



# Wasserinfrastrukturen für die zukunftsfähige Stadt

Beiträge aus der INIS-Forschung

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



**FONA**  
Nachhaltiges  
Wassermanagement  
BMBF



# Wasserinfrastrukturen für die zukunftsfähige Stadt

## Beiträge aus der INIS-Forschung

### **Herausgeber:**

Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH (Difu)

### **Redaktion:**

Koordinatorinnen und Koordinatoren des Vernetzungs- und Transferprojekts INISnet für die BMBF-Fördermaßnahme „Intelligente und multifunktionelle Infrastruktursysteme für eine zukunftsfähige Wasserversorgung und Abwasserentsorgung (INIS)“: Jens Libbe (Difu), Darla Nickel (Difu), Stephanie Bock (Difu), Margarethe Langer (DVGW-Forschungsstelle TUHH) und Christian Wilhelm (DWA e.V.)  
Klaus-Dieter Beißwenger (Difu)

Die Fördermaßnahme „Intelligente und multifunktionelle Infrastruktursysteme für eine zukunftsfähige Wasserversorgung und Abwasserentsorgung (INIS)“ wurde im Förderschwerpunkt „Nachhaltiges Wassermanagement (NaWaM)“ als Bestandteil des BMBF-Programms „Forschung für nachhaltige Entwicklungen (FONA)“ vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.

Projekträger für das BMBF: Projekträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH.



# Inhaltsverzeichnis

## Vor- und Grußworte

---

Vorwort BMBF .....	13
Vorwort INIS-Lenkungskreis .....	15
Grußwort Difu .....	17
Grußwort DWA .....	18
Grußwort DVGW .....	19

## Kapitel A: Einleitung

---

Wasserinfrastrukturen für die zukunftsfähige Stadt .....	22
--	----

## Kapitel B: Wasserversorgung und Abwasserentsorgung unter Veränderungsdruck

---

<b>B</b> Einleitung: Wasserversorgung und Abwasserentsorgung unter Veränderungsdruck .....	28
<b>B1</b> Klimawandel und demografischer Wandel: Potenzielle Gefährdungen für die Trinkwasserhygiene von morgen ..	30
<b>B2</b> Klimawandel, demografischer Wandel und Auswirkungen auf Wasserressourcen .....	34
<b>B3</b> Klima- und Demografieszenarien für die urbane Abwasserentsorgung .....	42
<b>B4</b> Wasserinfrastruktur und demografischer Wandel: Folgen im ländlichen Raum .....	46

## Kapitel C: Optimierung von Anlagen und Betrieb

---

C	Einleitung: Optimierung von Anlagen und Betrieb .....	52
C1	Innovative Lösungen für flexible Trinkwassernetze – Ergebnisse des Projekts TWIST++ .....	54
C2	Innovative Hygieneüberwachung von Roh- und Trinkwasser .....	60
C3	Kanalnetzsteuerung zur Reduzierung der Gewässerbelastung durch Regenabflüsse .....	64
C4	Aktuelle Herausforderungen beim Abwassertransport .....	70
C5	Entwicklung und Bewertung von Maßnahmen zur Anpassung der urbanen Abwasserinfrastruktur an die Zukunft .....	74
C6	Umgang mit Teilortskanalisationen .....	78
C7	Betrieb von energieeffizienten Kläranlagen mit gezielter Vermeidung umweltgefährdender Emissionen .....	82

## Kapitel D: Erschließung ungenutzter Potenziale durch sektorübergreifende Lösungen

---

D	Einleitung: Erschließung ungenutzter Potenziale durch sektorübergreifende Lösungen. ....	92
D1	Interaktionen zwischen Wasserwirtschaft und Energiesektor. ....	94
D2	Kombinierte Energie- und Nährstoffrückgewinnung aus Schwarzwasser bei unterschiedlichen Transitionszuständen ....	98
D3	Stoffliche und energetische Nutzung der Teilströme in KREIS und ihre Umsetzung im Stadtquartier Jenfelder Au ....	104
D4	Entwicklung, Aufbau und Betrieb einer Pilotanlage zur Herstellung von Flüssigdünger aus Schwarzwasser. ....	108
D5	Die getrennte Erfassung von Grauwasser – ein Weg zu mehr Ressourceneffizienz in der Siedlungswasserwirtschaft ....	114
D6	Grauwasserbehandlung mit der Algenpilotanlage. ....	120
D7	Integrierte Systemlösungen: Wenn aus häuslichen und fischereibetrieblichen Abwässern wertvolle städtische Nahrungsmittel werden. ....	124
D8	Innovative Systemlösungen für unterschiedliche Randbedingungen im Bestand – Ergebnisse des Projekts TWIST++ ....	128
D9	Probleme und Stolpersteine beim Umsetzen neuartiger Wasserinfrastrukturen: Diskrepanzen zwischen Theorie und Praxis. ....	134
D10	Dependenzen und Interdependenzen von Siedlungs- und Baustruktur mit der Wasser- und Energieinfrastruktur. ....	140

## Kapitel E: Integrierte Bewertung innovativer Systemlösungen

---

E	Einleitung: Integrierte Bewertung innovativer Systemlösungen. . . . .	146
E1	Entwicklung und Anwendung einer multikriteriellen Methode zur Nachhaltigkeitsbewertung von Wasserinfrastruktursystemen. . . . .	148
E2	Nachhaltigkeitsrisiken – Gefährdung von Zielen der Siedlungswasserwirtschaft durch vielfältige Herausforderungen . . .	154
E3	Bewertungsrahmen und -kriterien für die integrierte Bewertung neuartiger Wasserinfrastrukturen . . . . .	158
E4	Risikoidentifikation – Wirkungspfadkonzept zur systematischen Erfassung von Nachhaltigkeitsrisiken der Siedlungswasserwirtschaft. . . . .	162
E5	Multikriterielle mathematische Optimierung . . . . .	166
E6	Methodische Ansätze zur Datenauswertung und Datenvisualisierung im NaCoSi-Nachhaltigkeitscontrolling . . . . .	170
E7	Vergleich neuartiger und konventioneller Wasserinfrastruktur unter Einbindung von Stakeholdern – Erfahrungen aus den Projekten KREIS und TWIST++. . . . .	174
E8	Maßnahmen zur Bewältigung von Nachhaltigkeitsrisiken: Entwicklung mithilfe von szenariobasierten Planspielen . . . . .	178
E9	Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung – Umfassende Bewertung als Entscheidungshilfe. . . . .	182

## Kapitel F: Werkzeuge für Planung, Entscheidungsfindung und Visualisierung

---

F	Einleitung: Werkzeuge für Planung, Entscheidungsfindung und Visualisierung . . . . .	188
F1	NAWAK-PIT: Ein Planungstool zur Ableitung von Anpassungsstrategien für die Wasserwirtschaft. . . . .	190
F2	Synthetische Niederschlagsmodellierung für die planerische Anwendung. . . . .	194
F3	Integrierte Simulationswerkzeuge zur Planung intelligenter Abwasserinfrastruktur. . . . .	200
F4	Integrierte dynamische Modellierung von Grauwasseranfall und Grauwasserbehandlungskonzepten . . . . .	206
F5	Softwareunterstützung für die integrierte Planung innovativer Wasserinfrastruktur – modular und adaptiv. . . . .	210
F6	Datenstandardisierung als Basis für Interoperabilität von Planungssystemen. . . . .	214
F7	Ganzheitliches Engineering mit Game-Konzepten: Spielsimulation als Entscheidungsunterstützung und Bürgerbeteiligung . . . . .	218
F8	Intelligente Szenario-Generierung zur Visualisierung von optimierten Transformationsprozessen . . . . .	224

## Kapitel G: Integration von Stadt- und Infrastrukturentwicklung

---

G	Einleitung: Integration von Stadt- und Infrastrukturentwicklung. ....	230
G1	Städtebauliche Handlungsoptionen zur Anpassung an Auswirkungen von Überflutung und Trockenheit im urbanen Raum .....	232
G2	Straßenbäume in Versickerungsrigolen: Neue Wege der Regenwasserbewirtschaftung .....	236
G3	Vom Generalentwässerungsplan zum Wasserleitplan: Entwicklung integrierter Maßnahmen- und Gestaltungskonzepte .....	240
G4	Zu einer Kultur der Kooperation: Wie können Siedlungswasserwirtschaft und Stadtentwicklung intensiver zusammenarbeiten? .....	250
G5	Netzwerkpläne als kommunikatives Medium und Entscheidungshilfe für integrierte Infrastrukturgestaltung im Quartier .....	256
G6	Anwendung der ROOF WATER-FARM-Technologien auf der Gebäudeebene für eine integrierte Infrastrukturgestaltung im Quartier .....	260
G7	Transformationsräume in der Stadt – erkennen und nutzen .....	266
G8	Demografische und siedlungsstrukturelle Transformationsräume in ländlichen Siedlungen identifizieren und bewerten .....	268
G9	Transformationsraum IBA: Möglichkeitsraum zur Erprobung innovativer Ansätze integrierter Infrastrukturentwicklung .....	272

## Kapitel H: Akteure, Strategien und Institutionen der Transformation

---

H	Einleitung: Akteure, Strategien und Institutionen der Transformation .....	280
H1	Neuartige Sanitärsysteme – Alltagserfahrungen und Anforderungen von Nutzenden .....	282
H2	Umsetzung innovativer Wasserinfrastruktursysteme im Bestand im Zusammenspiel verschiedener Akteursgruppen .....	286
H3	Strategieoptionen und Rolle der Unternehmen in der Transformation .....	292
H4	Kooperationsmanagement .....	296
H5	Gebäudeintegrierte Lebensmittelproduktion unter Wiederverwendung von Abwasser: Umsetzungsstrategien für ROOF WATER-FARM-Konzepte .....	300
H6	Frisches Wasser und frischer Fisch vom Dach bis zum Fluss – Kommunikationsstrategien im Feld der gebäudeintegrierten Farmwirtschaft .....	304
H7	Gebührenkalkulation: Zivilrechtliche und kalkulatorische Anpassungserfordernisse zur Einführung von neuartigen Sanitärsystemen .....	310
H8	Ökonomische Wirkungspfade als Instrument zur Identifikation von finanziellen Anreizdefiziten im Rahmen der Regenwasserbewirtschaftung .....	314

## Anhang

---

Anhang .....	319
--------------	-----

## Impressum

---

Impressum .....	325
-----------------	-----

A close-up, artistic photograph of a waterfall. The water is captured in motion, creating a series of vertical, blurred lines that give a sense of rapid flow. The colors range from deep blues to lighter, almost white highlights where the water is more turbulent. The overall effect is dynamic and refreshing.

# Vor- und Grußworte



## Vorwort BMBF

Die Kommunen, ihre Einrichtungen und die kommunalen Unternehmen sichern täglich die Versorgung der Bevölkerung mit qualitativ hochwertigem Trinkwasser und eine umweltgerechte Abwasserentsorgung. Die über Jahrzehnte gewachsenen Systeme der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung müssen sich aber auch zunehmend Veränderungen stellen.

Neben den steigenden Anforderungen an Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit ergeben sich insbesondere Herausforderungen aus demografischen Veränderungen und den Folgen des Klimawandels. Viele der bestehenden Infrastrukturen weisen in Deutschland bereits eine lange Nutzungsdauer auf, woraus sich ein erheblicher Reinvestitionsbedarf in naher und mittlerer Zukunft ergibt.

Das Ziel ist, die Städte insbesondere energie- und rohstoffeffizient, klimangepasst und sozial inklusiv weiter zu entwickeln, gleichzeitig also einem hohen Umweltschutzniveau zu entsprechen und eine hohe Lebensqualität für die Bewohner zu sichern. Damit stehen die Entscheidungsträger und Planer in den Kommunen vor anspruchsvollen Entscheidungen. Vor diesem Hintergrund hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) die Forschungsaktivitäten rund um den Themenkomplex einer nachhaltigen Stadtentwicklung in der Leitinitiative Zukunftsstadt des Rahmenprogramms „Forschung für nachhaltige Entwicklung“ (FONA<sup>3</sup>) gebündelt.

Die BMBF-Fördermaßnahme „Intelligente und multifunktionelle Infrastruktursysteme für eine zukunftsfähige Wasserversorgung und Abwasserentsorgung“ (INIS) ist Teil der Leitinitiative Zukunftsstadt. In der Zeit von 2013 bis 2016 ist in 13 Forschungsprojekten – mit einem Fördervolumen von 33 Mio. Euro – ein breites Spektrum an Themen aus der kommunalen Wasserwirtschaft bearbeitet worden. Kennzeichnend für die Forschungsprojekte waren dabei nicht nur die interdisziplinäre Vorgehensweise, sondern auch das enge Zusammenwirken von Akteuren aus Wissenschaft und Praxis. Kommunen, kommunale Einrichtungen und Unternehmen waren an allen Projekten aktiv beteiligt und haben dafür gesorgt, dass die Belange der alltäglichen Anwendung entsprechend berücksichtigt wurden.

Ich freue mich, Ihnen mit der vorliegenden Publikation aktuelle Ergebnisse der Fördermaßnahme INIS und damit der angewandten Forschung im Bereich der kommunalen Wasserwirtschaft präsentieren zu können. Damit haben wir ein zentrales Nachschlagewerk mit hohem Praxisbezug schaffen können. Allen Beteiligten sei an dieser Stelle gedankt.



Wilfried Kraus  
Ministerialdirigent,  
Leiter der Unterabteilung Nachhaltigkeit, Klima, Energie,  
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)



## Vorwort INIS-Lenkungskreis

Das Sprichwort „Aus den Augen – aus dem Sinn“ scheint kennzeichnend zu sein, wenn es um die Infrastruktur der Wasserwirtschaft geht. Aber das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) hat die Infrastruktursysteme nicht vergessen, sondern im Rahmenprogramm FONA (Forschung für nachhaltige Entwicklung) thematisiert. Die BMBF-Fördermaßnahme INIS trägt den Untertitel „Forschung für die Wasserinfrastrukturen von morgen“. Ziel ist, auch für die Wasserinfrastrukturen von morgen die vorhandenen Qualitätsstandards zu sichern. Das Forschungsziel war ambitioniert – und das zu Recht. Die deutschen Infrastruktursysteme in der Wasserver- und Abwasserentsorgung stehen vor großen Herausforderungen. Neben dem Klimawandel, den demografischen Veränderungen und Entwicklungen hin zu mehr Ressourceneffizienz möchte ich das Augenmerk in der Siedlungsentwässerung auf zwei Aufgabenfelder mit akutem Handlungsbedarf richten: auf notwendige Maßnahmen in der Siedlungsentwässerung zur Erreichung der Ziele der Wasserrahmenrichtlinie sowie auf Substanzerhalt und Substanzentwicklung der vorhandenen Infrastruktur.

Die größten Herausforderungen sehe ich allerdings in der Bewusstseinsbildung und in den Änderungen der Verhaltensstrukturen in unserer Gesellschaft und Politik. Insbesondere ist die kommunale Ebene angesprochen, die aus der Verantwortung für die Daseinsvorsorge den Transformationsprozess zur Bewältigung der Herausforderungen zu leisten hat.

Ein Fazit lässt sich nach Abschluss der Fördermaßnahme INIS aus den Arbeitsergebnissen ziehen: Die Vielfalt der technischen Möglichkeiten, Verfahren, Varianten und Konzepte wird für die Betreiber der Wasserinfrastrukturen größer. Hinzu kommt, dass eine wassersensitive Kommunalentwicklung integrierende Planungsprozesse erfordert. Diese sind unverzichtbar, wenn die Entwicklungen in der Gestaltung des urbanen Wasserhaushalts vor dem Hintergrund der zukünftigen Herausforderungen nachhaltig sein sollen. Die tradierten Verfahrensmuster bei kommunalen Abstimmungsprozessen – oft steht der „Wasserwirtschaftler“ am Ende von Planungsprozessen – sind aufzulösen. Eine frühe Einbindung der Fachingenieure bei Bauherrn- und Investorengesprächen ist genauso unverzichtbar wie eine engagierte und rechtzeitige Beteiligung in Bauleit-, Straßen- und Freiraumplanungen in der Kommune. Die wasserresiliente Stadt braucht fachübergreifende ganzheitliche Konzepte für den Hochwasserschutz, den Gewässerschutz und den Umgang mit Starkregenereignissen. Nicht zu verkennen sind bei neuen Entwicklungen in der Ver- und Entsorgungsstruktur die Auswirkungen auf die Kosten, bestehende Institutionen, Organisationsformen, rechtliche Grundlagen, Genehmigungsvoraussetzungen, Haftungsfragen, Gebührenmodelle, Redundanzen und vieles mehr. Nicht zuletzt geht es um die Frage, mit welchem Personal wir die kommende Entwicklung im Ver- und Entsorgungsbereich gestalten. Gesucht wird die fachqualifizierte Managerin, der fachqualifizierte Manager im Bereich der Entwicklung kommunaler Infrastrukturen. Hierfür sind auch in Zukunft qualifizierte Aus- und Fortbildungen gefragt.

Die Forschungsergebnisse der Fördermaßnahme INIS sind für „Wasserwirtschaftler“ in Kommunen und Verbänden, Aufsichtsbehörden und Ingenieurbüros wie auch für Stadtplaner, Kämmerer, Politiker und weitere Stakeholder eine interessante Lektüre. Sie geben Impulse, Denkanstöße und Lösungsansätze, sie sensibilisieren für die großen Herausforderungen in der Wasserwirtschaft.



Prof. Bernd Wille  
Vorsitzender des INIS-Lenkkreises

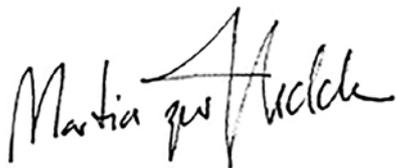


## Grußwort Difu

Die kommunale Wasserwirtschaft ist in Deutschland ein unverzichtbarer Bestandteil der Daseinsvorsorge. Mit dem Klimawandel, der Energiewende, den demografischen Veränderungen oder der wachsenden Menge an Spurenstoffen im Wasser stehen für die städtischen Wasserinfrastrukturen und -dienstleistungen Herausforderungen ins Haus, die angenommen und gelöst werden müssen.

Eine der zentralen Aufgaben des Deutschen Instituts für Urbanistik (Difu) ist es, wissenschaftlich fundiert und zugleich praxisorientiert Zukunftsfragen der Städte zu bearbeiten. Ein Baustein der letzten Jahre war dabei die wissenschaftliche Koordinierung und Vernetzung der BMBF-Fördermaßnahme „Intelligente und multifunktionelle Infrastruktursysteme für eine zukunftsfähige Wasserversorgung und Abwasserentsorgung“ (INIS) – vom Difu federführend und gemeinsam durchgeführt mit der DVGW-Forschungsstelle TUHH (Technische Universität Hamburg) und der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA). Hierzu gehört auch der Transfer zentraler Ergebnisse in Forschung und Praxis, unter anderem umgesetzt in dem vorliegenden Handbuch. Deutlich wird dabei, welche Potenziale eine integrierte Stadtentwicklung und Wasserinfrastrukturplanung bieten.

Ich wünsche Ihnen eine anregende Lektüre!



Prof. Dipl.-Ing. Martin zur Nedden  
Wissenschaftlicher Direktor und Geschäftsführer des Difu



## Grußwort DWA

Eine langfristig gut funktionierende und zu fairen Preisen darstellbare Wasserinfrastruktur ist die essenzielle Grundlage für unser gesamtes Wirtschafts- und Gesellschaftssystem. Mit den Ergebnissen aus INIS liegen uns nun die wissenschaftlichen Grundlagen vor, damit dies auch in Zukunft gewährleistet werden kann, auch wenn sich die Rahmenbedingungen zum Teil stark wandeln.

Die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) stellt den Link zwischen der Forschung und der Praxis zur Verfügung. Bereits während der Laufzeit des Forschungsvorhabens haben wir im Schulterschluss mit unseren Partnern die Vernetzung der Einzelprojekte untereinander und zur Öffentlichkeit maßgeblich gefördert. Unserem Anspruch wollen wir auch in Zukunft gerecht werden, indem wir die Ergebnisse der Forschung in die Regelwerke, die Bildungsangebote und die Fachveröffentlichungen integrieren.

