einsatz von gezielten Gegenmaßnahmen an der Pumpe, kann die Betriebssicherheit von Abwasserpumpensystemen erhöht werden.

Untersuchungen zum Wirkungsfeld „Verbesserung der Ablaufwerte der Kläranlage“



Für eine Analyse der Effekte von Maßnahmen an der Oberfläche, im Kanalnetz und der Kläranlage auf die Kläranlage selbst und deren Ablaufwerte, ist ein geeignetes Simulationsmodell der Kläranlage aufzubauen.

Ausgehend von der Definition der Zukunftsszenarien sowie unter Einbeziehung der Resultate der Kanalnetzsimulationen ist die Kläranlage dynamisch zu simulieren.

Eine dynamische Simulation ist erforderlich, da zum einen die Auswirkungen erhöhter Mischwasserbelastungen betrachtet werden sollen und zum anderen, da Steuerungs- und Regelungskonzepte eine wesentliche Rolle für die Adaption an zukünftige Entwicklungen spielen. Als Bewertungsindikatoren wurden – entsprechend ihrer Bedeutung im Rahmen der Abwasserverordnung und gemäß der Berechnung der Abwasserabgabe die Spitzenwerte der Ablaufkonzentrationen von CSB (Chemischer Sauerstoffbedarf), N_{ges} (Gesamtstickstoff) und Ammoniumstickstoff (NH_4-N) definiert. Als Modellierungsgrundlage wird das Activated Sludge Model No. 3 der IWA (International Water Association) empfohlen, das mit seiner Parametrierung nach dem Hochschulgruppenansatz (vgl. Ahnert et al., 2015) mit den in Deutschland geltenden Bemessungsrichtlinien der DWA-A131 kompatibel ist. In KURAS hat

sich der Simulator Simba# bewährt, in welchem das besagte Activated Sludge Model sowie geeignete Modelle für Vor- und Nachklärbecken implementiert sind. Zum Modellaufbau wird selbstverständlich die Anlagenkonfiguration als bekannt vorausgesetzt. Des Weiteren müssen zu ihrer Nachbildung im Basisszenario die derzeit eingesetzte Ist-Regelung, sowie etwaige zukünftige Steuerungs- und Regelungskonzepte bekannt sein. Der Kläranlagenzulauf ergibt sich aus den Ergebnissen der Kanalsimulation. Als Minimalinformation über die Abwasserzusammensetzung werden Abfluss- und Konzentrationszeitreihen (CSB, TKN, P) über den zu simulierenden Zeitraum vorausgesetzt. Diese können aus den Resultaten der Kanalnetzsimulation übernommen werden.

In einem ersten Schritt empfiehlt es sich, die Auswirkungen der entwickelten Anpassungsstrategien auf die Zulaufwerte und Ablaufwerte der Kläranlage zu simulieren. Dies erlaubt eine Abschätzung darüber, ob sich Maßnahmen an der Oberfläche oder im Kanalnetz negativ auf das Subsystem Kläranlage auswirken. In einem zweiten Schritt können dann betriebliche und bauliche Maßnahmen auf der Kläranlage simuliert und bewertet werden, um die Anpassungsfähigkeit des Kläranlagenbetriebs auf die unterschiedlichen Zulaufbedingungen zu testen.

5 Kombination der Maßnahmen und Bewertung der Maßnahmenkombinationen

Um integrierte Anpassungsstrategien entwickeln zu können, die mit lokalen Anforderungen verknüpft sind, ist es nach der Einzelmaßnahmenuntersuchung notwendig, diese zu

Maßnahmenkombinationen zu kombinieren. Die Maßnahmenkombinationen müssen integriert betrachtet und bewertet werden, um positive und negative Neben-

Von individuellen Maßnahmen zur Anpassungsstrategie

effekte von Maßnahmen innerhalb des Abwassersystems (z.B. Veränderung der Ablaufwerte am Klärwerk durch Maßnahmen an der Gebietsoberfläche oder im Kanalnetz) zu identifizieren. Als Rahmenbedingungen für die Modellierung der Maßnahmenkombinationen im Gesamtsystem sollten die entwickelten Szenarien zugrunde gelegt werden. So kann die Effektivität der Maßnahmenkombinationen auch für variable zukünftige Rahmenbedingungen bewertet werden.

In KURAS wurden sieben Maßnahmenkombinationen für das Fallbeispiel Berlin entwickelt. Diese zielen entweder auf die Verbesserung eines bestimmten Wirkungsfeldes ab (z.B. Reduzierung von

Mischwasserüberläufen) oder auf eine Gesamtsystemoptimierung mit unterschiedlichem zeitlichen Umsetzungsrahmen (langfristig und mittelfristig). Durch eine unterschiedliche Fokussierung der Maßnahmenkombinationen können sowohl gewünschte Prioritäten als auch das gesamte Abwassersystem bearbeitet und angepasst werden.

Es empfiehlt sich, die Wirkung der Maßnahmenkombinationen durch eine Simulation im Gesamtmodell für das Kanalnetz (zur Ermittlung der kanalnetzbezogenen Indikatoren) und die Kläranlage (zur Ermittlung der kläranlagenbezogenen Indikatoren) zu bewerten (in KURAS mit Infoworks CS und SIMBA#).

6 Berücksichtigung von Kosten, Ungewissheiten und Risiken

Zur Formulierung von robusten Handlungsempfehlungen sollten neben einer Effektbewertung auch eine Kostenbewertung sowie eine Stär-

ken/Schwächenanalyse der Anpassungsstrategien erfolgen.

Kostenbewertung der untersuchten Maßnahmen und Maßnahmenkombinationen

Es empfiehlt sich eine Kostenbewertung der Maßnahmen/ Maßnahmenkombination hinsichtlich der notwendigen Investition und Betriebskosten sowie des resultierenden Effektes nach der Realisierung. Grundsätzlich erfordert die Ermittlung der Investitionskosten die präzise Kenntnis über die Maßnahme selbst, die Kostenstrukturen des Abwasserentsorgers sowie das jeweilige Einzugsgebiet. Je detaillierter die Informationen über die Maßnahme und den Einsatzort sind, desto genauer ist das Ergebnis der Kostenbetrachtung. Die Anlagen- und Materialkosten können bei externen Lieferanten bzw. bei internen Unternehmensbereichen erfragt werden. Die Einbau-/ Installationskosten können durch Referenzkosten in Erfahrung gebracht werden. Die Anforderungen durch das Einzugsgebiet müssen bei der Kostenbetrachtung bekannt sein, da jeder Standort unterschiedliche Charakteristika aufweist und somit die Maßnahmenstandorte teilweise individuell geprüft werden. Dies ist insofern wichtig, wenn eine Hochrechnung auf das Einzugsgebiet erfolgen soll.

Eine umfassende Bewertung ist notwendig

Bei Maßnahmenkombinationen muss gegebenenfalls überprüft werden, ob sich Synergien ergeben.

Betrachtet man die Maßnahmen über einen längeren Zeitraum, ist es notwendig, die Nutzungsdauern der DWA Leitlinien zur

Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien) zu berücksichtigen.

Die monetäre Bewertung des Effektes durch Maßnahmenrealisierung sollte unter verschiedenen Gesichtspunkten erfolgen, je nach bewirktem Effekt: In KURAS wurden Maßnahmen welche zur Verbesserung der Unterlastsituation der Kanalisation beitragen sollen, entsprechend ihrer Verminderung des Reinigungsaufwandes bewertet. Hierzu sind Kosten über die aktuellen Reinigungsleistungen der Kanalisation notwendig. Die Bewertung einer Überflutungsreduzierung erfolgte durch Auswertung u.a. von Versicherungsstatistiken und wurde den durch Simulation ermittelten verringerten Wasserständen an Gebäuden gegenüber gestellt. Die monetäre Bewertung der Reduzierung der jährli-

chen Frachten von Mischwasserüberläufen durch die Maßnahmen/ Maßnahmenkombination erfolgte in KURAS unter der Annahme, innerstädtische Mischwasserüberläufe und deren Schadfrachten gleich zu bewerten wie Überschreitungen der

Überwachungswerte von Kläranlagen. Die Reduzierung von Pumpenstörungen wurde in KURAS experimentell ermittelt. Die Reduzierung konnte daher direkt auf die Kosten von Pumpenentstörung übertragen werden.