Ich wünsche Ihnen viel Vergnügen mit der Lektüre der INIS-Forschungsergebnisse. Es warten zum Teil erstaunliche Erkenntnisse auf Sie.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'O. Schaaf'. The signature is fluid and cursive, with a large initial 'O' and 'S'.

Otto Schaaf  
Präsident der DWA



## Grußwort DVGW

Trinkwasser ist das wichtigste Lebensmittel überhaupt und durch nichts zu ersetzen. Es unterliegt höchsten Qualitätsanforderungen, für deren Erhalt und Umsetzung sich der Deutsche Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW) in unterschiedlichsten Feldern engagiert. Um Herausforderungen wie demografischen Wandel und Klimaveränderungen zu meistern und dabei die sichere Versorgung mit Trinkwasser auch zukünftig gewährleisten zu können, bedarf es neuer Konzepte zur Anpassung der Trinkwassergewinnung, -aufbereitung und -verteilung.

Die Projektkonsortien des INIS-Forschungsverbunds sind diese Herausforderungen beispielhaft angegangen und bieten eine Reihe von Lösungsansätzen, die bereits erste Praxistests bestehen.

Auf Basis dieser aktuellen Erkenntnisse formuliert der DVGW Regeln, die die Praxis von morgen formen. So finden die Ergebnisse des INIS-Verbundes ihren Weg in die Umsetzung der Trinkwasserversorgung.

Machen Sie sich selbst ein Bild davon!

Ich wünsche Ihnen eine interessante Lektüre.

Dr.-Ing. Dirk Waider,  
Vorstand GELSENWASSER AG  
Vizepräsident Wasser des DVGW



# Kapitel A

## Inhaltsverzeichnis Kapitel A

---

Einleitung: Wasserinfrastrukturen für die zukunftsfähige Stadt . . . . . 22

#### Autoren und Autorinnen:

Jens Libbe, Darla Nickel,  
Stephanie Bock,  
Margarethe Langer und  
Christian Wilhelm

Projekt: INISnet

# A Einleitung: Wasserinfrastrukturen für die zukunftsfähige Stadt

Die Siedlungswasserwirtschaft ist in einem hoch urbanisierten und industrialisierten Land wie Deutschland ein essenzieller Teil der Daseinsvorsorge. Die Infrastrukturen der Wasserwirtschaft sorgen nicht nur für eine sichere Versorgung mit Trinkwasser und für hygienische Verhältnisse, sondern sind auch für den Umgang mit Überflutung und den allgemeinen Schutz der Gewässer verantwortlich. Sie tragen maßgeblich zur Gesundheitsvorsorge und zum Umweltschutz bei und sind so ein Standbein des Wohlstands.

Für Verbraucherinnen und Verbraucher sind diese Leistungen eine Selbstverständlichkeit. Jede und jeder von uns dreht mehrfach am Tag den Wasserhahn auf, ohne mit der „dahinter“ liegenden Infrastruktur vertraut zu sein. Denn diese Infrastrukturen – Leitungen, Kanalisation, Pumpstationen und Aufbereitungsanlagen – befinden sich gut versteckt in der Hauswand, im Erdreich oder am Stadtrand. Der Aufwand der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung bleibt buchstäblich verborgen, ganz im Gegensatz etwa zum sichtbaren Straßennetz. Oft sind den Nutzerinnen und Nutzern nicht einmal die eigenen jährlichen Ausgaben für die Versorgung mit und Entsorgung von Wasser bekannt.

Dabei gilt: Die Infrastrukturen der Siedlungswasserwirtschaft sind ein über Jahrzehnte aufgebautes milliardenschweres Anlagevermögen und einer der größten Posten in den kommunalen Haushalten. Und sie stehen derzeit unter großem Veränderungsdruck. Vorangetrieben durch aktuelle Entwicklungen – zu nennen sind hier demografischer Wandel, Energiewende, Verknappung von Ressourcen, Umweltverschmutzung und allen voran der Klimawandel – werden in den kommenden Jahrzehnten mitunter weitreichende Anpassungen der Wasserinfrastrukturen notwendig sein. Ziel muss dabei vorrangig sein, nachhaltige Wasserdienstleistungen zu bezahlbaren Preisen zu sichern.

Die Folgen der Herausforderungen und die Geschwindigkeit, mit der sich die Rahmenbedingungen verändern, unterscheiden sich von Region zu Region. Zukünftige Veränderungen lassen sich nicht mit Sicherheit vorher sagen. Gefragt sind deshalb Maßnahmen, die an die spezifischen Herausforderungen vor Ort angepasst sind und die Ungewissheiten mit ins Kalkül ziehen. Nicht eine „One-size-fits-all“-Lösung, sondern eine Ausdifferenzierung der Systeme steht ins Haus. Die Zukunftsfähigkeit der Städte und urbanen Räume definiert sich zunehmend dadurch, dass Lösungen in der gemeinsamen Betrachtung verschiedener Bereiche gefunden werden: z. B. Energie, Landwirtschaft, Wohnen und Stadtentwicklung. Dies wiederum heißt konkret: Die Komplexität der Aufgabe nimmt zu.

## Die Fördermaßnahme INIS

Vor diesem Hintergrund entwickelten und erprobten 13 Verbundprojekte von 2013 bis 2016 innovative Lösungen für die Anpassung der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung an die sich verändernden Rahmenbedingungen. Gefördert wurden sie vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen der Fördermaßnahme „Intelligente und multifunktionelle Infrastruktursysteme für eine zukunftsfähige Wasserversorgung und Abwasserentsorgung“ (INIS).

Die 13 Verbundprojekte der Fördermaßnahme INIS deckten ein breites Themenspektrum ab. Von der Wasserversorgung über die Stadtentwässerung und Abwasserentsorgung bis hin zu den zukunftsorientierten integrierten Konzepten für Wasser, Abwasser und Energie wurden nahezu alle Systemelemente urbaner Wasserinfrastrukturen in den Fokus genommen und Vorschläge für ihre Weiterentwicklung erarbeitet.

Gemeinsam war den INIS-Projekten ihr transdisziplinärer Ansatz. Dies bedeutet, dass nicht nur verschiedene Wissenschaftsdisziplinen, sondern auch „die Praxis“, Kommunen, Ver- und Entsorgungsbetriebe, Planungs- und Ingenieurbüros usw., in den Projekten aktiv mitgearbeitet haben. Die Akteure aus der Praxis waren an der

Festlegung der Forschungsfragen beteiligt; sie waren für die Durchführung der Hälfte aller Teilprojekte verantwortlich. Dass die Ergebnisse in ganz unterschiedlichen Kommunen und Regionen Deutschlands modellhaft umgesetzt wurden, stärkt die Praktikabilität und Übertragbarkeit der Lösungen. Gleichzeitig funktionierte der Wissenstransfer ab Tag eins: von der Forschung in die Praxis und umgekehrt. Das machte INIS aus.

Begleitet wurden die INIS-Projekte von dem Vernetzungs- und Transfervorhaben INISnet, das sich eigens der „strategischen Kommunikation“ der INIS-Ergebnisse widmete. INISnet wurde von wichtigen Multiplikatoren der Städte und der deutschen Wasserwirtschaft, dem Deutschen Institut für Urbanistik (Difu), der Forschungsstelle des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches (DVGW) an der Technischen Universität Hamburg (TUHH) und der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) durchgeführt. Neben vielen anderen Produkten und Aktivitäten war INISnet für die Konzeption, Zusammenstellung und Redaktion dieser zentralen Abschlusspublikation der Fördermaßnahme INIS verantwortlich.

## Das INIS-Handbuch

Das nun vorliegende Handbuch dient dazu, die Ergebnisse aus der INIS-Forschung für einen breiten Kreis potenzieller Nutzerinnen und Nutzer verfügbar zu machen. Es bietet eine Gesamtdarstellung der wichtigsten Erkenntnisse aus den gut drei Jahren Laufzeit der BMBF-Fördermaßnahme INIS. Das Handbuch setzt

sich aus Beiträgen aller Verbundprojekte zusammen. Denn neben der Zusammenschau all dessen, was nun an guten Ergebnissen vorhanden ist, gilt es auch, die Leistungen der BMBF-Fördermaßnahme INIS als solche zu dokumentieren.

## Die Zielgruppe

Das Handbuch soll vor allem der Ergebniskommunikation in die Praxis hinein dienen. Dabei werden unter dem Begriff Praxis hier großzügig die Wasserwirtschaft, die kommunalen Verwaltungen und Entscheidungs-

träger sowie nachgeordnet die Politik gefasst. Einzelne Beiträge richten sich auch an die Wissenschaft, denn neben Antworten deckt die Forschung stets neue Fragen auf.

## Die Themen

Die große Themenvielfalt der INIS-Projekte spiegelt sich in den Beiträgen des Handbuchs wider. Um Leserinnen und Leser mit unterschiedlichsten fachlichen Hintergründen und Aufgabenbereichen schneller an jene Ergebnisse zu lotsen, die für sie von Interesse sein könnten, sind die einzelnen Beiträge thematisch in verschiedene Kapitel sortiert:

**Kapitel B** – Wasserversorgung und Abwasserentsorgung unter Veränderungsdruck

**Kapitel C** – Optimierung von Anlagen und Betrieb

**Kapitel D** – Erschließung ungenutzter Potenziale durch sektorübergreifende Lösungen

**Kapitel E** – Integrierte Bewertung innovativer Systemlösungen

**Kapitel F** – Werkzeuge für Planung, Entscheidungsfindung und Visualisierung

**Kapitel G** – Integration von Stadt- und Infrastrukturentwicklung

**Kapitel H** – Akteure, Strategien und Institutionen der Transformation

## Die INIS-Projekte und weiterführende Informationen

Im Anhang findet sich eine Übersicht über die 13 Verbundprojekte mitsamt deren Ansprechpersonen und Kontaktinformationen. Für die interessierten Leser-

rinnen und Leser werden dort alle Beiträge eines jeweiligen Projektes zu diesem Handbuch gesammelt aufgelistet.

## Zukunftsfähige Wasserversorgung und Abwasserentsorgung: Zehn Botschaften an Politik und Praxis

Die INIS-Forschung liefert Erkenntnisse und Impulse für eine zukunftsfähige Gestaltung der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung in Deutschland. Allerdings reicht der Erkenntnisgewinn allein nicht aus, um die gegenwärtigen und zukünftigen Herausforderungen zu bewältigen. Praxis und Politik, Medienöffentlichkeit, die Gesellschaft als ganze sind gefordert, die Umsetzung beherzt anzugehen. Aus der Gesamtschau der INIS-Ergebnisse lassen sich gemeinsam mit den INIS-Verbänden einige wegweisende – aber keineswegs ausschließliche – Kernbotschaften ableiten.

1. Der Weg in die Zukunft führt über die Optimierung des Bestands. Herkömmliche Planungsprozesse mit ihren langen Zeithorizonten haben statische Lösungen und vielfach überdimensionierte Anlagen hervorgebracht. Die Systeme verursachen hohe Fixkosten für Unterhalt und Betrieb und weisen deshalb große Optimierungspotenziale auf. Die Herausforderung liegt darin, die Leistungsfähigkeit des

Systems unter verschiedenen Belastungssituationen zu sichern.

2. Flexible Lösungen ermöglichen eine zukunftsfähige Gestaltung des urbanen Wasserhaushalts. Vor dem Hintergrund zu erwartender Prognoseunsicherheiten werden robuste Systeme benötigt. Sie dürfen auch bei unerwarteten Extremereignissen nicht vollständig versagen und müssen zugleich kosteneffizient sowie rückbau- und erweiterungsfähig konstruiert sein. Dezentrale Komponenten können die Anpassungsfähigkeit der Systeme erhöhen. Flexible Planungsprozesse und Betriebsweisen sind erforderlich, um kurz- und mittelfristig besser bzw. stufenweise auf unvorhersehbare Entwicklungen zu reagieren.
3. Ein Schlüssel für die Optimierung liegt im intelligenten Betrieb. Während in allen anderen wesentlichen Infrastrukturbereichen die intelligente, IT-

basierte Steuerung bereits Standard ist, weist die städtische Wasserinfrastruktur in dieser Hinsicht noch erhebliche Verbesserungsmöglichkeiten auf. Durch den Einsatz von Mess-, Steuer- und Datentechnik lassen sich Kontaminationen schneller erkennen und erhebliche Reserven in den bestehenden Entwässerungssystemen aktivieren.

4. Abwasser ist eine Ressource, kein Abfall. Technologien und Konzepte zur energetischen und stofflichen Wiederverwendung oder Nutzung von Abwasser sind erarbeitet und können umgesetzt werden. Mehr noch: Alternative dezentrale Wasseraufbereitungstechnologien können zu innovativen Methoden der Lebensmittelproduktion beitragen, bedürfen in dieser Hinsicht allerdings noch der Weiterentwicklung.
5. „Energieeffizienz“ von Wasserinfrastrukturen muss begrifflich weiterentwickelt werden. Die Erweiterung der Wasserinfrastruktursysteme um Funktionen der Energieerzeugung als Beitrag zur Energiewende schlägt sich bislang nicht in der Bewertung der „Energieeffizienz“ solcher Anlagen nieder. Die alleinige Quantifizierung über den Bedarf an Jahreskilowattstunden (kWh/a) pro Leistungseinheit ( $\text{m}^3$  Trinkwasserversorgung bzw. gereinigtes Abwasser) erfasst den Beitrag der Wasserinfrastrukturen zur Energiewende nicht sachgerecht.
6. Wassersensitive Stadtentwicklung setzt integrierende Planungsprozesse voraus. Die Hauptaufgaben der Siedlungsentwässerung, der Schutz von Menschen und deren Eigentum einerseits und der Gewässerschutz andererseits, lassen sich allein durch konventionelle unterirdische Systeme nur begrenzt erfüllen. Optimale Lösungen, die z. B. auch die Stadtklima- oder Freiraumqualität erhöhen, lassen sich nur durch eine verbesserte räumliche Organisation der Stadt erzielen. Hierzu müssen verstärkt multifunktionale Flächennutzungen für Rückhalt, Versickerung und Verdunstung von Niederschlagswasser in den Stadtraum integriert werden.
7. Eine Unsicherheitsbetrachtung muss in der Planung zum Standardwerkzeug werden. Das Konzept der Unsicherheitsbetrachtung gilt es fest in den Köpfen von Planern, Betreibern und Entscheidungsträgern zu verankern. Wie sich die erheblichen Ungewissheiten zukünftiger Entwicklungen auswirken, kann über fundiert erstellte Szenarien und deren Bewertung, z. B. mittels Simulationsmodellen, aufgezeigt werden – so lassen sich Komplexität und Ungewissheit schließlich reduzieren. Nur interdisziplinär und ressortübergreifend können Wasserinfrastrukturen sicher und zukunftsfähig geplant werden.
8. Multifunktionelle Infrastrukturen erfordern eine ganzheitliche Bewertung. Die angestrebte Multifunktionalität neuartiger Infrastrukturen, aber auch die vielfältigen Wechselwirkungen von Teilsystemen und -prozessen erfordern es, die Ziele und Wirkungen von Maßnahmen und Entscheidungen integriert zu bewerten. Auch die indirekten Wirkungen von Infrastruktursystemen sind entlang ihrer gesamten Wertschöpfungskette zu berücksichtigen.
9. Es liegt im Interesse der Kommunen, den Transformationsprozess zu koordinieren. Bei der Implementierung von multifunktionellen und differenzierten Systemlösungen für Wasser-, Energie- und Ressourcenmanagement auf Stadt-, Quartiers- und Gebäudeebene werden Leistungen und Anlagen teilweise dezentralisiert oder in den privaten Raum verlagert. Es bedarf neuer Kooperationsformen zwischen Ver- und Entsorgungsträgern sowie mit den Bürgerinnen und Bürgern. Der Kommune obliegt die kommunale Daseinsvorsorge. Sie ist dem örtlichen Gemeinwohl verpflichtet und prädestiniert, diese Transformation im Gemeinwohlinteresse zu koordinieren. Bei der operativen Umsetzung und im Betrieb können vielfältige unternehmerische Strategieoptionen sinnvoll sein.
10. Demonstrationsprojekte sind der notwendige nächste Schritt, um Umsetzungshemmnisse zu erkennen und abzubauen. Die Transformation bestehender Wasserinfrastrukturen auf Gebäude- wie auch Quartiersebene ist technisch und organisatorisch möglich und wird zur Verbesserung der Zukunftsfähigkeit bestehender Systeme für sinnvoll und erforderlich erachtet. Im Hinblick auf den rechtlichen Regulierungsrahmen und finanzielle Anreizsysteme sind derzeit noch viele Fragen offen. Diese wirken sich als Umsetzungshemmnisse aus. Vor diesem Hintergrund sollten Demonstrationsprojekte forciert werden.



# Kapitel B

## Inhaltsverzeichnis Kapitel B

---

<b>B</b>	Einleitung: Wasserversorgung und Abwasserentsorgung unter Veränderungsdruck .....	28
<b>B1</b>	Klimawandel und demografischer Wandel: Potenzielle Gefährdungen für die Trinkwasserhygiene von morgen .....	30
<b>B2</b>	Klimawandel, demografischer Wandel und Auswirkungen auf Wasserressourcen.....	34
<b>B3</b>	Klima- und Demografieszenarien für die urbane Abwasserentsorgung .....	42
<b>B4</b>	Wasserinfrastruktur und demografischer Wandel: Folgen im ländlichen Raum .....	46

Autorin:

Darla Nickel

Projekt: INISnet

# B

## Einleitung: Wasserversorgung und Abwasserentsorgung unter Veränderungsdruck

Ob Klimawandel, demografischer Wandel oder Energiewende, ob steigende Umwelt- und Qualitätsanforderungen, erhöhter Kostendruck oder verändertes Verbraucherverhalten: Diese und weitere Veränderungen machen es erforderlich, die Infrastrukturen der Trinkwasserversorgung und der Abwasserentsorgung sowie die wasserwirtschaftliche Managementpraxis anzupassen und weiterzuentwickeln, verlangen nach neuen und innovativen Lösungen und sind Anlass eines jeden der INIS-Forschungsprojekte.

### Der Klimawandel in Deutschland bedeutet wärmer, nasser und extremer

Der Klimawandel bedeutet hierzulande: Anstieg der Temperaturen und Zunahme der Extremwetterlagen mit Hitzewellen, Dürreperioden und vor allem Starkregen. Letzterer kann die Kanalisation überlasten und zu Überflutungen sowie zu gewässerschädigenden Kanalüberläufen oder Kanalentlastungen führen. Solche zunehmenden Ereignisse werden verstärkt von den Medien aufgegriffen und zu einem Politikum gemacht. Dem Ausbau der Kanalisation sind aus finanziellen Gründen und wegen beschränkter räumlicher Erweiterungsmöglichkeiten Grenzen gesetzt. Zunehmend werden Strategien zum Regenwasserrückhalt in der Fläche umgesetzt, die mit einer Vielzahl weiterer Nutzungsmöglichkeiten um den begrenzten städtischen Raum konkurrieren. Dürren hingegen wirken sich in Teilen Deutschlands deutlich negativ auf das Abflussverhalten der Flüsse und auf die Gewässerqualität sowie auf die Qualität und Verfügbarkeit von Trinkwasser aus.

## Die Bevölkerungszahl nimmt ab – besonders im ländlichen Raum

Stichwort demografischer Wandel: Selbst bei stärkerer Zuwanderung prognostiziert das Statistische Bundesamt eine Abnahme der heutigen Gesamtbevölkerung um rund zehn Prozent bis zum Jahr 2060. Die östlichen Bundesländer werden am stärksten von dem Bevölkerungsrückgang betroffen sein. Dort könnte die Bevölkerung zum Teil um mehr als ein Drittel abnehmen. Effizienz und Betriebssicherheit der technischen Infrastrukturen der Siedlungswasserwirtschaft hängen

maßgeblich von der Bevölkerungsdichte und der damit verbundenen Nachfrage ab. Wandern die Menschen ab, müssen die hohen Investitionskosten auf immer weniger Köpfe verteilt werden mit der Folge, dass die Kosten steigen. Dies erfordert insbesondere in ländlich geprägten Regionen erhebliche Anpassungen der Infrastrukturen: von Rückbau bis hin zu stärker dezentralisierten Lösungen.