Zukunftssicherung der untersuchten Maßnahmen durch Risiko-Analyse

Um für die ermittelten Maßnahmen und Maßnahmenkombinationen Risiken bei ihrer Umsetzung gering zu halten, wird die Durchführung einer Risikoanalyse empfohlen. Diese dient zum einen zur Identifikation von Risiken und der Ableitung von Maßnahmen zu ihrer Vermeidung bzw. Reduktion. Zum anderen dient die Analyse zur Schärfung des Bewusstseins für potenzielle Risiken bei der Maßnahmenumsetzung. Als ein praktikables (aufwandsarmes, doch zugleich aussagekräftiges) Verfahren wird hier eine Adaption der Risikoanalyse nach DWA-M180 vorgeschlagen: Die jeweiligen Experten aus den Bereichen Oberfläche, Kanalnetz, Pumpen

und Kläranlage werden gebeten, denkbare Schadensereignisse aufzulisten und für jedes dieser Ereignisse – aus ihrer Erfahrung und Sachkenntnis heraus - einen „Wahrscheinlichkeitswert“ (W) und einen „Bedeutungswert“ (B) – jeweils zwischen 1 und 10 – abzuschätzen. Deren Produkt ergibt jeweils den „Risikowert“ (R), der somit zwischen 1 und 100 liegt. Eine anschließende Sortierung nach diesem Risikowert erlaubt es, die risikorelevantesten Schadensereignisse auf einen Blick zu identifizieren und für diese geeignete Bewältigungsmaßnahmen abzuleiten.

Zukunftssicherung der untersuchten Maßnahmen durch SWOT-Analyse

Da, trotz aller fundierten Untersuchungen und Abschätzungen, sich zukünftige Entwicklungen nicht zweifelsfrei vorhersagen lassen, ist es von großer Bedeutung, Maßnahmen und Maßnahmenkombinationen so zu gestalten, dass diese einen hohen Grad von Resilienz aufweisen, d.h. dass sie sich an sich verändernde Randbedingungen anpassen lassen. Als ein unterstützendes Hilfsmittel hierbei wird eine SWOT-Analyse empfohlen. In einem ersten Schritt werden mögliche Stärken und Schwächen des Abwassersystems und der Maßnahmen (als interne Einflussgrößen des Systems) sowie potenzielle Chancen und Bedrohungen (als externe Einflussgrößen des Systems) aufgelistet. Der Name „SWOT“ rührt aus den englischen Begriffen hierfür (Strengths-Weaknesses-Opportunities-Threats). Als zweiter Schritt wird überlegt, wie sich die Kombinationen aus diesen Einflussgrößen nutzbar machen lassen und es werden entsprechende Strategien abgeleitet:

- **Umwandlungsstrategie** – als Kombination aus inneren Schwächen und externer Chancen
- **Neutralisierungsstrategie** – als Kombination aus inneren Stärken und externen Bedrohungen
- **Verteidigungsstrategie** – als Kombination aus inneren Schwächen und externen Bedrohungen

Es empfiehlt sich, beide Teile der SWOT-Analyse als Workshop mit offener Diskussion zu gestalten. Bei den im KURAS-Projekt durchgeführten SWOT-Analysen ergaben sich engagierte Diskussionen unter Mitwirkung auch sonst stillerer Beteiligter, und es wurden Gedanken und Ideen geäußert, die anderenfalls möglicherweise unberücksichtigt geblieben wären. Insgesamt hat die SWOT-Analyse also einen doppelten Nutzen: neben der Ableitung der o.g. Strategien zur Erhöhung der Resilienz des Abwassersystems und der Maßnahmenpakete auch die aktive Einbeziehung aller Beteiligten und Berücksichtigung weiterer Aspekte.

Ergebnisse der im Rahmen der KURAS-Methodik durchgeführten Risiko- und SWOT-Analyse sind im

Katalog *Zukunftsorientierte Anpassung der urbanen Abwasserinfrastruktur – Maßnahmenkombinationen*

nen aufgeführt.

7 Handlungsempfehlungen und Fazit

Durch Anpassungsmaßnahmen in der Abwasserinfrastruktur, und deren integrierte Bewertung und Kombination, lassen sich negative Auswirkungen wie Mischwasserüberläufe, der Überstau der Kanalisation und erhöhte Ablaufwerte auf der Kläranlage deutlich vermindern. So konnte in KURAS für das Fallbeispiel Berlin mit denen im Rahmen der KURAS-Methode gewählten Maßnahmen und Maßnahmenkombinationen jedes prioritäre Wirkungsfeld verbessert oder sogar behoben werden.