## Die Energiewende hat die Siedlungswasserwirtschaft erreicht

Deutschland hat sich mit der Verpflichtung zur Energiewende hohe Ziele hinsichtlich erneuerbarer Energien und Energieeffizienz gesteckt. Der Transport von Wasser über weite Entfernungen, die Aufrechterhaltung des erforderlichen Leitungsdrucks und die Aufbereitung von Trink- und Abwasser benötigen neben Know-how und Technologie vor allem Eines: große Mengen an Energie. Im Gegenzug sind Abwasser und

die bei seiner Aufbereitung anfallenden Klärschlämme eine ergiebige Energiequelle. Um die Energieeffizienz zu steigern und vorhandene Energiepotenziale zu nutzen, gibt es zum Teil schon bewährte Lösungen, die jedoch verstärkt umgesetzt werden müssten. Ein Beispiel ist die energieautarke Kläranlage. An anderer Stelle, wie der Nutzung der im Abwasser enthaltenen Wärme, fehlen noch umsetzbare Gesamtkonzepte.

## Die Umwelt- und Qualitätsanforderungen sind hoch – und steigen weiter

Die flächendeckende und zunehmende Belastung der Grund- und Oberflächengewässer mit Nährstoffen, anthropogenen Spurenstoffen wie Arzneimitteln, Industriechemikalien und Pflanzenschutzmitteln sowie anderen Schadstoffen lässt die ohnehin schon hohen Anforderungen an die Behandlung der Abwässer und an die Entsorgung der Klärschlämme steigen. Denn diese Belastungen gefährden unsere Trinkwasserressourcen und Lebensräume. Die Notwendigkeit einer „4. Reinigungsstufe“ – einer Palette von Verfahren, die jeweils zur Entfernung unterschiedlicher Verunreinigungen eingesetzt werden können – wird intensiv diskutiert. Doch vor den erheblichen Kosten und dem hohen Energiebedarf schrecken viele Betreiber zurück – vor allem mittlere und kleine Unternehmen der Branche. Der Ruf nach Lösungsansätzen, die die Ursachen bekämpfen, wird lauter. Zudem steht seit kurzem ein Verbot der landwirtschaftlichen Ausbringung von Klärschlamm in ganz Deutschland zur Diskussion, so dass über kurz oder lang Alternativen gefunden werden müssen.

In diesem Kapitel wird anhand von einigen zentralen Herausforderungen exemplarisch und detailliert aufgezeigt, welche Auswirkungen auf die Siedlungswasserwirtschaft bereits heute spürbar sind und welche Entwicklungen sich in Zukunft einstellen könnten. Hierbei sind die zukünftigen Auswirkungen mit mehr oder weniger großen Unsicherheiten behaftet. Dargestellt sind mögliche „Zukünfte“ mitsamt den ihnen zugrunde liegenden Annahmen. Sie wurden in den INIS-Forschungsprojekten von Praxis- und Forschungspartnern gemeinsam erstellt und als Grundlage für das Entwickeln oder Bewerten von Handlungsoptionen, Strategien und technischen Lösungen herangezogen. Vielfach bilden diese Zukunftsszenarien die Basis von Entscheidungsunterstützungssystemen für Kommunen und Infrastrukturbetreiber, die in den Projekten entwickelt wurden (vgl. hierzu vor allem Kapitel F).

#### Autoren:

Daniel Karthe, Niklas Rehkopp,  
Tobias Reeh und Heiko Faust

#### Projekt: EDIT

#### Literatur:

BMG, UBA – Bundesministerium für Gesundheit, Umweltbundesamt (Hrsg.) (2015): Bericht des Bundesministeriums für Gesundheit und des Umweltbundesamtes an die Verbraucherinnen und Verbraucher über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasser) in Deutschland. Berichtszeitraum: 1. Januar 2011 bis 31. Dezember 2013.

Karthe, D. (2015): Bedeutung hydrometeorologischer Extremereignisse im Kontext des Klimawandels für die Trinkwasserhygiene in Deutschland und Mitteleuropa, in: *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 59 (5), S. 264 – 270, doi: 10.5675/HyWa\_2015,5\_7.

Karthe, D., N. Rehkopp, T. Reeh und H. Faust (2017): Regional Disparities of Microbiological Drinking Water Quality: Assessment of Spatial Pattern and Potential Sociodemographic Determinants, in: *Urban Water Journal* Vol. 14, No. 6, 2017.

Rehkopp, N. (2015): Räumliche Disparitäten der mikrobiologischen Trinkwasserqualität in Deutschland, Masterarbeit am Geographischen Institut der Universität Göttingen.

## B1

# Klimawandel und demografischer Wandel: Potenzielle Gefährdungen für die Trinkwasserhygiene von morgen

## Trinkwasserhygiene in Deutschland: Ein Überblick

Trinkwasser gilt in den meisten hochentwickelten Staaten als ein sicheres und bestens überwacht Lebensmittel. Während die Bereitstellung von gesundheitlich unbedenklichem Leitungswasser bei uns heute als selbstverständlich erscheint, bestehen in zahlreichen Entwicklungs- und Schwellenländern in dieser Hinsicht noch erhebliche Defizite. So sehen z. B. die Vereinten Nationen die Verfügbarkeit hygienisch einwandfreien Trinkwassers als eines von 17 Hauptzielen der nachhaltigen Entwicklung („Sustainable Development Goal 6“). Aber auch in Deutschland waren im späten 19. Jahrhundert massenhafte Krankheitsausbrüche durch wasserübertragene Infektionskrankheiten die Regel. Erst die flächendeckende Einführung einer modernen Trinkwasseraufbereitung und -verteilung sowie die geregelte Entsorgung und Aufbereitung von Abwässern führten im frühen 20. Jahrhundert zu einer maßgeblichen Verbesserung der Trinkwasserhygiene und damit zur Reduzierung der Sterblichkeitsrate.

Trinkwasserversorgungssysteme in hochentwickelten Staaten werden heute durch mehrere Barrieren geschützt, wozu schwerpunktmäßig (1) die Ausweisung von Trinkwasserschutzgebieten, (2) die Trinkwasseraufbereitung und -verteilung und (3) fachgerechte Hausinstallationen zählen. Diese Barrieren sind grundsätzlich auf seltene, aber potenziell zu erwartende Ereignisse ausgelegt, welche die Trinkwasserqualität negativ beeinflussen können. Daher sieht der Gesetzgeber eine regelmäßige Überwachung der Qualität des unbehandelten Rohwassers und des aufbereiteten Trinkwassers vor. Seit kurzem geben regelmäßige, gemeinsam vom Umweltbundesamt (UBA) und vom Bundesministerium für Gesundheit (BMG) veröffentlichte Berichte einen Überblick über den qualitativen Zustand des Trinkwassers. Auch wenn die Trinkwasserqualität in Deutschland generell als hoch einzuschätzen ist, zeigen diese Berichte dennoch, dass es immer wieder zu vereinzelten Überschreitungen gesundheitsrelevanter Grenzwerte kommt. Von besonderer Bedeutung sind hierbei die mikrobiologischen Parameter, da erhöhte Werte potenziell humanpathogene Risiken implizieren.

## Einfluss des Klimawandels auf die Trinkwasserhygiene

Veränderungen im Klima haben auf vielfache Weise einen Einfluss auf Trinkwasserversorgungssysteme. Während in Deutschland in den nächsten Jahrzehnten nicht angenommen wird, dass es im Zuge des Klimawandels zu Versorgungsengpässen kommt, ist sehr wohl mit zumindest temporären Beeinträchtigungen der Roh- und Trinkwasserqualität zu rechnen. Eine erhebliche Rolle werden dabei Extremereignisse spielen, wie beispielsweise längere Trockenperioden oder starke Hochwasser (siehe Abbildung 1). Solche Ereignisse sind zukünftig nicht nur häufiger zu erwarten, sondern es ist auch von einer größeren Intensität auszugehen. Im Falle extremer Niederschlagsereignisse und Hochwasser besteht die Möglichkeit, dass die Rohwasserqualität durch Belastungseinträge (z. B. in Folge von Mischkanalisationsüberläufen oder Einschwemmung tierischer Fäkalien aus der Landwirtschaft) zumindest zeitweise stark reduziert wird. Diese Gefahr betrifft insbesondere solche Gebiete, in denen Oberflächenwasser (z. B. aus Talsperren) die Grundlage der Wasserversorgung bildet. Langanhaltende Trockenperioden können indes über reduzierte Abflussmengen in Oberflächengewässern zu einer Erhöhung der relativen Abwasserlasten und

somit ebenfalls zu erhöhten Konzentrationen potenziell humanpathogener Mikroorganismen führen. Auch wenn Studien aus Deutschland bislang weitgehend fehlen, belegen größere Kontaminationsereignisse in anderen Industriestaaten, dass ungewöhnliche Starkniederschläge und Trockenperioden zum Eintrag von Mikroorganismen in moderne Wasserversorgungssysteme beitragen können, die im Extremfall einen massenhaften Ausbruch wasserübertragener Infektionskrankheiten nach sich ziehen können.

Zwar mangelt es nach wie vor an gesicherten Erkenntnissen über die Bedeutung des Temperaturanstiegs für die Trinkwasserhygiene in Deutschland. Mehrere internationale Studien zeigen allerdings, dass höhere Temperaturen die Reproduktion wichtiger wasserbürtiger Pathogene in subpolaren und gemäßigten Klimaregionen tendenziell begünstigen. Verschärfend wirkt, dass sich im Zuge von Hitzewellen sowohl die Temperaturen des Rohwassers als auch die des Trinkwassers in Zwischenspeichern und unterirdisch verlaufenden Rohrleitungen deutlich erhöhen.



Abb. 1: Elbhochwasser 2013 in Magdeburg. Extreme Hochwasser können auch Infrastrukturen der Wasserversorgung gefährden.  
Foto: Daniel Karthe



Abb. 2: Leerstehendes Wohnhaus in Magdeburg. Zu den vielfältigen stadtplanerischen Herausforderungen im Zuge des demografischen Wandels zählt nicht zuletzt die Anpassung der Wasserinfrastrukturen. Foto: Daniel Karthe

## Einfluss des demografischen Wandels auf die Trinkwasserhygiene

Die demografische Entwicklung Deutschlands war in den letzten Jahrzehnten durch drei wesentliche Faktoren geprägt: durch konstant niedrige Geburtenraten unterhalb des Bestandserhaltungsniveaus, durch eine starke Binnenmigration infolge der deutschen Wiedervereinigung und von strukturschwachen in strukturstarke Regionen sowie schließlich durch einen deutlichen Anstieg der Zuwanderung in jüngster Zeit, dessen zukünftige Entwicklung und Implikationen momentan nur schwer abzuschätzen sind. Aufgrund von Binnenwanderungen ist die Bevölkerungsentwicklung in räumlicher Sicht zudem ausgesprochen heterogen, wobei in den letzten drei Jahrzehnten insbesondere große Teile der neuen Bundesländer (siehe Abbildung 2) sowie periphere und altindustrialisierte Regionen Westdeutschlands zum Teil erhebliche Bevölkerungsverluste verzeichneten.

Aus wasserwirtschaftlicher Sicht haben vor allem Bevölkerungsverluste erhebliche Auswirkungen, und zwar umso mehr, als in den zurückliegenden Jahrzehnten der durchschnittliche Wasserverbrauch in Deutschland aufgrund von Einsparungsbemühungen deutlich rückläufig war. Für Wasserversorger bedingt eine solche Entwicklung nicht nur eine Reduzierung des Absatzpotenzials und damit möglicher Einnahmen, sondern auch die Notwendigkeit von Anpassungen wie den Rückbau von Infrastrukturen oder die Durchführung von Spülungsmaßnahmen in unterausgelasteten Verteilungssystemen. Die in Deutschland empfohlene

maximale Transitzeit von fünf Tagen vom Wasserversorger bis zum Endverbraucher wird in den bevölkerungsmäßig am stärksten geschrumpften Gebieten aktuell um ein Mehrfaches überschritten. Mit zunehmenden Transitzeiten steigt zugleich das potenzielle Risiko einer mikrobiologischen Rekontaminierung des Trinkwassers im Verteilungsnetz. Letztlich potenzieren sich an dieser Stelle die möglichen Risiken infolge des Klimawandels (Temperaturanstieg im Netz) und des demografischen Wandels (Erhöhung der Verweilzeit im Netz). Aktuelle statistische Analysen belegen, dass in Regionen mit demografischer Schrumpfung tendenziell häufiger mikrobiologische Kontaminationen gemeldet werden als in stabilen oder wachsenden Regionen (siehe Abbildung 3). Bei der Betrachtung der aufaddierten meldepflichtigen Ereignisse mit Überschreitung mindestens eines mikrobiologischen Parameters ist allerdings zu beachten, dass in Großstädten aufgrund der dort deutlich höheren Bevölkerungsdichte (und damit auch häufigeren Probenahmen durch die Wasserversorger) mit höheren Nichteinhaltungszahlen zu rechnen ist, ohne dass dies ein Hinweis auf überdurchschnittlich hohe Kontaminationsraten wäre (z. B. im Falle von Hamburg oder Berlin). In vergleichsweise dünn besiedelten Gebieten sollte eine hohe Anzahl meldepflichtiger Ereignisse hingegen Anlass sein, weitergehende Ursachenforschung zu betreiben.

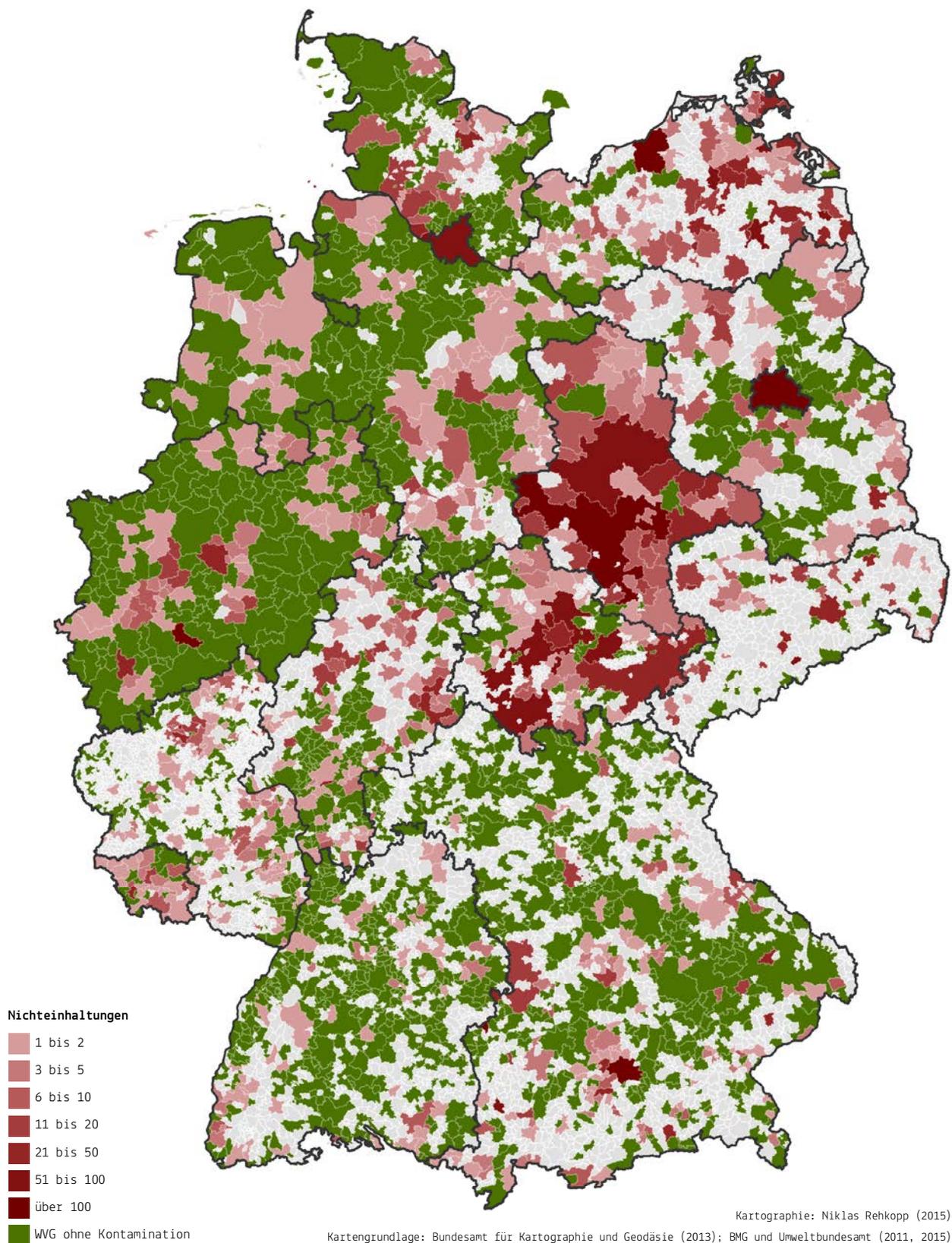


Abb. 3: Kumulierte Anzahl der Nichteinhaltung eines mikrobiologischen Parameters zwischen 2010 und 2013 in großen Wasserversorgungsgebieten. Die grau gekennzeichneten Gebiete werden durch kleinere Versorger bedient, für die keine Daten bereitstehen.  
Quelle: Rehkopp (2015)

#### Autoren und Autorinnen:

Malte Eley, Julia Oberdörffer,  
Marlene Gelleszun, Ulrich Scheele,  
Hans Matthias Schöniger  
und Jens Wolf

Projekt: NAWAK

## B2

# Klimawandel, demografischer Wandel und Auswirkungen auf Wasserressourcen

## Motivation

Die hohe Qualität der Ver- und Entsorgung in Deutschland zu sichern, erfordert hohe Investitionen in die Infrastruktur. Bei der Planung zukünftig anstehender Investitionen in die zentrale Wasserversorgungsinfrastruktur stehen die Wasserversorgungsunternehmen vor großen Herausforderungen: Sie müssen in der Lage sein, die Folgen des Klimawandels, demografischer Veränderungen wie auch bereits gefällter oder möglicher zukünftiger energiepolitischer Entscheidungen zu bewerten. Diese Einflussgrößen sind in stetigem Wandel begriffen und hängen in starkem Maße voneinander ab. Die zu lösenden Aufgaben der Wasserwirtschaft sind auch deshalb komplex, weil die wasserwirtschaftlichen Einflussgrößen in vielen Regionen eine integrierte Beantwortung von physikalisch nicht trivialen Problemstellungen (z. B. Salzwasserintrusion in einen Süßwasseraquifer) mit gesellschaftlichen Fragestellungen (z. B. Bevölkerungsentwicklung, technologischer Fortschritt und rechtliche Rahmenbedingungen) erfordern. So zählen z. B. zu den möglichen Auswirkungen auf der Angebotsseite der Wasserwirtschaft in Küstenregionen ein Anstieg des Meeresspiegels mit einem daraus resultierenden Vordringen von Salzwasser in die Randbereiche der Grundwasserkörper, eine Veränderung der Wasserführung der Flüsse und eine veränderte Niederschlagsverteilung. Auf der Nachfrageseite ist mit erhöhten Spitzenlastfällen im Sommer zu rechnen, z. B. durch verstärkten Tourismus sowie verstärkten Bedarf von Beregnungswasser in der Landwirtschaft und Kühlwasser in der Industrie. Der demografische Wandel in Form eines prognostizierten Rückgangs der Bevölkerungszahlen in Deutschland wird die Wasserversorger in vielen Regionen nachfrageseitig durch eine Verringerung der Grundlast vor Probleme stellen.

Für eine umfassende Auseinandersetzung mit dem klimatischen und demografischen Wandel ist eine integrative, interdisziplinäre Betrachtung erforderlich. Sie muss auch Effekte oder Abhängigkeiten zwischen den Einflussgrößen einbeziehen. Ziel von Lösungsansätzen muss dabei sein, die ökonomische und gesellschaftliche Entwicklung durch den Ausgleich diverser Nutzerinteressen zu fördern. Gleichzeitig gilt es die Wasserressourcen und wasserabhängigen Ökosysteme zu schützen. In der Regel verfehlen Wassermanagementpraktiken allerdings diese Ziele: Entweder sind keine adäquaten Managementstrukturen und -methoden vorhanden; oder es fehlt bei bestehenden Strukturen eine integrierte wissenschaftliche Basis, um nachhaltige Entscheidungen für eine Auseinandersetzung mit den Schlüsselproblemen zu unterstützen. Daher bedarf es der Entwicklung und Implementierung von geeigneten Management- und Planungstools.

Diese müssen Mehrere leisten: die relevanten Wasserhaushaltskomponenten identifizieren und modellieren wie auch die den Wassersektor beeinflussenden mittel- und langfristigen sozioökonomischen Entwicklungen einbeziehen.

Das Vorhaben NAWAK erarbeitete in diesem Spannungsfeld ein Planungsinstrumentarium (PIT). Dieses ist in der Lage, bereits eingetretene und in der Zukunft zu erwartende Beeinträchtigungen auf der Dargebots- und Nachfrageseite der Wasserversorgung sowie den Einfluss möglicher Maßnahmen aufzuzeigen und zu bewerten. Es kann somit als wertvolle Grundlage zur Ableitung regionaler Anpassungsstrategien für die Wasserversorgung dienen. Modellregionen zum Einsatz des PIT sind:

- 1.) das Einzugsgebiet des Wasserwerkes Sandelermöns des Oldenburgisch-Ostfriesischen Wasserverbandes (OOWV) auf der ostfriesischen Halbinsel,
- 2.) die Wasserversorgung im Elbe-Weser-Dreieck am Beispiel der Wasserversorgungen im Stader Land (TWV Stader Land) und im Land Hadeln (WVV Land Hadeln) sowie
- 3.) das Versorgungsgebiet der Heidewasser GmbH in Sachsen-Anhalt im Umland der Stadt Magdeburg.

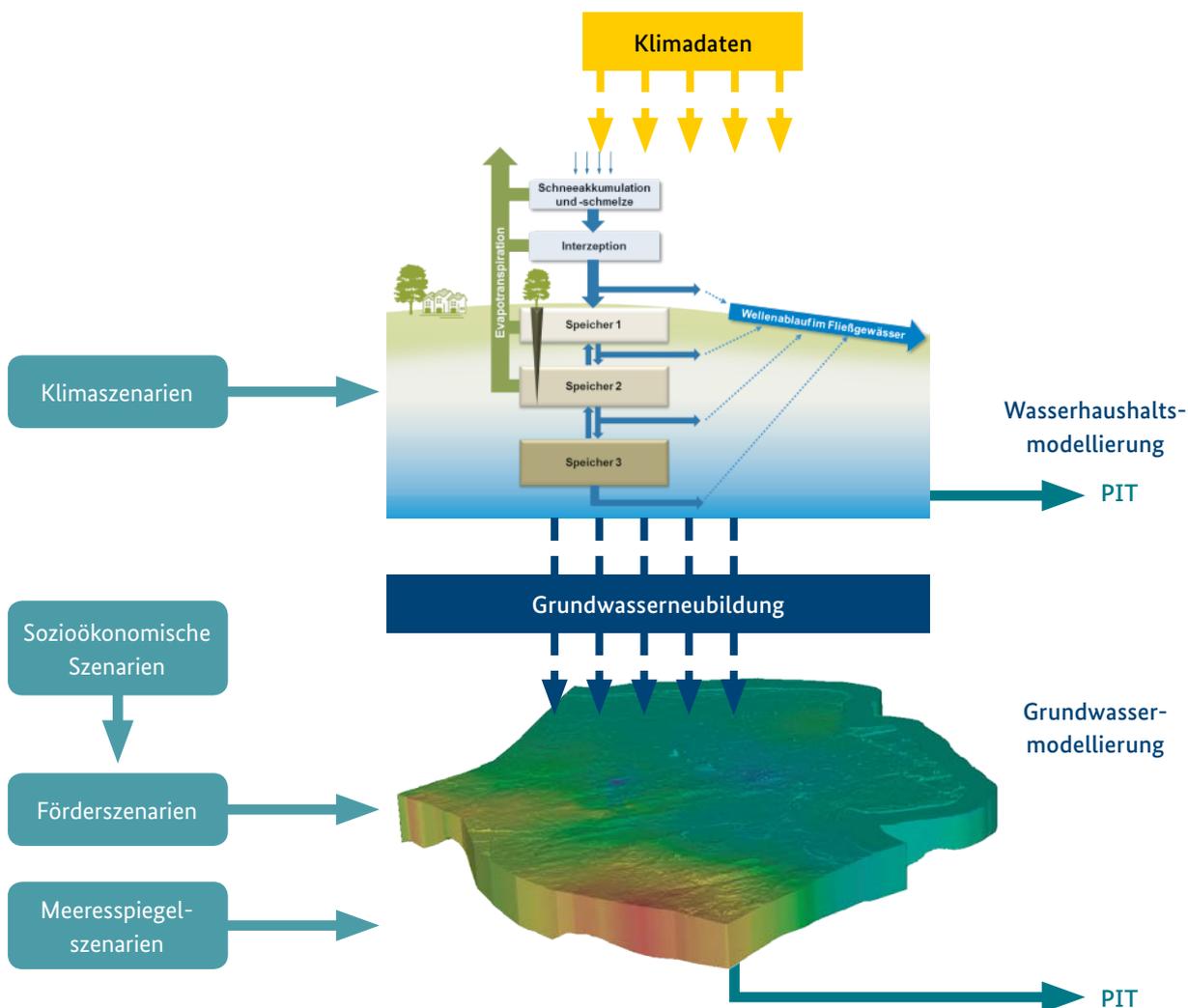


Abb. 1: Verknüpfung der Szenarien in der Modellkette und anschließende Übergabe an das Planungsinstrumentarium (PIT) am Beispiel der Modellregion Sandelermöns. Quelle: Abteilung HYWAG am Leichtweiß-Institut für Wasserbau, TU Braunschweig

Auch bei umfangreichen Kenntnissen über die Einflussgrößen kann die tatsächliche zukünftige Entwicklung der Wasserversorgung nicht in allen Einzelaspekten belastbar prognostiziert werden. Mit Hilfe der Szenariotechnik wurden daher die für die Beurteilung der Zukunft der Wasserversorgung relevanten Entwicklungsmöglichkeiten für die gewählten Modellregionen abgeleitet und beschrieben. Das Ziel dieser Vorgehensweise: eine Bandbreite unterschiedlicher plausibler Zukunftsentwürfe aufzuzeigen, anstatt einen einzigen Fall zu prognostizieren. Als wesentliche Treiber für eine sich verändernde Wasserwirtschaft an der Nordseeküste haben sich herausgestellt: klimatische Veränderungen, die damit einhergehende Änderung des Meeresspiegels und Änderungen des Wasserbedarfs, insbesondere im Zuge sozioökonomischer Entwicklungen. Hierfür wurden Szenarien entwickelt und die entsprechenden Informationen in den Modellen umgesetzt.

Am Beispiel der ostfriesischen Halbinsel lässt sich die Komplexität des Einflusses des klimatischen und demografischen Wandels besonders eindrucksvoll aufzeigen.

Ein Großteil der Halbinsel wurde durch Eindeichung gewonnen und wird durch ein Entwässerungssystem, bestehend aus Gräben, Pumpstationen und Sielen, trocken gehalten. Die Wasserversorgung in diesen Regionen hat die Aufgabe zu überprüfen, inwieweit der Anstieg des Meeresspiegels mit einem daraus resultierenden Vordringen von Salzwasser in die Randbereiche der Küstengrundwasserkörper und eine veränderte Niederschlagsverteilung das Dargebot einschränken. Die dafür untersuchte Modellregion Sandelermöns umfasst etwa 1.000 km<sup>2</sup>. In der Modellregion befinden sich sechs Auslassbauwerke (Schöpfwerke und Siele) an der etwa 63 km langen Küstenlinie. Ein Großteil des heutigen Marschgebietes wurde durch Landgewinnungsmaßnahmen gewonnen und war in der Vergangenheit immer wieder von Sturmfluten betroffen. Als Konsequenz sind etwa 40 Prozent des Grundwassers in dieser Region komplett versalzt. Die drei auf der Geest befindlichen Wasserwerke fördern ein Gesamtvolumen von rund 16,4 Mio. m<sup>3</sup> Grundwasser für die öffentliche Trinkwasserversorgung. Weitere Förderanlagen werden im Bereich Industrie, Landwirtschaft und Privathaushalte betrieben. Die Verknüpfung der Szenarien in der Modellkette und die Übergabe an das PIT am Beispiel der Modellregion Sandelermöns sind in Abbildung 1 dargestellt.

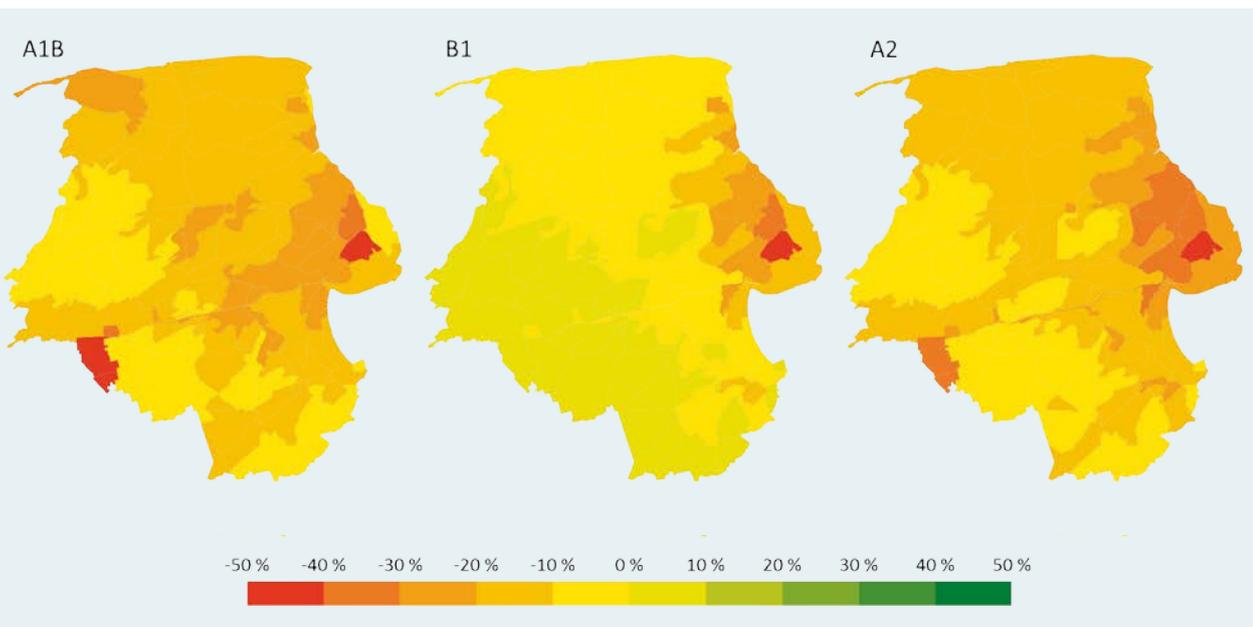


Abb. 2: Relative prozentuale Änderung der Grundwasserneubildung für die Modellregion Sandelermöns von 2021–2050 im Verhältnis zum Zeitraum 1971–2000 (Szenario A1B, B1 und A2; WETTREG 2010; Mittelwert aus zehn Realisationen). Quelle: Abteilung HYWAG am Leichtweiß-Institut für Wasserbau, TU Braunschweig

## Klimatische Entwicklung

Als Klimaszenarien bis zum Jahr 2100 wurden Stationsdaten des statistischen Regionalisierungsverfahrens WETTREG 2006 und WETTREG 2010 verwendet. Sie basieren auf einem globalen Klimamodell, angetrieben mit unterschiedlichen CO<sub>2</sub>-Emissionenentwicklungen der Zukunft (SRES-Szenarien: A1B, A2 und B1). Zur Abschätzung der wasserwirtschaftlichen Entwicklungen in den Modellregionen bis ins Jahr 2100 wurden die WETTREG-Szenarien und jeweils ein WETTREG-Kontrolllauf in einem an Messwerten kalibrierten und validierten Wasserhaushaltsmodell verwendet. Anhand der Übereinstimmung zwischen Kontrolllauf und simulierter Historie wurde geprüft, ob das Modell für die Szenarienberechnung geeignet ist. Die Überein-

stimmung bei WETTREG 2010 war dabei höher als bei WETTREG 2006. Aufgrund der im Verhältnis pessimistischeren Prognose des Wasserdargebots bei WETTREG 2010 wurde WETTREG 2006 jedoch weiterhin berücksichtigt.

Zur Abschätzung des zukünftigen Grundwasserdargebots wurden die Wasserhaushaltsgrößen Gebietsniederschlag, Abflusskomponenten und Evapotranspiration berechnet. Dabei stand die Grundwasserneubildung als Schnittstelle zwischen dem Wasserhaushaltsmodell und dem Grundwassermodell im Fokus (siehe Abbildung 2). Sie ist ein wesentlicher Indikator für nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung.

## Prognosen des Meeresspiegelanstiegs

Als Randbedingung für die Modellierung der Grundwasserströmungen im Küstenbereich wurden unterschiedliche Szenarien der Meeresspiegelentwicklung in der Nordsee verwendet. Zugrunde gelegt wurden Berechnungen des Integrated Climate Data Center (ICDC) der Universität Hamburg für den Fünften IPCC-Report. Hier wurden die mittleren relativen Meeresspiegeländerungen bis in das Jahr 2100 berechnet. Durch Verknüpfung dieser Meeresspiegelveränderungen mit mittleren gemessenen Pegelständen wurde die Meeresspiegelentwicklung auf die Modellregion

herunterskaliert und als Randbedingung für die dichteabhängige Grundwassermodellierung verwendet.

Die sich für die Nordsee ergebenden mittleren relativen Meeresspiegelanstiege bezogen auf den Zeitraum 1986 bis 2005 für unterschiedliche Szenarien sind in Abbildung 3 dargestellt. Die Daten zeigen einen deutlichen Anstieg des Meeresspiegels der Nordsee. Durch Verknüpfung mit den Tidepegeln im Küstenbereich der Nordsee ergeben sich die am Grundwassermodell angesetzten mittleren Meeresspiegelanstiege für die Modellregion.

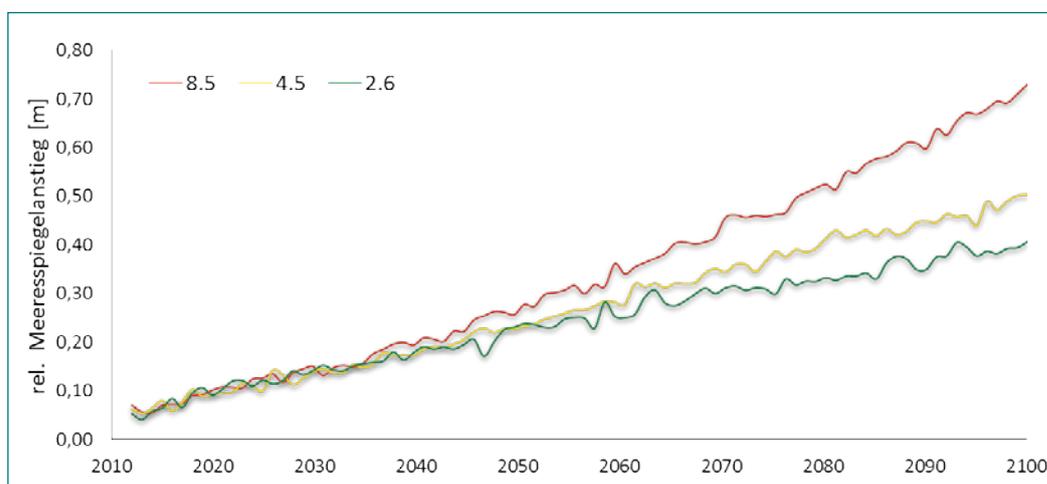


Abb. 3: Als Randbedingung am Grundwassermodell angesetzter, mittlerer, relativer Meeresspiegelanstieg für die Nordsee bezogen auf den Zeitraum 1986–2005 nach verschiedenen Representative Concentration Pathway-Szenarien (RCPs). Quelle: Abteilung HYWAG am Leichtweiß-Institut für Wasserbau, TU Braunschweig

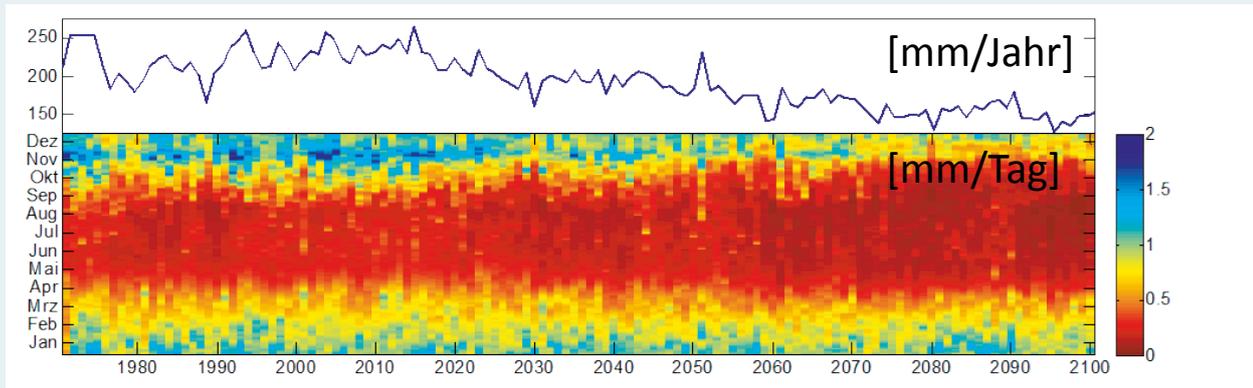


Abb. 4: Grundwasserneubildung für die Geest (Szenario A1B; WETTREG 2010; Mittelwert aus zehn Realisationen). Oben: Entwicklung von 1970 bis 2100 in mm/Jahr, unten: Jahresgang in mm/Tag. Quelle: Abteilung HYWAG am Leichtweiß-Institut für Wasserbau, TU Braunschweig

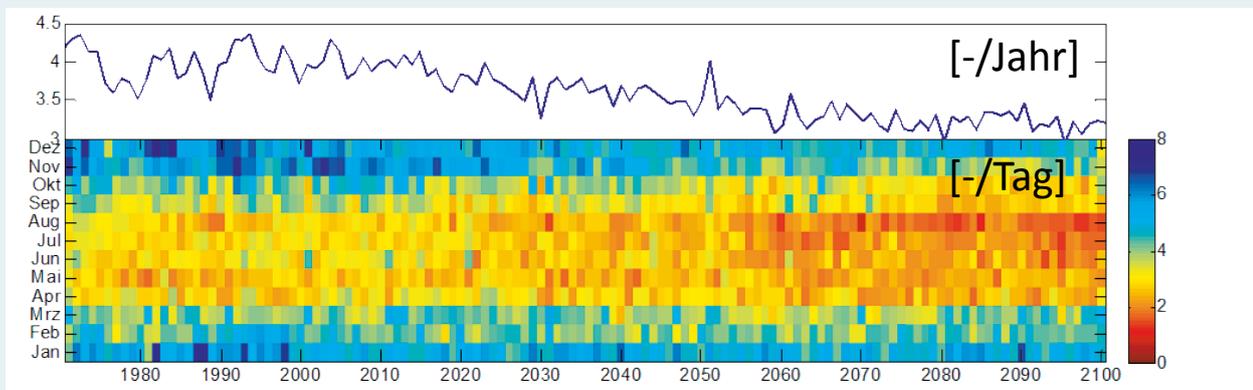


Abb. 5: Trockenheitsindizes nach de Martonne für die Modellregion Sandelermöns (Szenario A1B; WETTREG 2010; Mittelwert aus zehn Realisationen). Der Index wird aus Temperatur und Niederschlag berechnet, kleinere Werte indizieren trockenere Perioden. Quelle: Abteilung HYWAG am Leichtweiß-Institut für Wasserbau, TU Braunschweig