Die integrierte, skalenübergreifende Betrachtung von Maßnahmen des Abwassermanagements führt zu

- I) **der Berücksichtigung und Bewertung von Effekten, die über die primären Ziele der Einzelmaßnahmen hinausgehen,**
- II) **der Nutzung von entstehenden Synergien und der Vermeidung von negativen Wechselwirkungen von Teilsystemen sowie**

- III) **einer verbesserten Anpassung urbaner Abwassersysteme an den Veränderungsdruck, wie die Folgen des Klimawandels, demographische Entwicklungen und das sich ändernde Wassergebrauchsverhalten.**

Die in KURAS entwickelte Methode zur Erstellung und Bewertung von Maßnahmenkombinationen für das Abwassersysteme ist übertragbar auf andere Städte und erlaubt eine gezielte Auswahl von sehr unterschiedlichen Anpassungsstrategien hinsichtlich konkreter Problemstellungen. Sie kann damit als Tool und Entscheidungshilfe einer integrierten Planung für Städte genutzt werden. Angesichts des erwartbaren Veränderungsdrucks sollte die Methodik jedoch frühzeitig genutzt werden, um Maßnahmen und Anpassungsstrategien möglichst rechtzeitig in den Planungsprozess aufzunehmen, verbunden mit dem Ziel, die Kosten für Sanierung und Anpassung aufeinander abzustimmen.

ANHANG

Tabelle 7: Niederschlagseigenschaften für die Status-Quo-Periode 1981-2010 und das repräsentative Jahr 1990

Niederschlagseigenschaft	Ø 1981-2010	1990
Jahresniederschlag [mm]	582	612
Niederschlag Sommerhalbjahr (Mai – Oktober) [mm]	328	342
Niederschlag Winterhalbjahr (November – April) [mm]	253	270
Häufigkeit N = 7,5 mm/1h (n = 4/a)	4	4
Häufigkeit N = 29,2 mm/1h (n = 0,2/a)	0,2	0
Häufigkeit N = 9,7 mm/2h (n = 4/a)	3,9	6
Häufigkeit N = 33,7 mm/2h (n = 0,2/a)	0,2	0
Anzahl Trockenperioden mit D = 5 bis 10 d	12,3	14
Anzahl Trockenperioden mit D = 10 bis 20 d	6,4	6
Anzahl Trockenperioden mit D ≥ 20 d	1,2	1

IMPRESSUM UND KONTAKT

IMPRESSUM

Titel des Verbundprojektes

KURAS - Konzepte für urbane Regenwasserbewirtschaftung und Abwassersysteme (Förderkennzeichen: 033W013A-P)

Beteiligte Institutionen

Technische Universität Berlin, Fachgebiet Fluidsystemdynamik,
Technische Universität Kaiserslautern Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft,
Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH,
Berliner Wasserbetriebe,
Institut für Automation und Kommunikation e. V. Magdeburg

Gefördert durch

Bundesministerium für Bildung und Forschung

Fördermaßnahme

Intelligente und multifunktionelle Infrastruktursysteme für eine zukunftsfähige Wasserversorgung und Abwasserentsorgung – INIS

Laufzeit

01.06.2013 – 31.10.2016

Fördervolumen des Verbundprojektes

3.524.000 €

Redaktion

M.Sc. Raja-Louisa Mitchell
Technische Universität Berlin
Fachgebiet Fluidsystemdynamik
Straße des 17. Juni 135
10623 Berlin
raja-louisa.mitchell@tu-berlin.de

Zitierbar als

Zukunftsorientierte Anpassung der urbanen Abwasserinfrastruktur – LEITFADEN zum methodischen Vorgehen, Projekt KURAS, 2016

Datum

Oktober 2016

KONTAKT

Technische Universität Berlin

FG Fluidsystemdynamik, Sekr. K2
Straße des 17. Juni 135 | 10623 Berlin
Prof. Dr.-Ing. Paul Uwe Thamsen
Tel.: +49 30 314 25262
paul-uwe.thamsen@tu-berlin.de

KWB Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH

Cicerostraße 24 | 10709 Berlin
Dr. Pascale Rouault
Tel.: +49 30 53653 824
pascale-rouault@kompetenz-wasser.de

Berliner Wasserbetriebe

Forschung und Entwicklung
Cicerostraße 24 | 10709 Berlin
Jan Waschnewski
Tel.: +49 30 8644 2438
jan.waschnewski@bwb.de

Technische Universität Kaiserslautern

FG Siedlungswasserwirtschaft
Paul-Ehrlich-Straße | 67663 Kaiserslautern
Prof. Dr. Theo Schmitt
Tel.: +49 631 205 2946
theo.schmitt@bauing.uni-kl.de

ifak – Institut für Automation und Kommunikation e.V.

Werner-Heisenberg-Straße 1 | 39106 Magdeburg
Dr. Jens Alex
Tel.: +49 391 9901 469
jens.alex@ifak.eu