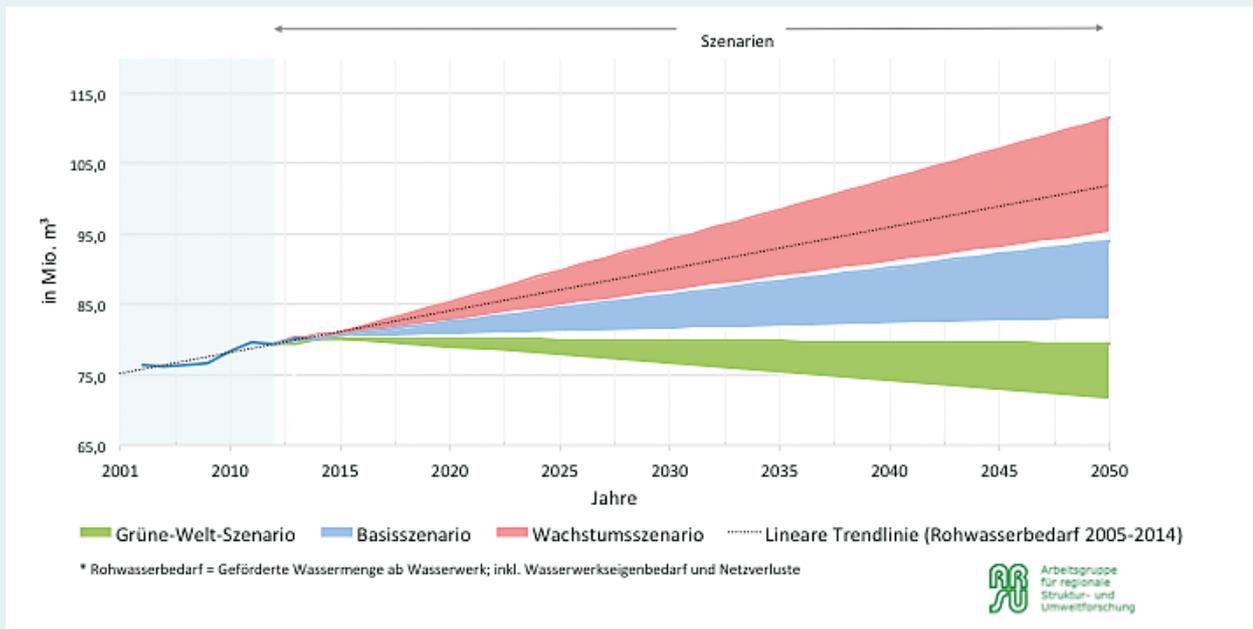


Abb. 6: Entwicklung des Rohwasserbedarfs auf Grundlage der Bedarfsszenarien für das Verbandsgebiet des Wasserversorgers bis zum Jahr 2050. Auf Grundlage der Gesamtszenarien wurden Fördermengen in den jeweiligen Szenarien für das Gebiet Sandelermöns abgeleitet. Quelle: Eigene Darstellung, Rohwasserdaten: OOWV, Szenarien: Eigene Berechnung

## Beeinträchtigungen auf der Dargebotsseite

Die basierend auf den Klimaprognosen durchgeführten umfangreichen Wasserhaushaltsmodellierungen der Oberflächenhydrologie weisen langfristig auf eine Abnahme der Grundwasserneubildung bis 2100 hin (siehe Abbildung 4). Auch Dürreperioden werden zunehmen (siehe Abbildung 5); somit steigt grundsätzlich der landwirtschaftliche Bewässerungsbedarf. Daraus lässt sich die Notwendigkeit von Anpassungsstrategien aus zweierlei Systemreaktionen ableiten: Das Dargebot wird langfristig nicht im aktuell stattfindenden Umfang neugebildet (Negativ-Trend im Volumen des Grundwasserdargebots), und aufgrund eines geringeren Grundwasserabstroms kann es zu einer verstärkten Meerwasserintrusion kommen. Ein negativer Trend in der Grundwasserneubildung wirkt sich auch auf die Grundwasserexfiltration in die Vorfluter und auf die Sieltätigkeit aus. Grundsätzlich übt die Sieltätigkeit einen großen Einfluss auf den Gebietswasserhaushalt aus und übersteigt in der Wasserbilanzgleichung die aktuelle Grundwasserförderung bei weitem. Ein großer Einfluss auf das Grundwasserangebot in der Marsch kann auch dem Grundwasserzustrom aus der Geest in Richtung Küste zugeschrieben werden.

## Sozioökonomische Szenarien

Für die Modellregion Sandelermöns wurden drei gesamtgesellschaftliche Szenarien (Wachstumsszenario, Basisszenario, Grüne-Welt-Szenario) entwickelt. Dazu wurden aktuelle Studien, Leitbilder und Visionen zur regionalen Entwicklung ausgewertet und auf die Analyse des zukünftigen Trinkwasserbedarfs angewendet. Die den Szenarien zugrundeliegenden Annahmen wurden in einem Workshop mit Experten aus Landwirtschaft, Wirtschaftsförderung, Naturschutz und Wasserwirtschaft diskutiert und entsprechend angepasst.

## Wasserbedarfsprognosen

In einem mehrstufigen Verfahren wurde der Wasserbedarf bis zum Jahre 2050 für die Sektoren Industrie und Gewerbe, Landwirtschaft, Haushalte, Tourismus und Kleingewerbe abgeschätzt (siehe Abbildung 6).

Die Wasserbedarfsszenarien für die einzelnen Sektoren zeigen: Die langfristige Sicherung der Trinkwasserversorgung kann für die zukünftige regionale Entwicklung von entscheidender Bedeutung sein. Sowohl im Wachstumsszenario als auch im Basisszenario wird insgesamt von einem steigenden Wasserbedarf ausgegangen. Dieses Wachstum findet insbesondere in den Sektoren Landwirtschaft sowie Industrie und Gewerbe statt. Der demografische Wandel sowie mögliche positive Effekte des Klimawandels auf den Tourismus sind langfristig zu vernachlässigen. Die besondere Problematik ergibt sich dabei langfristig aus dem komplexen Zusammenspiel von Grund- und Oberflächenwasser. Die öffentliche Wasserversorgung konkurriert hierbei mit den privaten Wasserentnahmen. Letztere werden unter den Bedingungen des

Klimawandels eher zunehmen (beispielsweise Wasserbedarf der Landwirtschaft).

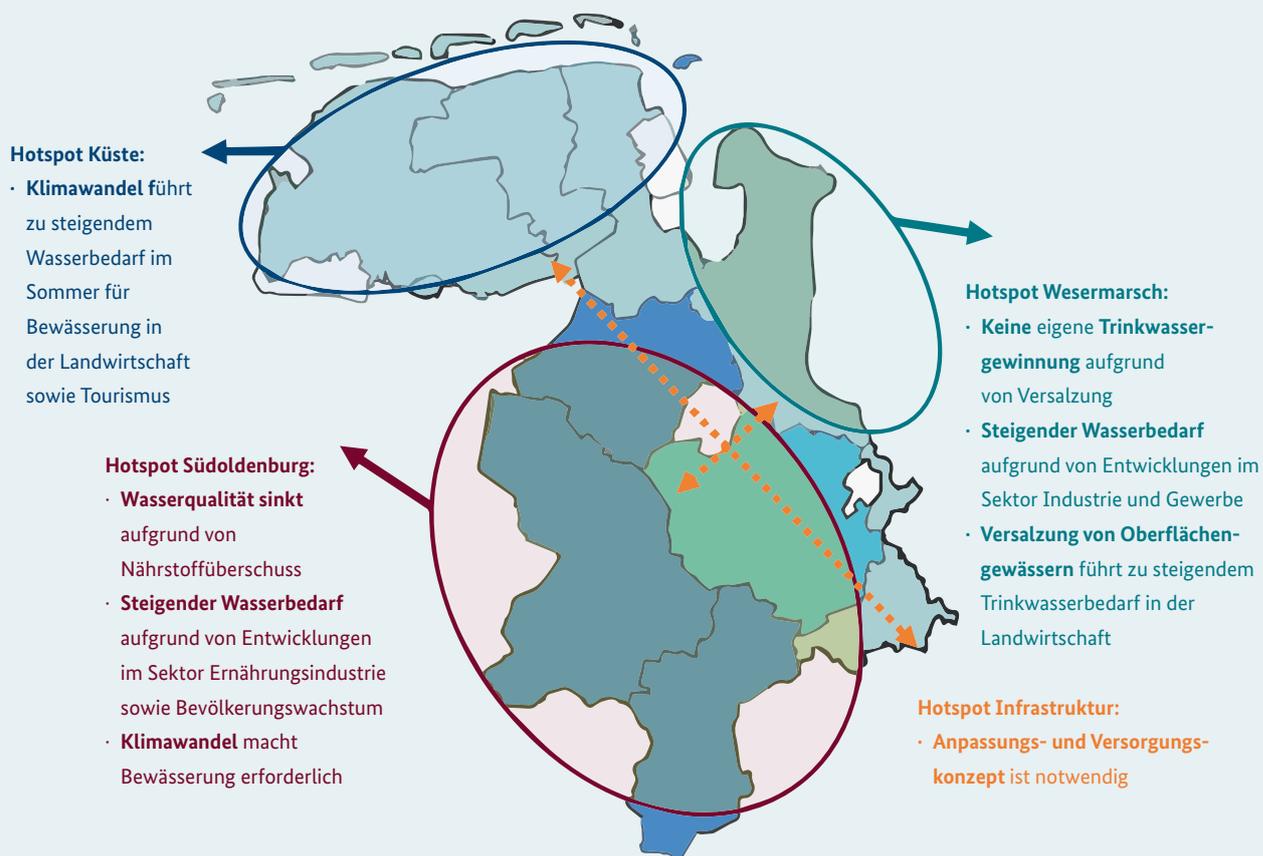
## Beeinträchtigungen auf der Nachfrageseite

Generell müssen sich alle Wasserversorger außerhalb der Großstädte, die große Regionen versorgen, mit einem Rückgang der Abnehmerdichte auseinandersetzen. Dies beinhaltet erhöhte Standzeiten des Trinkwassers im Rohrnetz mit der Gefahr von Verkeimung. Die Entwicklung des Wasserbedarfs verläuft in den Regionen in Deutschland sehr unterschiedlich. Während in einigen Landesteilen vor allem demografisch bedingt die Wassernachfrage zum Teil deutlich zurückgeht, wird für die Modellregion Sandelermöns von einem weiter steigenden Wasserbedarf ausgegangen. Dabei zeigt sich jedoch innerhalb des Verbandsgebietes des OOWV ein sehr heterogenes Bild (siehe Abbildung 7). Diese spezifischen Problemlagen erfordern auch differenzierte Handlungsstrategien.

## Anforderungen an Anpassungsstrategien

Die Komplexität der Einflussgrößen auf Dargebots- und Nachfrageseite sowie der über mehrere Jahrzehnte in die Zukunft gerichtete Blick bei Investitionsentscheidungen erzeugen ein großes Maß an Ungewissheit bei der Bewertung der zukünftigen Entwicklung. Anpassungsstrategien sind ein wichtiges Element, den Herausforderungen zu begegnen. Sie helfen insbesondere, die Komplexität (z. B. durch Ermitteln sensitiver Parameter) und Ungewissheit (z. B. durch Einsatz von Szenarien) in den Fragestellungen zu beherrschen. Im Bilanzansatz werden Wasserverfügbarkeit (Wasserdargebot) und Nachfrage (Wasserbedarf) im sozioökonomischen Kontext bilanziert. Die hydrologischen und sozioökonomischen Prozesse liefern die Randbedingungen. Welche Strategien und Anpassungsmaßnahmen durch die genannten Veränderungen und eventuellen Risiken erforderlich werden, kann letztlich nur mit einer umfassenden Analyse durch ein entsprechendes Planungsinstrumentarium beantwortet werden (siehe Beitrag F1).

Komplexität und Ungewissheit lassen sich prinzipiell nur bis zu einem gewissen Grad eingrenzen; es verbleiben eine der Fragestellung inhärente Komplexität und Ungewissheit, die auch in den nicht-wissenschaftlichen Bereich kommuniziert werden müssen. Um eine belastbare Grundlage für Anpassungsstrategien, die auch eine Priorisierung der Zielsetzungen ermöglichen, zur Verfügung stellen zu können, ist es erforderlich, Datenlage und Prozessverständnis zu verbessern. Lokale Akteure in den gesamten Prozess der Erstellung von Anpassungsstrategien einzubinden, ist eine Erfolgsvoraussetzung. Andernfalls lassen sich Anpassungsstrategien im beschriebenen Spannungsfeld nur schlecht umsetzen.



#### Entwicklung Trinkwasserbedarf\* bis 2050 in den Landkreisen

(Vergleichsjahr 2010) im Basis-Szenario

- Trinkwasserbedarf steigt stark an
- Trinkwasserbedarf steigt mäßig an
- Trinkwasserbedarf steigt gering bis gar nicht an

\* Trinkwasserbedarf = Wasserbedarf ab Zähler  
(ohne Wasserwerkseigenbedarf und Netzverluste)

Abb. 7: Hotspots des Wasser- und Infrastrukturbedarfs mit Einfluss auf die Modellregion Sandelermöns bis zum Jahr 2050 (Basiszenario).  
Quelle: Eigene Berechnung, Kartengrundlage: Landesamt für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen (LGLN).

#### Autoren und Autorin:

Mathias Riechel, Hagen Hürter  
und Pascale Rouault

#### Projekt: KURAS

#### Literatur:

Graf, H. G., und G. Klein (2003):  
In die Zukunft führen. Strategie-  
entwicklung mit Szenarien,  
Zürich.

Hürter, H., et al. (2015):  
Integrated modelling and evalua-  
tion of adaptation measures in a  
metropolitan wastewater system.  
Proceedings of the 10th Urban  
Drainage Modelling Conference,  
21 – 23 September 2015, Quebec  
(Canada).

Libbe, J. (2015): Szenarien und  
Modelle zu intelligenten und  
multifunktionellen Infrastruk-  
turen, in: KA Korrespondenz  
Abwasser, Abfall, Jg. 62 (2015)  
Nr. 7, S. 594 f.

Möller, K., N. Kade, L. Havermeier,  
F. Paproth, J. Burgschweiger,  
E. Wittstock, M. Günther,  
K. Naumann und J. Broll (2008):  
Wasserversorgungskonzept für  
Berlin und für das von den BWB  
versorgte Umland (Entwicklung  
bis 2040), Berlin.

Senatsverwaltung für Stadtent-  
wicklung und Umwelt (2012):  
Bevölkerungsprognose für Berlin  
und die Bezirke 2011 – 2030,  
<http://www.stadtentwicklung.berlin.de> [Stand 04.03.2014].

## B<sub>3</sub>

# Klima- und Demografieszenarien für die urbane Abwasserentsorgung

## Hintergrund

Viele städtische Abwassersysteme stehen bereits heute vor erheblichen Herausforderungen, die dringend Anpassungsmaßnahmen erfordern. Aufgrund der langen Nutzungsdauern (typischerweise 50 bis 100 Jahre) sollte jedoch gewährleistet sein, dass ergriffene Maßnahmen auch unter sich ändernden Randbedingungen wirksam sind. Zur Beurteilung zukünftiger Herausforderungen und möglicher Anpassungsmaßnahmen eignen sich Szenarien, die die wichtigsten Einflussgrößen der zukünftigen Entwicklung berücksichtigen. Vor diesem Hintergrund erarbeitete das Forschungsvorhaben KURAS Klima- und Demografieszenarien für das Berliner Mischwasser-einzugsgebiet „Wilmerdorf“ (Zeithorizont 2050). Die Szenarien stellen Randbedingungen für die numerischen Modelle dar, mit denen mögliche Anpassungsmaßnahmen untersucht und bewertet wurden.

## Allgemeines Vorgehen

Um die Szenarien zu erstellen, ermittelte KURAS im ersten Schritt die wichtigsten Herausforderungen und ihre jeweiligen Einflussgrößen („Treiber“). Die Herausforderungen bestehen im Wesentlichen aus i) einer hydraulischen Überlastung des Abwassersystems bei Starkregen, die beispielsweise zu Mischwasserüberläufen, Überflutungen oder einer Verschlechterung der Ablaufwerte im Klärwerk führen kann, sowie ii) einer Unterauslastung bei Trockenwetter, in deren Folge z. B. Geruch und Korrosion im Kanal oder Pumpenverstopfungen auftreten können. Für den Überlastfall bei Starkregen sind das Niederschlagsverhalten und die Flächenversiegelung die wichtigsten Treiber. Für den Unterlastfall bei Trockenwetter sind vor allem die Bevölkerungszahl und der spezifische Wasserverbrauch von Bedeutung.

Im zweiten Schritt wurden Daten für die zukünftige Entwicklung der „Szenarientreiber“ gesichtet. Unter Berücksichtigung der erheblichen Prognoseunsicherheiten entwarf KURAS drei Pfade der zukünftigen Entwicklung. Während das Basisszenario 2050 einen mittleren Pfad bezüglich der zu erwartenden Veränderungen beschreibt, liegen den Extremszenarien für Überlast und Unterlast „Worst-case“-Annahmen für die jeweiligen Treiber zugrunde. Abbildung 1 zeigt den sogenannten Szenarientrichter für das Projekt KURAS.

Im dritten Schritt wurden die gesichteten Prognosedaten für Niederschlag, Bevölkerungsentwicklung, Flächenversiegelung und Wasserverbrauch in konkrete Randbedingungen für die einzelnen Zukunftsszenarien übersetzt.

## Prognosen und Randbedingungen

### Niederschlag

Bei den Niederschlagsdaten bestand die erste Herausforderung darin, einen repräsentativen Ist-Zustand („Status quo“) abzubilden. Da es aufgrund des hohen Rechenaufwands und der Vielzahl zu untersuchender Varianten nicht möglich war, eine Langzeitsimulation über 30 Jahre durchzuführen, wurde ein für die aktuelle Klimaperiode (1981–2010) repräsentatives Niederschlagsjahr ermittelt. Die Repräsentativität der Einzeljahre einer ortsnahen Regenreihe (Zeitschritt: 5 min) wurde für verschiedene Niederschlagsseigenschaften geprüft:

- Niederschlagssumme übers Jahr sowie im Sommer- und Winterhalbjahr,
- Anzahl starker Niederschlagsereignisse mit Wiederkehrhäufigkeiten von 4/a und 0,2/a in den Dauerstufen 60 und 120 min,
- Anzahl an Trockenperioden mit 5 bis 10, 10 bis 20 und mehr als 20 Tagen Länge.

Für das Status-quo-Szenario wurde das Niederschlagsjahr ausgewählt, das im Mittel aller Eigenschaften am wenigsten vom Mittelwert der Gesamtreihe 1981–2010 abweicht.

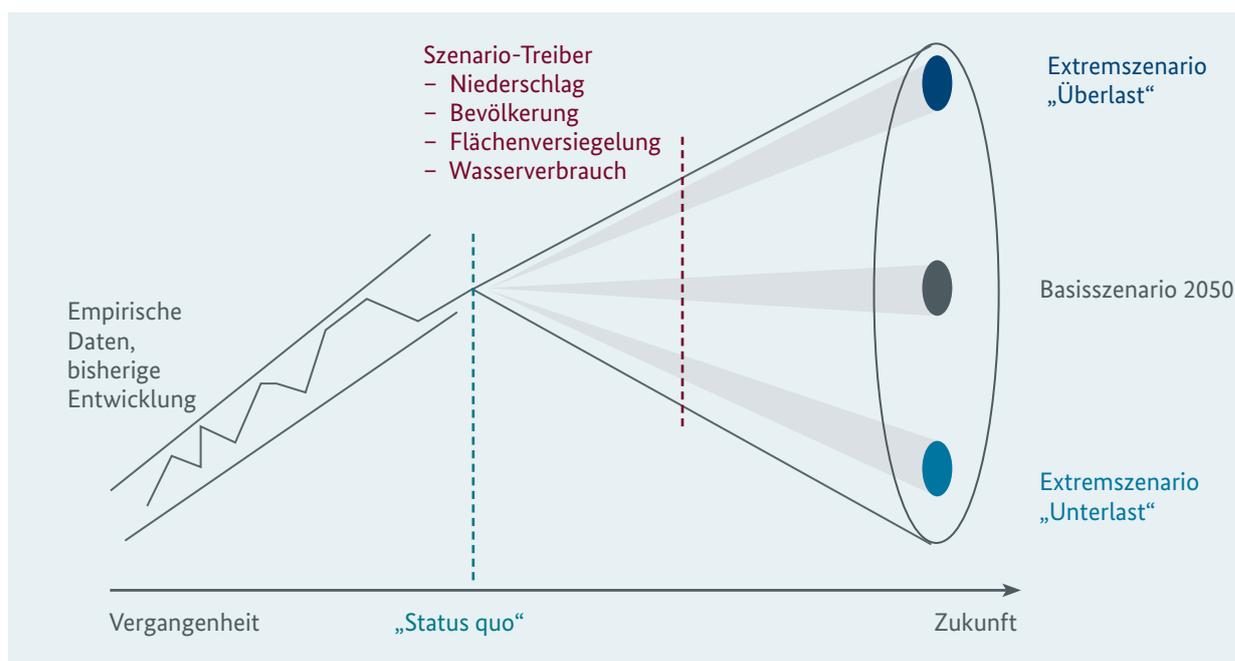


Abb. 1: Szenarientrichter für das Projekt KURAS. Quelle: Eigene Darstellung, nach Graf & Klein 2003 (verändert)

Für die Zukunftsszenarien wurden Berechnungsergebnisse des regionalen Klimamodells CLM, angetrieben mit dem Emissionsszenario A1B, für sechs Rasterpunkte ausgewertet. Auch wenn die Daten aufgrund der geringen zeitlichen Auflösung (Zeitschritt: 1 h) nicht direkt als Eingangsdaten für die Modellierung verwendet werden konnten, so ließen sich dennoch Trends für die oben genannten Niederschlagsseigenschaften ermitteln, mit denen die Einzeljahre der Messreihe verglichen wurden. Aufgrund der geringen Abweichung des für Berlin prognostizierten Trends fiel die Wahl für das Basisszenario 2050 auf dasselbe Niederschlagsjahr wie für den Status quo. Für die beiden Extremszenarien wurden die Messjahre mit der größten Häufung starker Regenereignisse (Extremszenario „Überlast“) und langer Trockenperioden (Extremszenario „Unterlast“) ausgewählt.

## Bevölkerung

Bezüglich der zukünftigen Bevölkerungsentwicklung verwendete KURAS die durch die Berliner Senatsverwaltung auf Grundlage der „lebensweltlich orientierten Räume“ erstellte Bevölkerungsprognose für das Jahr 2030. Hierfür wurden die drei Entwicklungspfade der Prognose übernommen und bis ins Jahr 2050 fortgeschrieben (siehe Abbildung 2).

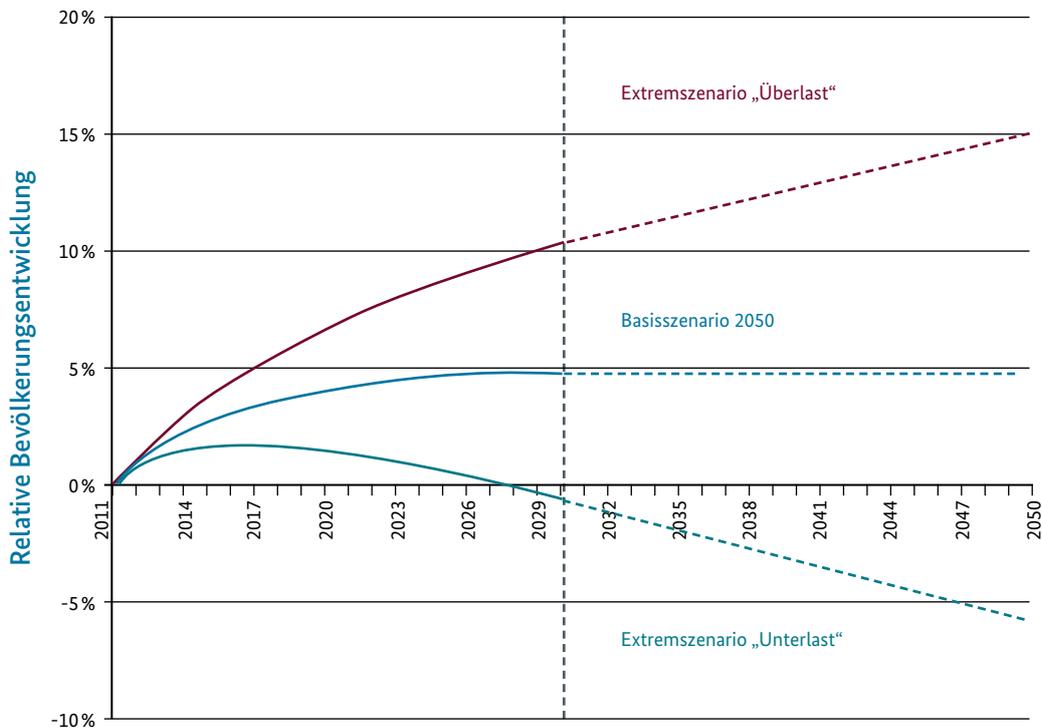


Abb. 2: Prozentuale Entwicklung der Bevölkerung im Modellgebiet vom Jahr 2011 bis zum Jahr 2030 unter Fortschreibung bis zum Jahr 2050. Quelle: Eigene Darstellung

## Flächenversiegelung

Bezüglich der zukünftigen Flächenversiegelung waren keine konkreten Prognosen verfügbar. Daher nahm KURAS für alle drei Zukunftsszenarien an, dass der Anteil der versiegelten Dach- und Hofflächen im Einzugsgebiet proportional zur Bevölkerungsentwicklung zu- bzw. abnimmt (konstanter Pro-Kopf-Flächenverbrauch). Die Grünflächen wurden entsprechend verkleinert bzw. vergrößert. Der Anteil an versiegelten Straßenflächen blieb konstant.

## Wasserverbrauch

Eine Prognose des spezifischen häuslichen Wasserverbrauchs für den Raum Berlin wurde im Rahmen des Wasserversorgungskonzepts der Berliner Wasserbetriebe für das Jahr 2040 in drei Varianten erstellt. Für das in KURAS entwickelte Basisszenario 2050 wurde der mittlere Pfad der Prognose (Abnahme um 15 Prozent) verfolgt. Für das Extremszenario „Unterlast“ wurde mit dem derzeitigen Pro-Kopf-Verbrauch der Stadt Leipzig (Abnahme um 35 Prozent) als Minimalbeispiel gerechnet. Dem Extremszenario „Überlast“ wurde ein gleichbleibender Wasserverbrauch zugrunde gelegt. Bei allen Varianten wurde von einer gleichbleibenden Pro-Kopf-Schmutzfracht ausgegangen, weshalb die Konzentrationen im anfallenden Schmutzwasser entsprechend angepasst wurden.

Die den einzelnen Szenarien zugrunde liegenden Randbedingungen fasst Tabelle 1 zusammen.

**Tab. 1: Randbedingungen für den Status quo und die drei Entwicklungsszenarien**

	Status quo	Extremszenario „Unterlast“	Basisszenario 2050	Extremszenario „Überlast“
Niederschlag	„mittleres“ Jahr 1990 <sup>1</sup>	„trockenes“ Jahr 2003 <sup>1</sup>	„mittleres“ Jahr 1990 <sup>1</sup>	„regenreiches“ Jahr 2007 <sup>1</sup>
Befestigte Fläche <sup>2</sup>	921 ha	886 ha (-4 %)	938 ha (+2 %)	986 ha (+7 %)
Bevölkerungszahl	264 732	249 510 (-6 %)	277 307 (+5 %)	304 971 (+15 %)
Wasserverbrauch	132 L/(E•d)	86 L/(E•d) (-35 %)	113 L/(E•d) (-15 %)	132 L/(E•d) (± 0 %)

Quelle: Eigene Darstellung

<sup>1</sup> Als „mittleres“ Niederschlagsjahr wurde das Jahr 1990, als „trockenes“ Jahr das Jahr 2003 und als „feuchtes“ Jahr das Jahr 2007 identifiziert.

<sup>2</sup> Die versiegelte Fläche setzt sich aus Dach-, Hof- und Straßenflächen zusammen, wobei nur die Dach- und Hofflächen verändert wurden.  
E: Einwohner (Anzahl), d: Zeiteinheit „days“ = Tage

## Verwendung der Szenarien

Mithilfe der entwickelten Szenarien schätzte KURAS zunächst ab, inwieweit sich bereits heute beobachtete Herausforderungen der Abwasserinfrastruktur in Zukunft verstärken können. Darüber hinaus wurde die Wirkung von Maßnahmen unter sich ändernden Randbedingungen beurteilt.

Autor:

Theo Schmitt

Projekt: SinOptiKom

## B4

# Wasserinfrastruktur und demografischer Wandel: Folgen im ländlichen Raum

## Hintergrund

Die Infrastrukturen der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung werden in ländlichen Regionen zunehmend durch den demografischen und wirtschaftsstrukturellen Wandel in ihrer Funktionalität und ihrem wirtschaftlichen Betrieb beeinträchtigt. Insbesondere kleinere, peripher gelegene Dörfer und Streusiedlungen können von Bevölkerungsrückgängen so stark betroffen sein, dass die Infrastrukturen in ihrer gegenwärtigen Form finanziell nicht mehr tragfähig – und/oder auch nicht mehr betriebsicher – sein werden. Gleichzeitig müssen die Kommunen ihre Aufgaben der öffentlichen Daseinsvorsorge für die verbleibende, zum Teil finanziell unterdurchschnittlich leistungsfähige Bevölkerung erfüllen. Sowohl die Weiterführung bestehender, oftmals überdimensionierter zentraler Systeme als auch deren Anpassung durch strukturelle Veränderungen und eine langfristige Systemtransformation stellen hier eine besondere finanzielle Herausforderung dar. Einschränkungen beim Nutzerkomfort der Ver- und Entsorgung würden die Attraktivität dieser Siedlungen als Wohnstandorte (weiter) verringern und damit negative strukturelle Rückkopplungen erzeugen.

Um diese Herausforderungen zu bewältigen, bedarf es innovativer, flexibler Konzepte und Strukturen der kommunalen Wasserwirtschaft – mit weitreichenden Anpassungen bis hin zu einem langfristig angelegten, dynamisch vollzogenen Systemwechsel. Der Anpassungsdruck verstärkt sich auch in ländlichen Gemeinden noch durch Erfordernisse der Nachhaltigkeit, des Klimaschutzes und der Klimaanpassung sowie der veränderten energiepolitischen Weichenstellungen.

Zwar existieren fundierte regionalisierte Prognosen zur zukünftigen Entwicklung der Bevölkerung in ländlichen Räumen. Wie sehr einzelne Siedlungs- und Versorgungseinheiten betroffen sind, ist aufgrund der ortsspezifischen Gegebenheiten und Besonderheiten jedoch mit großen Ungewissheiten behaftet. Diese Ungewissheiten werden noch verstärkt durch erwartete, zum Teil bereits stattfindende erhebliche Veränderungen im Verbrauchs- und Nutzerverhalten. Diese wirken sich auf die zukünftige Nachfrage nach „Leistungen“ der Wasser- und Abwasserinfrastruktur aus. Hinzu kommen die möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf das Niederschlagsgeschehen und das lokale Wasserdargebot.

## Ziele des INIS-Projekts SinOptiKom

Im BMBF-geförderten Verbundvorhaben SinOptiKom wurden mögliche zukünftige Entwicklungen ländlich strukturierter Regionen und Siedlungen am Beispiel zweier Modellgemeinden in Rheinland-Pfalz nordöstlich bzw. nördlich von Kaiserslautern betrachtet. Dazu analysierte SinOptiKom veränderte Rahmenbedingungen über ausgewählte Zukunftsszenarien und Handlungsoptionen mithilfe eines innovativen softwaregestützten Optimierungs- und Entscheidungssystems mit multikriterieller Bewertung.

Hauptprojektziel war es, intelligente, zukunftsfähige Systemstrukturen zu ermitteln. Es wurden Handlungsempfehlungen für strategische Entscheidungen zu der

Frage erarbeitet, wie sich Maßnahmen zur Anpassung, Weiterentwicklung und Transformation der Wasserinfrastruktursysteme in ihrer konkreten zeitlichen Abfolge planerisch, technisch sowie kommunal- und finanzpolitisch umsetzen lassen. Besonderes Augenmerk galt der mit dem Planungshorizont zunehmenden Ungewissheit zukünftiger Einflussgrößen und Rahmenbedingungen für den Anpassungs- und Transformationsprozess – dies vorrangig in Bezug auf Siedlungsstruktur, Flächennutzung und Bevölkerungsentwicklung. Damit verbundene politische Zielvorgaben sowie betriebswirtschaftliche und gebührenrechtliche Fragen rückten ebenfalls ins Forschungsinteresse.

## Analyse von Entwicklungsszenarien

Wie sich zukünftige Entwicklungen auswirken, lässt sich trotz der erheblichen Ungewissheiten mittels Entwicklungsszenarien in unterschiedlicher Ausprägung und Überlagerung einzelner Einflussgrößen analysieren. Das im Rahmen von SinOptiKom entwickelte Optimierungs- und Simulationsmodell zur Entscheidungsunterstützung ermöglicht es, die darin betrachte-

ten Entwicklungen und durch fachliche und/oder politische Entscheidungen erzielbaren Wirkungen für die kommunalen Akteure anschaulich zu illustrieren.

Abbildung 1 zeigt das Spektrum relevanter Einflussgrößen („Treiber“) für den Betrieb kommunaler Wasserinfrastruktursysteme.

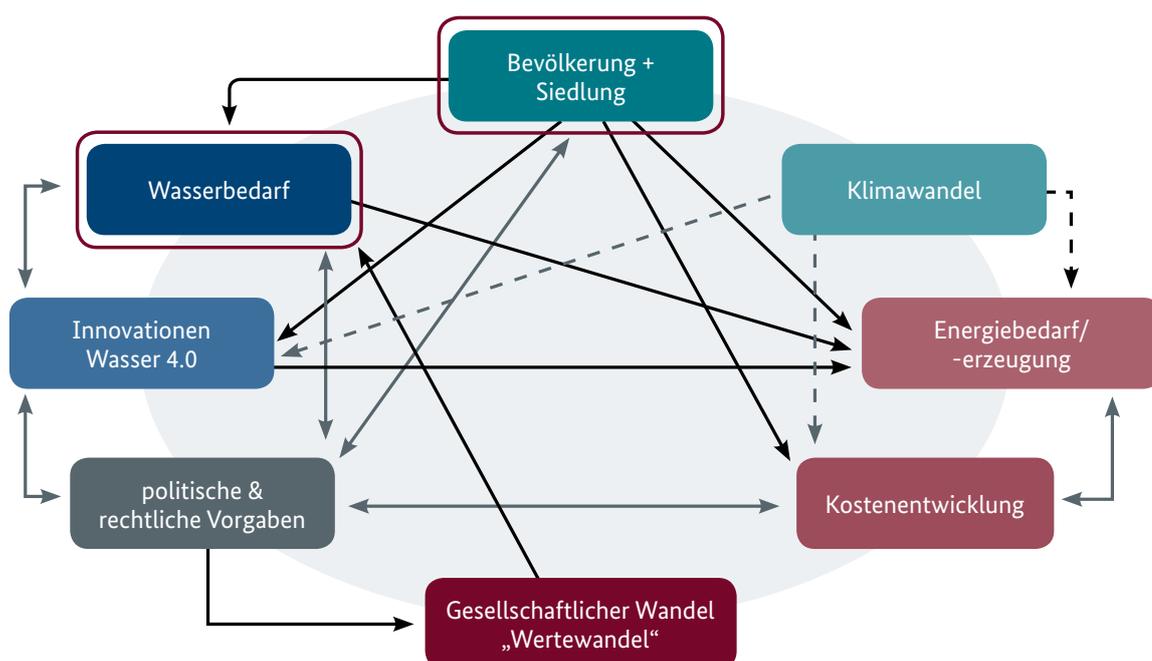


Abb. 1: Treiber zur Weiterentwicklung kommunaler Wasserinfrastruktursysteme. Quelle: SinOptiKom

Für den ländlichen Raum erscheint die zukünftige Entwicklung der Bevölkerung, gegebenenfalls in Verbindung mit Veränderungen bei Siedlungsstruktur, Wasserverbrauch, innovativen Technologien und deren Kosten, besonders wichtig. Daneben spielen Änderungen rechtlicher Anforderungen und/oder eine (politische) Neubewertung der kommunalen Pflichtaufgabe „Wasserversorgung-Abwasserentsorgung“ als zentrale Rahmenbedingungen eine bedeutsame Rolle.

So wäre ein generelles Verbot landwirtschaftlicher Klärschlammverwertung entsprechend aktuellen politischen Absichtserklärungen für den ländlichen Raum besonders einflussreich. In Verbindung mit Vorgaben zur Ressourceneffizienz könnten innovative Ansätze zur stofflichen und energetischen Verwertung dadurch

## Entwicklungsszenarien in SinOptiKom

In SinOptiKom standen die Siedlungs- und Bevölkerungsentwicklung sowie – damit verbunden – Veränderungen des Wasserbedarfs und die Umsetzung dezentraler Ver- und Entsorgungskonzepte im Fokus. Die „Worst-case-Betrachtung“ sah folgende Konstellation für die zentrale Wasserinfrastruktur vor: starker Rückgang der Bevölkerung, fortschreitende Entleerung der Dorfkerne, Beschränkung der Neubautätigkeit auf attraktive Randlagen, starker Rückgang des Pro-Kopf-Wasserverbrauchs.

Diese Entwicklung wurde in der Szenarienanalyse mit Konzepten der Stoffstromtrennung und (dezentralem) Grauwasserrecycling überlagert, was zum weiteren drastischen Rückgang des Trinkwasserbedarfs führen würde. Ein hydraulisch und hygienisch sicherer Betrieb zentraler Wasserversorgungssysteme wäre dann zunehmend gefährdet. In den untersuchten Varianten wurde optional eine Löschwasserversorgung außerhalb des zentralen Versorgungsnetzes angenommen, um Hochbehälter und Leitungen kleiner zu dimensionieren. Aber auch diese Maßnahme führte bei gleichzeitigem Grauwasserrecycling zu unbefriedigenden Betriebszuständen im zentralen Versorgungsnetz.

auch in der Abwasserentsorgung ländlicher Gemeinden deutlich aufgewertet werden. In ähnlicher Weise würde die konsequente Abkehr von der Mischkanalisation durch entsprechende Vorgaben zum Umgang mit Regenwasser und durch Forcierung der Regenwasserbewirtschaftung strukturelle Veränderungen der kommunalen Entwässerungssysteme bewirken.

Das Einbeziehen der relevanten Einflussgrößen führt – auch durch unterschiedliches Kombinieren der Ausprägung ihrer Veränderungen – zu einer Vielzahl von Entwicklungsszenarien. Um die Szenarien transparent zu betrachten und zielgerichtet zu analysieren, bedarf es einer problemorientierten Systematisierung und Eingrenzung.

Die Trinkwassernetze mit dezentralen Komponenten zu ergänzen oder gar zur dezentralen Trinkwasserversorgung in ländlichen Gemeinden überzugehen, wäre eine sehr einschneidende Veränderung und erscheint – zumindest derzeit – kaum realisierbar. SinOptiKom legte deshalb in Abstimmung mit den beteiligten kommunalen Betreibern und dem Landes-Umweltministerium in allen Szenarienbetrachtungen ausdrücklich die Beibehaltung der zentralen Wasserversorgung zugrunde. Die Verwirklichung von Grauwasserrecycling erscheint dann eher kontraproduktiv.

Insgesamt zeigt sich: Die Ungewissheiten zukünftiger Entwicklungen der Einflussgrößen und Randbedingungen lassen sich einzeln und kombiniert mittels Entwicklungsszenarien sehr gut abbilden.

## Ergebnisse der Szenarienbetrachtung

SinOptiKom legte seinem Simulations- und Optimierungsmodell für den betrachteten 50-jährigen Entwicklungszeitraum (2015 bis 2065) ein vielfältiges Spektrum möglicher Maßnahmen zugrunde, mit denen sich die Wasserinfrastruktursysteme anpassen, weiterentwickeln und transformieren lassen. Mit dem Anliegen multifunktionaler Infrastruktursysteme bezog das Projekt die Handlungsfelder Wasserversorgung, Siedlungsentwässerung, Regen- und Abwasserbewirtschaftung sowie Energiegewinnung ein. Für die multikriterielle Optimierung der Entscheidungsprozesse wurden die in Abbildung 2 ausgewiesenen Bewertungskriterien genutzt. Die Funktionalität der Systeme – auch dies eine wichtige Randbedingung – musste über den Betrachtungszeitraum jederzeit gesichert sein.

Mit Blick auf die bereits hervorgehobenen Ungewissheiten zukünftiger Entwicklungen trug SinOptiKom bei Auswahl und Bewertung der Maßnahmen der Flexibilität besonders Rechnung. Allerdings wurde für die Trinkwasserversorgung die Beibehaltung zentraler Versorgungssysteme explizit vorgegeben. Damit wurde der Funktionalität in hydraulischer und hygienischer Hinsicht Vorrang eingeräumt.

Um gezielt bestimmte Transformationspfade für die Abwassersysteme zu erzeugen, wurden die Bewertungskriterien im entscheidungsunterstützenden Simulations- und Optimierungsmodell in einzelnen Rechenläufen unterschiedlich gewichtet. In der Analyse resultierender Transformationspfade bestätigt sich die Präferenz einer fortschreitenden Umsetzung der Regenwasserbewirtschaftung. Für das Schmutzwasser zeigen die bestehenden zentralen Entsorgungsstrukturen (Kanalnetz, Kläranlage) auch in den ländlichen Gemeinden ein deutliches „Beharrungsvermögen“. Eine Präferenz für stärker dezentral ausgerichtete Ansätze der Stoffstromtrennung lässt sich über eine erhöhte Gewichtung der Kriterien Ressourceneffizienz und Flexibilität bei Abschwächung des Kosten-Kriteriums erzeugen. Dies belegt: Für die landes- und kommunalpolitischen Entscheidungsträger im ländlichen Raum bestehen durchaus ausgeprägte Handlungsoptionen.

Ökonomische Kriterien	Ökologische Kriterien	Ressourceneffizienz	Soziale Kriterien	Funktionalität
Kosten	Wasserbilanz	Wasserrecycling	Akzeptanz	Trinkwasserqualität
Flexibilität	Stoffeinträge Umwelt	Nährstoffrecycling		Entwässerungsbetrieb
		Energiegewinnung		Kläranlagenbetrieb
				Einleitungsbedingungen
multikriterielles <b>Optimierungsproblem</b>				Randbedingungen

Abb. 2: Bewertungskriterien und Funktionalitäts-Randbedingungen der multikriteriellen Optimierung.  
Quelle: SinOptiKom

A low-angle, upward-looking photograph of a complex industrial system. The scene is dominated by large, polished silver metal pipes and machinery. In the foreground, two large, bright red handwheels are attached to dark metal shafts, positioned as if for manual operation. The background shows a dense network of pipes, some with green and white striped markings, and structural steel beams. The lighting is bright and cool, creating a high-contrast, industrial atmosphere. The overall composition is dynamic, with strong geometric lines and a sense of depth and scale.

# Kapitel C

## Inhaltsverzeichnis Kapitel C

---

C	Einleitung: Optimierung von Anlagen und Betrieb .....	52
C1	Innovative Lösungen für flexible Trinkwassernetze – Ergebnisse des Projekts TWIST++ .....	54
C2	Innovative Hygieneüberwachung von Roh- und Trinkwasser .....	60
C3	Kanalnetzsteuerung zur Reduzierung der Gewässerbelastung durch Regenabflüsse.....	64
C4	Aktuelle Herausforderungen beim Abwassertransport.....	70
C5	Entwicklung und Bewertung von Maßnahmen zur Anpassung der urbanen Abwasserinfrastruktur an die Zukunft .....	74
C6	Umgang mit Teilortskanalisationen .....	78
C7	Betrieb von energieeffizienten Kläranlagen mit gezielter Vermeidung umweltgefährdender Emissionen.....	82

Autorin:

Margarethe Langer

Projekt: INISnet

## C

# Einleitung: Optimierung von Anlagen und Betrieb

Die Infrastrukturen der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung haben in der Regel eine lange Lebensdauer und werden mit sehr langen Zeithorizonten geplant. Dabei ging man regelmäßig von einem stetig wachsenden Wasserverbrauch aus. Viele Anlagen sind nun, gemessen an der heutigen Nachfrage, stark überdimensioniert und verursachen hohe Fixkosten für Betrieb und Erhalt. Die teilweise sehr geringen Fließgeschwindigkeiten können zu verstärkten Ablagerungen und Schäden an den Leitungen führen. Immer öfter müssen Leitungen gespült werden. Für den normalen Trockenwetterabfluss mögen viele Kanalisationen zwar überdimensioniert sein und ungünstige hydraulische Bedingungen aufweisen. Für den Schutz vor überlasteten Entwässerungssystemen während eines Starkregens wird aber jeder verfügbare Kubikmeter Speichervolumen in der Kanalisation benötigt. Entwässerungssysteme können bei diesen Ausnahmeereignissen schnell an ihre Grenzen gelangen. Mancherorts kann die Kanalisation das Regenwasser nicht mehr schnell genug aufnehmen und abtransportieren. Dann werden urbane Flächen überflutet, und Abwasser und belastetes Regenwasser gelangen ungeklärt in die angebundenen Gewässer. Mit Blick in die Zukunft und in der Erwartung, dass sich durch den klimatischen und demografischen Wandel die Schere zwischen geringer Grundlast und sehr hohen Spitzenlasten weiter öffnen wird, besteht hier ein großes Potenzial, die bestehenden Netzstrukturen zu verbessern und anzupassen. Aufgrund der langen Lebensdauer der Infrastrukturen sind viele Komponenten bereits veraltet und entsprechen nicht dem heutigen Effizienzstandard. Aber auch sinkende Wasserabnahmen führen unter Umständen dazu, dass Anlagen fernab des optimalen Betriebspunktes arbeiten. Insbesondere im Bereich des Wassertransportes und der Abwasserbehandlung bestehen viele Möglichkeiten, Ressourcen einzusparen.

## Bestehende Anlagen und Systeme optimieren

Nicht immer ist es sinnvoll und notwendig, die teils sehr umfangreichen alten Strukturen vollständig aufzulösen und durch neue Systeme zu ersetzen, um den veränderten Anforderungen gerecht zu werden. Sichere, langfristige Prognosen sind nämlich kaum möglich, und die Anforderungen werden sich immer wieder ändern. Durch wenige, gezielte Eingriffe in das Durchströmungsregime eines Leitungsnetzes können z. B. die Strömungsbedingungen verbessert werden, um so den Folgen einer Unterlast entgegenzuwirken. Dies gilt gleichermaßen für die Wasserversorgung wie für die Stadtentwässerung. So lassen sich lange Stagnationszeiten und das damit verbundene hygienische Risiko in Trinkwassernetzen verringern und Ablagerungen in der Kanalisation vermeiden. Ebenso lässt sich beispielsweise das Stauvolumen durch den Einbau von Wehren an geeigneten Stellen erhöhen. Durch viele kleinteilige Maßnahmen kann eine große Wirkung erzielt werden.

Aufgrund steigender Energiepreise wird bereits vielerorts eine Optimierung von Anlagen unter energetischen Aspekten praktiziert. Doch sollte hier nicht nur die ökonomische Optimierung betrachtet werden. Es geht vielmehr auch um die Folgen für den Ausstoß klimarelevanter Gase. Die Einsparung von Energie ist oft mit dem Einsparen fossiler Brennstoffe verbunden.

Neben der potenziellen Maximierung von Ammonium-Emissionen und verschlechterten Schlammeigenschaften beim Optimieren der Belüftung in Kläranlagen besteht auch die Gefahr erhöhter Emissionen von Nitrit, Lachgas und Methan, die noch klimaschädlicher sind als Kohlenstoffdioxid.

## Ein Schlüssel für die Optimierung liegt im intelligenten Betrieb

Um die unter der Erde, sprich in der Kanalisation, schlummernden Potenziale zum Gewässerschutz tatsächlich zu nutzen, bedarf es in den meisten Fällen zusätzlich eines ausgeklügelten Steuerungs- und Betriebskonzepts. Während in anderen Infrastrukturbereichen die intelligente, IT-basierte Steuerung bereits Standard ist, hinken die städtischen Wasserinfrastrukturen größtenteils hinterher. Durch den Einsatz von

Mess-, Steuer- und Datentechnik können erhebliche Reserven in den bestehenden Entwässerungssystemen aktiviert und z. B. die Abflüsse im Kanal nach Menge und Verschmutzungsgrad aufbereitungsorientiert abgeleitet werden. In Trinkwassernetzen könnten teilweise sogar Kontaminationen schneller erkannt und deren Ausbreitung im System schneller und gezielter eingegrenzt werden.

## Dezentrale Komponenten können die Anpassungsfähigkeit der Systeme erhöhen

Dem Optimieren bestehender Systeme unter Beibehaltung ihrer Grundform sind allerdings auch Grenzen gesetzt. Um die Infrastrukturen robust und flexibel zu gestalten, kann es erforderlich sein, Teile des bestehenden Systems zu entkoppeln und um dezentrale Komponenten zu erweitern. Beispiele hierfür sind die dezentrale Löschwasserbereitstellung oder eine gebäudeintegrierte Regenwasserbewirtschaftung zur Entlastung von Kanalisation und Kläranlage.

Werden Teile eines Leitungssystems gar nicht mehr für Versorgungs- oder Entsorgungsaufgaben benötigt, können sie unter Umständen dafür genutzt werden, andere Versorgungsleitungen – etwa für Energie oder Daten – unterzubringen. So kann im Idealfall von einem teuren Rückbau abgesehen werden.

## Autoren:

Hans-Christian Sorge, Maxim Juschak  
und Dominik Nottarp-Heim

## Projekt: TWIST++

## Literatur:

Battelle-Institut e.V. (1985): Prognose  
des Wasserbedarfs in der Bundesrepublik  
Deutschland bis zum Jahre 2000.  
Zeitstandsbericht, Frankfurt/Main.

DIN 14210 (2003): DIN 14210 Löschwasser-  
teiche. DIN Deutsches Institut für Normung,  
Berlin.

DVGW – Deutscher Verein des Gas- und  
Wasserfaches e.V. (2015): Forschungsprojekt  
W 10-01-11 „Aktualisierung der Verbrauchs-  
ganglinien für Haushalte, öffentliche Gebäude  
und Kleingewerbe sowie Entwicklung eines  
Modells zur Simulation des Wasserbedarfs“,  
Bonn.

DVGW W 405 (2008): DVGW Arbeitsblatt  
W 405: Bereitstellung von Löschwasser durch  
die öffentliche Trinkwasserversorgung. Deut-  
scher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.,  
Bonn.

Donner, C., S. Panglisch, S. Grobe und J. Win-  
genger (2012): Strategien zur Anpassung von  
Versorgungsanlagen an neue Herausforderun-  
gen, in: Energie Wasser Praxis, 63 (5), S. 40 – 46.

Neunteufel, R., L. Richard und R. Perfler (2012):  
Wasserverbrauch und Wasserbedarf – Auswer-  
tung empirischer Daten zum Wasserverbrauch.  
Bundesministerium für Land- und Forstwirt-  
schaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Sektion  
VII Wasser, Wien.

Sorge, C. (2016): Einflussfaktoren auf künftige  
Trinkwasserverbräuche – Prognosen, Unsi-  
cherheiten und Auswirkungen für den Netz-  
betrieb. Konferenzbeitrag Dumme Rohre –  
Intelligente Netze – Modelle, Simulation und  
Steuerung von Infrastrukturen, in: 30. Olden-  
burger Rohrleitungsforum, Essen.

# C1

## Innovative Lösungen für flexible Trinkwassernetze – Ergebnisse des Projekts TWIST++

### Hintergrund

Anlagen der Trinkwasserverteilung wie Rohrleitungsnetze und Armaturen werden üblicherweise für eine Nutzungsdauer von mehr als 50 bis 80 Jahren geplant, gebaut und betrieben. Betreiber und versorgte Kunden erwarten, dass die Anlagen in diesem Zeitraum bei entsprechender Instandhaltung zuverlässig funktionieren – gerade bei sich ändernden Rahmenbedingungen und Einflussgrößen. Für zukünftige Planungs- und Betriebsprozesse ist abzusehen, dass Klima, Demografie und Wirtschaftsentwicklung treibende Einflussgrößen sein werden – insbesondere mit Blick auf den Trinkwasserverbrauch von Haushalten und Industrien und mit Auswirkungen auf den gesamten Wasserkreislauf von der Wassergewinnung bis zur Einleitung des gereinigten Abwassers in die Vorflut. Die nachfolgenden Betrachtungen konzentrieren sich auf Anlagen zur Trinkwasserverteilung wie etwa Trinkwassernetze.

Die Diskussionen um derzeit rückläufige Trinkwasserverbräuche sowie deren mögliche Ursachen und Auswirkungen sind bekannt. In zahlreichen Studien und Forschungsvorhaben wird dieses Thema aufgegriffen. Es wurde zum Beispiel erkannt, dass Prognosen aus den 1980er-Jahren zum Haushaltswasserverbrauch (Liter pro Einwohner und Tag) für die nächsten Jahrzehnte von anderen Entwicklungstendenzen ausgingen (vgl. Battelle-Institut 1985) und dass sich aktuelle Verbräuche oder (Einzel-)Verbrauchsprofile der Haushalte, Tages- und Stundenfaktoren sowie Mengen änderten (vgl. DVGW 2015). Der Einfluss aktueller städtebaulicher, klimatischer oder sozioökonomischer Faktoren wurde ebenfalls (wieder) erkannt (vgl. Neunteufel et al. 2012). Es ist anzunehmen, dass sich auch diese aktuellen Verbrauchsprofile und Mengen künftig ändern werden. Aktuelle Momentaufnahmen und Messungen reichen daher als alleinige Grundlage für eine langfristige Dimensionierung von Wasserverteilungsanlagen nicht aus.

## Tendenzen, Prognose-Unsicherheiten und Flexibilität

Die möglichen Einflussgrößen auf den künftigen Trinkwasserbedarf und das zugehörige Verbrauchsverhalten sind vielfältig. Teilweise scheint mit Blick auf Übersicht 1 eine sichere Prognose mittel- bis langfristiger Tendenzen selbst bei guter aktueller Datenlage schwer möglich. Vor diesem Hintergrund sollten Trinkwassernetze vor allem aus hydraulischer Sicht flexibel ausgelegt sein – die Netze sollten bei nicht weiter abschätzbarem Wasserbedarf und Verbrauchsverhalten die erforderliche Versorgungsqualität (z. B. Druck, Menge, Zuverlässigkeit) gewährleisten.

Trinkwasserleitungen weisen aufgrund der großen Spannbreite zwischen empfohlenen Fließgeschwindigkeiten bei mittlerem Stundendurchfluss für den oberen und unteren Bereich (ca. 0,005 bis 1,0 m/s) grundsätzlich eine hohe hydraulische Flexibilität auf. Technische Auswirkungen auf die Rohrnetzhydraulik werden dann erwartet, wenn Teile des Trinkwassernetzes für den aktuellen oder künftigen Wasserbedarf über- oder unterdimensioniert sind – also die genannten Richtwerte für Fließgeschwindigkeiten häufiger oder dauerhaft über- bzw. unterschritten werden. Konsequenzen können hygienische oder korrosionschemische Beeinträchtigungen bei überdimensionierten Teilnetzen sowie ein energetisch ungünstiger Betrieb betroffener unterdimensionierter Teilnetze sein (vgl. Donner et al. 2012; DVGW 2015) – siehe auch Übersicht 2.

Einflussfaktor	Resultierende Tendenz auf den Trinkwasserbedarf	Zeitlicher Rahmen	Auftretenswahrscheinlichkeit
Zunehmende regionale Hitze- oder Trockenperioden	temporär zunehmend (Verbrauchsspitzen)	mittel- bis langfristig	mittelfristig sehr sicher
Verändertes Anbauverhalten in der Landwirtschaft durch steigende Durchschnittstemperaturen	zunehmend	mittel- bis langfristig	mittelfristig sicher
Geburtenraten	zu- oder abnehmend	mittel- bis langfristig	unsicher
Ab- und Zuwanderungen innerhalb Deutschlands und internationale Migration	zu- oder abnehmend (lokal unterschiedlich ausgeprägt)	kurz- bis langfristig	unsicher
Wirtschaftswachstum oder Wirtschaftsabschwung	zu- oder abnehmend (lokal unterschiedlich ausgeprägt)	kurz- bis langfristig	unsicher
Etablierung neuartiger Trinkwasser- und Sanitärsysteme (NATSS)	abnehmend (lokal unterschiedlich ausgeprägt)	kurz- bis langfristig	unsicher

Übersicht 1: Mögliche künftige klimatische, demografische und wirtschaftliche Wandelprozesse mit Auswirkungen auf Trinkwasserverbräuche (Beispiele, kein Anspruch auf Vollständigkeit). Quelle: IWW

Leitungen überdimensioniert	Leitungen unterdimensioniert
Gefahr der Stagnation	Erforderliche Löschwassermengen (48 m <sup>3</sup> ; 96m <sup>3</sup> oder 192 m <sup>3</sup> ) können nicht mehr über 2 Stunden bereitgestellt werden (DVGW W-405)
Gefahr der verstärkten Sedimentation und Resuspendierung von Partikeln	Erhöhter Energieaufwand zur Wasserverteilung
Gefahr beschleunigter Korrosionsprozesse	
Gefahr der ästhetischen Beeinträchtigung der Trinkwasserqualität (Trübung, Geruch)	
Gefahr der hygienischen Beeinträchtigung der Trinkwasserqualität (Aufkeimung)	
Erhöhte Aufwendungen zur Spülung/Reinigung und ggf. Desinfektion der betroffenen Leitungen	

Übersicht 2: Auswirkungen bei über- oder unterdimensionierten Trinkwasserleitungen. Quelle: IWW

## Technisch-konzeptionelle Lösungen

Das Verbundprojekt TWIST++ („Transitionswege Wasserinfrastruktursysteme: Anpassung an neue Herausforderungen im städtischen und ländlichen Raum“) entwickelte konzeptionelle und technische Lösungen, um die hydraulische Flexibilität von Trinkwassernetzen (wieder) zu erhöhen und somit eine sichere Trinkwasserversorgung auch bei sich ändernden und nicht genauer vorhersehbaren Entwicklungen zu gewährleisten (vgl. Sorge 2016).

Beispielhaft werden in den folgenden Abschnitten zwei Lösungen beschrieben:

- semivermaschte Trinkwasser-Teilnetze und
- netzentkoppelte Löschwasserbereitstellung.

## Semivermaschte Trinkwasser-Teilnetze

Sofern Szenarien eintreten, bei welchen der künftige Trinkwasserverbrauch (weiter) sinkt, können für bestehende, aber auch für neu zu errichtende Netze in bestimmten Abschnitten hydraulisch ungünstige Situationen entstehen. Diese können zu sehr langsamen Fließgeschwindigkeiten (Stagnation) oder häufiger zu Bereichen mit sich ändernden Fließrichtungen führen (sog. Pendelzonen).

Damit können weitere Beeinträchtigungen der Versorgungsqualität verbunden sein, z. B.

- häufigere Sedimentation und Resuspendierung von Partikeln (kann zu Trübungserscheinungen, eventuell zu Geruch des Trinkwassers und zu erhöhten Fließwiderständen führen),

- erhöhte Korrosionswahrscheinlichkeit (kann zu erhöhten Schadensraten, Trübungserscheinungen und erhöhten Fließwiderständen führen),
- Gefahr der Aufkeimung (kann zu einer gesundheitlichen Gefährdung führen).

Trübungserscheinungen sind zudem bereits heutzutage im laufenden Betrieb von Trinkwassernetzen in Industrieländern der häufigste Beschwerdegrund von Kunden.

Durch angepasste Netzstrukturen und daraus resultierende Fließgeschwindigkeiten lässt sich der Bildung von potenziell trübungsverursachenden Ablagerungen oder Anhaftungen und anderen hydraulisch ungünstigen Bedingungen in den Rohrleitungen entgegenwirken. Zu diesem Zweck entwickelte TWIST++ die Idee des semivermaschten Trinkwassernetzes. Bei einem semivermaschten Netz handelt es sich um eine konstruktive Netzgestaltung, welche sich bekannter Strukturen für städtische Trinkwassernetze bedient und deren Vorteile vereint: die Versorgungssicherheit des vermaschten Ringnetzes und der hydraulisch günstigere Betrieb eines Verästelungsnetzes. Auf dem Weg zum semivermaschten Netz sind neuzubauende von bestehenden Netzen zu unterscheiden.

**Neubau:** Neuzubauende semivermaschte Netze werden als Verästelungsnetz geplant oder modelliert. Anschließend werden ausgewählte Knoten der Endleitungen durch relativ kleine Nennweiten miteinander vermascht.

**Bestand:** Bestehende städtische Trinkwassernetze sind meist vermaschte Ringnetze. Ein Teil der Maschen kann quasi aufgetrennt werden, indem die entsprechenden Verbindungsleitungen analog dem Neubau in kleinerer Nennweite ausgeführt werden (siehe Abbildung 1).

Bei Ausfall eines beliebigen Leitungsstranges (z. B. durch einen Rohrbruch) können im Vergleich zum Verästelungsnetz über die klein dimensionierten Leitungen zwischen den Endleitungen die vom Ausfall betroffenen Abnehmer weiterhin mit einem kleinen Anteil der Trinkwassermenge versorgt werden. Da Rohrbrüche mit einer vergleichsweise geringen Häufigkeit auftreten (etwa ein Schaden in zehn Jahren auf einem Kilometer Leitung) und die Schäden in der Regel innerhalb einiger Stunden behoben werden können, ist die Beeinträchtigung von Versorgungssicherheit und Versorgungsqualität sehr gering.

Das semivermaschte Trinkwassernetz zeigte sich in den Modellierungsansätzen als ein geeignetes technisches Gestaltungselement, um auch bei sich ändernden und nicht genauer prognostizierbaren Trinkwasserverbräuchen die Netzhydraulik anpassbar und optimierbar zu gestalten. Dies geschieht unter versorgungstechnischen, hygienischen und ästhetischen Gesichtspunkten.

Maßnahmen zur Transition des bestehenden Trinkwassernetzes in ein semivermaschtes Trinkwassernetz lassen sich teilweise kostenneutral im Rahmen der üblichen Instandhaltungsmaßnahmen schrittweise umsetzen. Voraussetzung sind gut kalibrierte hydraulische Rechenmodelle der betroffenen Netze und Kenntnisse über die hier angesprochenen Wandelprozesse sowie deren Auswirkungen.

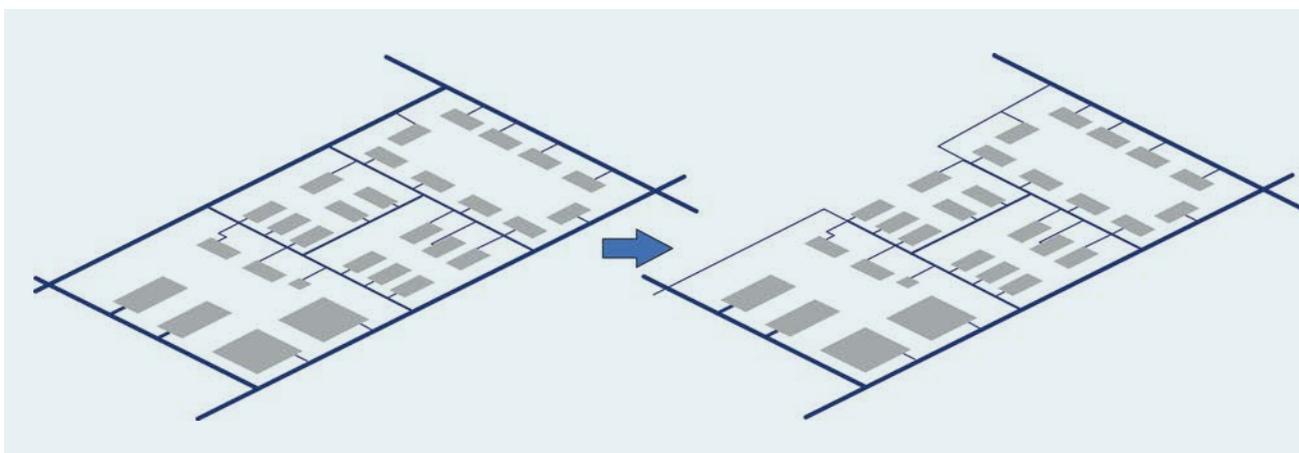


Abb. 1: Transition eines vermaschten Netzabschnittes zu einem semivermaschten Netzabschnitt. Quelle: IWW

## Netzgekoppelte Löschwasserbereitstellung

Die Bereitstellung der erforderlichen Mengen an Löschwasser für den sog. Grundschutz fällt – im Rahmen der Daseinsvorsorge – in den Verantwortungsbereich der Kommunen. Historisch bedingt erfolgt die Löschwasserbereitstellung durch den Trinkwasserversorger über das zentrale Trinkwassernetz aus Hydranten.

Sofern sich für bestimmte Teilnetze oder Netzabschnitte eine größere Diskrepanz zwischen Trinkwasserbedarf und Löschwasserbedarf ergibt (z. B. aufgrund rückläufiger Trinkwasserverbräuche), können hydraulische und versorgungstechnische Probleme entstehen. In den meisten Fällen sind dann die betroffenen Rohrleitungen entweder für den Trinkwasserbedarf überdimensioniert oder für die erforderlichen Löschwassermengen unterdimensioniert (zu den Auswirkungen siehe Übersicht 2).

Die technischen Möglichkeiten zur netzgekoppelten Löschwasserbereitstellung werden hier unabhängig von aktuell geführten Diskussionen zur Zuständigkeit und Kostenträgerschaft aufgeführt.

Um die Löschwasserbereitstellung vom Trinkwassernetz teilweise oder ganz zu entkoppeln, müssen alternative Möglichkeiten zur Löschwasserentnahme geschaffen oder genutzt werden. Solche Möglichkeiten sind teilweise bereits seit langem im technischen Regelwerk verankert – beispielhaft sei hier DIN 14210 genannt.

- Löschwasserteiche (DIN 14210),
- Löschwasserbecken,
- Löschwasserbehälter oberirdisch/unterirdisch,
- Löschwasserbrunnen, aber auch
- natürliche Gewässer (Fließgewässer, Seen) und notfalls
- Tankpendelverkehr sowie
- Löschzüge mit größerem Tankvolumen.

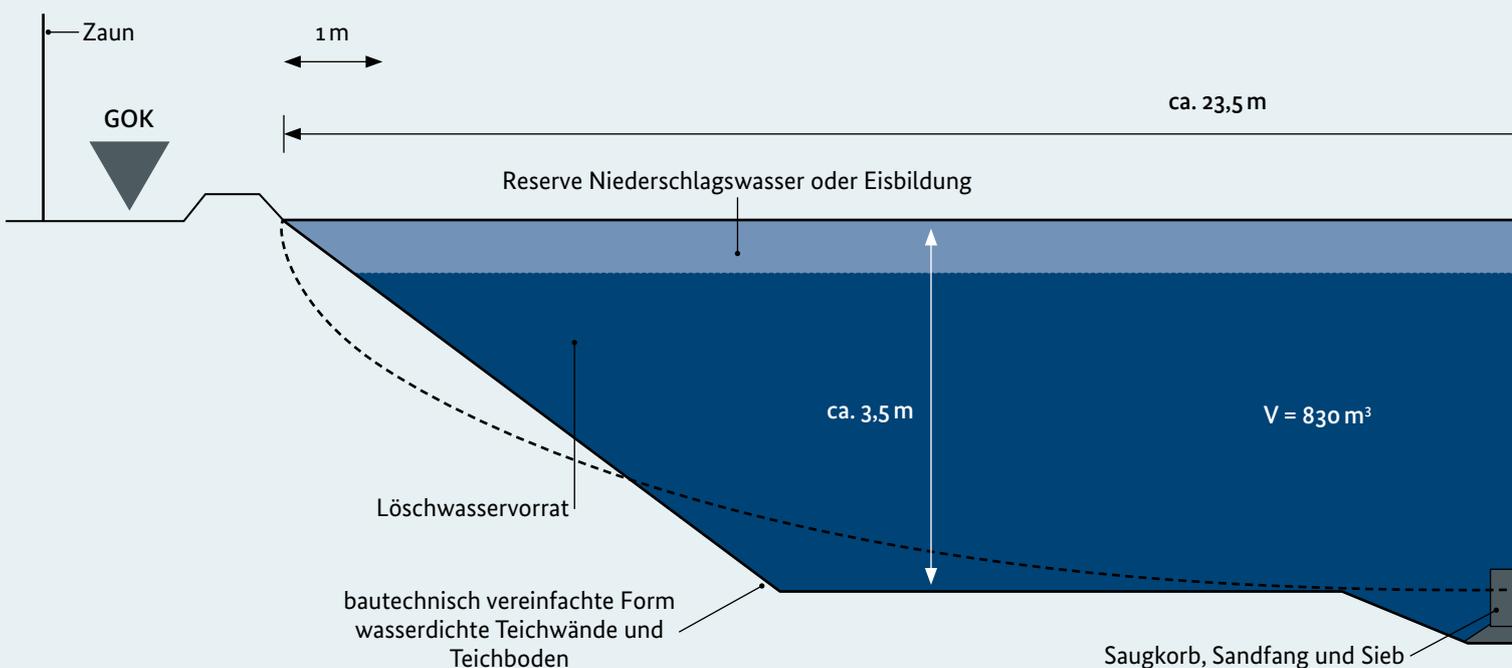


Abb. 2: Technischer Entwurf eines Feuerlöschteiches mit abgehender druckloser Löschwasserleitung. Netto-Fassungsvolumen ca. 830 m<sup>3</sup> zur Bereitstellung von zwei mal 196 m<sup>3</sup> Löschwasser über 2 Stunden. Quelle: IWW

Die Löschwasserbauwerke können befüllt werden mit

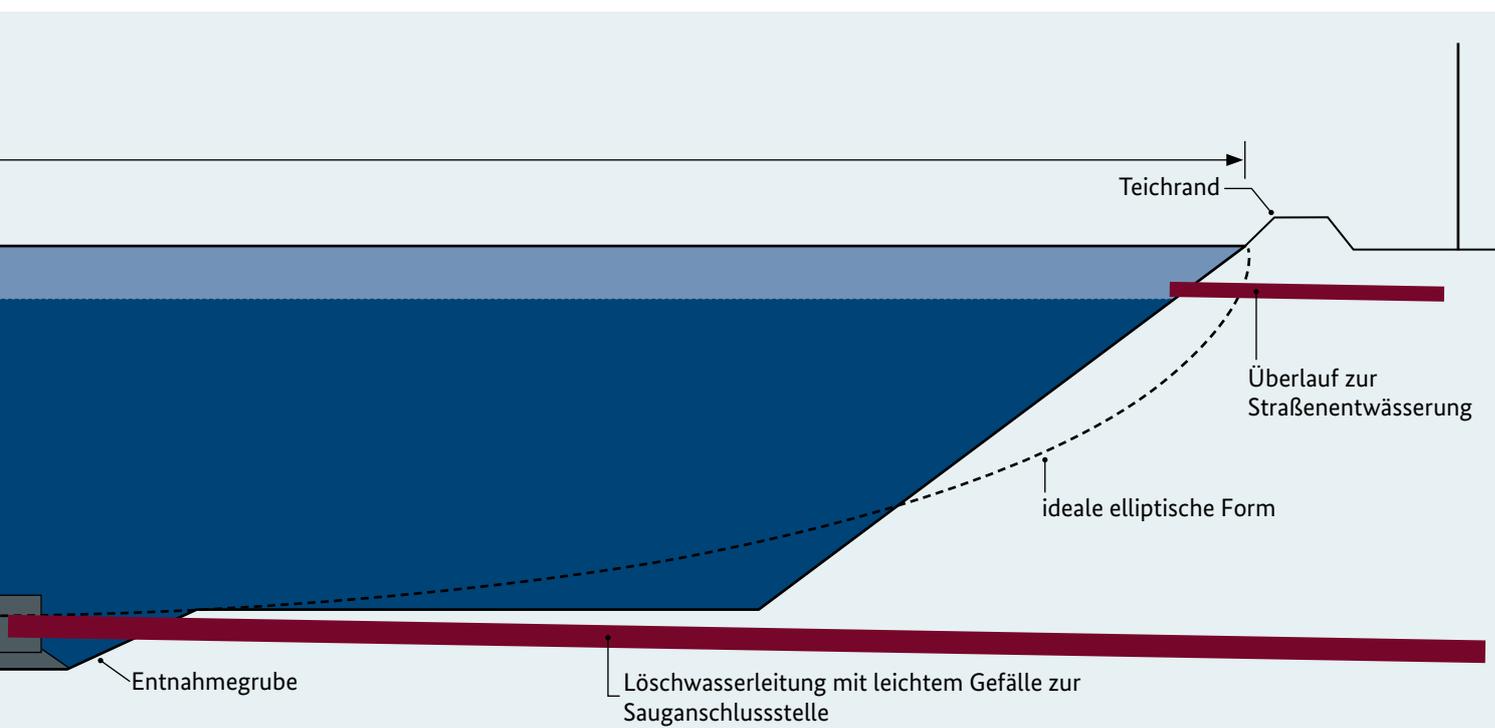
- Trinkwasser,
- Niederschlagswasser,
- Oberflächenwasser,
- Grundwasser oder
- aufbereitetem Abwasser (z. B. Grauwasser).

Die Löschwasserbauwerke können ergänzt werden um separate Löschwassernetze (drucklos, druckbeaufschlagt).

Die Kosten dieser Bauwerke hängen stark von den örtlichen Gegebenheiten (z. B. Topologie, Entfernungen) und den bereitzustellenden Löschwassermengen ab.

Hydraulische Modellierungen im Rahmen von TWIST++ zeigten aber auch: innerhalb konventioneller Konzepte (z. B. netzgebundene Löschwasserbereitstellung) lassen sich die in Übersicht 2 genannten negativen Auswirkungen in der Regel zumindest stark reduzieren, und zwar mittels zweier Maßnahmen:

- Neuordnung der Löschwasserhydranten auf dem Trinkwassernetz,
- Änderung der Bauart und Dimension von Löschwasserhydranten.



#### Autoren und Autorinnen:

Daniel Karthe, unter Mitarbeit von Ole Behrmann, Verena Blättel, Dennis Elsässer, Christian Heese, Matthias Hügler, Frank Hufert, Andreas Kunze, Reinhard Niessner, Johannes Otto, Buren Scharaw, Matthias Spoo, Andreas Tiehmann, Gerald Urban, Silvia Vosseler, Thomas Westerhoff, Michael Seidel und Gregory Dame

Projekt: EDIT

## C2

# Innovative Hygieneüberwachung von Roh- und Trinkwasser

## Trinkwasserhygiene in Deutschland: die heutige Praxis

In Deutschland sieht die Trinkwasserverordnung eine regelmäßige Überwachung der Trinkwasserqualität durch die Wasserversorger vor. Dabei hängt die Häufigkeit der Kontrollen von der Anzahl der ins Netz eingespeisten Wassermenge ab. Eine wichtige Rolle spielt hierbei die Beurteilung der mikrobiologischen Wasserqualität. Defizite im Bereich der Trinkwasserhygiene stellen nämlich eine unmittelbare Gefahr für die menschliche Gesundheit dar. Im Extremfall wäre in kurzer Zeit mit hohen Erkrankungszahlen zu rechnen.

Für Trinkwasserversorger ist neben der Sicherstellung hoher Trinkwasserqualität auch die qualitative Beurteilung des genutzten Rohwassers von großem Interesse. In Deutschland wird Trinkwasser überwiegend aus Grundwasser, aber teilweise auch aus anderen Quellen wie Uferfiltrat oder Oberflächenwasser (z. B. im Falle von Talsperren) gewonnen. Dabei bestehen erhebliche regionale Unterschiede. Die Qualität der Rohwässer unterliegt gewissen natürlichen Schwankungen; insbesondere bei der Nutzung von Oberflächenwasser ist mit einem erhöhten Risiko von Belastungseinträgen zu rechnen. So besteht beispielsweise im Falle von Starkniederschlägen die Gefahr, dass gesundheitsrelevante Keime ins Rohwasser geraten. Untersuchungen des Rohwassers helfen in diesem Fall, die Notwendigkeit zusätzlicher Aufbereitungsmaßnahmen zu erkennen und damit auch bei temporär beeinträchtigter Rohwasserqualität die Bereitstellung sicheren Trinkwassers zu garantieren. Zugleich ist es für Wasserversorger von Interesse, die Eigenschaften ihrer Einzugsgebiete so genau wie möglich zu kennen und mögliche Kontaminationsquellen zu identifizieren bzw. auszuschließen.

In Deutschland ist es wie in den meisten Staaten weltweit gängige Praxis, die mikrobiologische Wasserqualität auf Basis sogenannter Indikatorbakterien zu beurteilen. Eine vollständige Überwachung auf alle bekannten Mikroorganismen (Einzeller, Bakterien, Viren) ist in der Praxis aufgrund des extrem hohen Aufwands kaum möglich. Die Indikatorbakterien werden im sogenannten Kulturverfahren nachgewiesen. Bei diesem werden Proben über einen definierten Zeitraum und unter Zufuhr von Wärme mit einem Nährmedium versetzt.

Auch wenn es inzwischen mehrere Varianten kulturbasierter Verfahren gibt, ist ihnen eine relativ lange Dauer des Nachweises (typischerweise mindestens 18 Stunden bis zum Vorliegen eines Ergebnisses) und die Begrenzung auf eine kleine Anzahl von Indikatorbakterien gemeinsam. Dies birgt zwei Risiken: Erstens besteht die Gefahr, dass hygienisch relevante Kontaminationen erst mit deutlicher zeitlicher Verzögerung festgestellt werden. Zweitens besteht auch im Falle von Proben, in denen keine Indikatorbakterien nachgewiesen werden, ein kleines Restrisiko, dass im Wasser andere – auch potenziell pathogene – Mikroorganismen wie z. B. Viren enthalten sein könnten.



Abb. 1: Heutiger Stand der Technik ist der Nachweis ausgewählter Indikatororganismen durch verschiedene Varianten des Kulturverfahrens, hier am Beispiel des Trinkwasserlabors der Berliner Wasserbetriebe. Foto: Daniel Karthe

## Hygienemonitoring der Zukunft: schneller und umfassender

Es ist erstrebenswert, zukünftig die Möglichkeiten zur Beurteilung der mikrobiologischen Wasserqualität zu erweitern – dies wegen der Einschränkungen bestehender Nachweisverfahren und aufgrund potenzieller neuer Herausforderungen für die Trinkwasserhygiene, z. B. im Zuge von Klimawandel und demografischem Wandel, durch die Einschleppung hochpathogener Mikroorganismen, die Bildung multiresistenter Keime oder die Gefahr bioterroristischer Anschläge. Insbesondere ist es wünschenswert, mögliche Beeinträchtigungen zukünftig schneller als bisher zu detektieren und mit möglichst geringem Aufwand ein erweitertes Erregerspektrum nachweisen zu können.

Den Schlüssel für solche Nachweise bilden molekularbiologische Nachweisverfahren, die in anderen Bereichen wie z. B. der medizinischen Diagnostik bereits seit Jahren etabliert sind. Für die direkte Untersuchung von Trinkwasserproben eignen sich diese Methoden allerdings nicht. Sie sind bei den für Trinkwasser typischen sehr geringen Konzentrationen an Mikroorganismen oder Viren nämlich nicht in der Lage, diese nachzuweisen. Aus diesem Grund ist es erforderlich, die Konzentration der Erreger im Vorfeld der Untersuchung deutlich zu erhöhen. Um selbst eine geringfügige Belastung auszuschließen, bedarf es mehrstufiger Verfahren der Probenaufkonzentrierung. Einen Beitrag hierzu leistete das BMBF-geförderte Projekt EDIT.

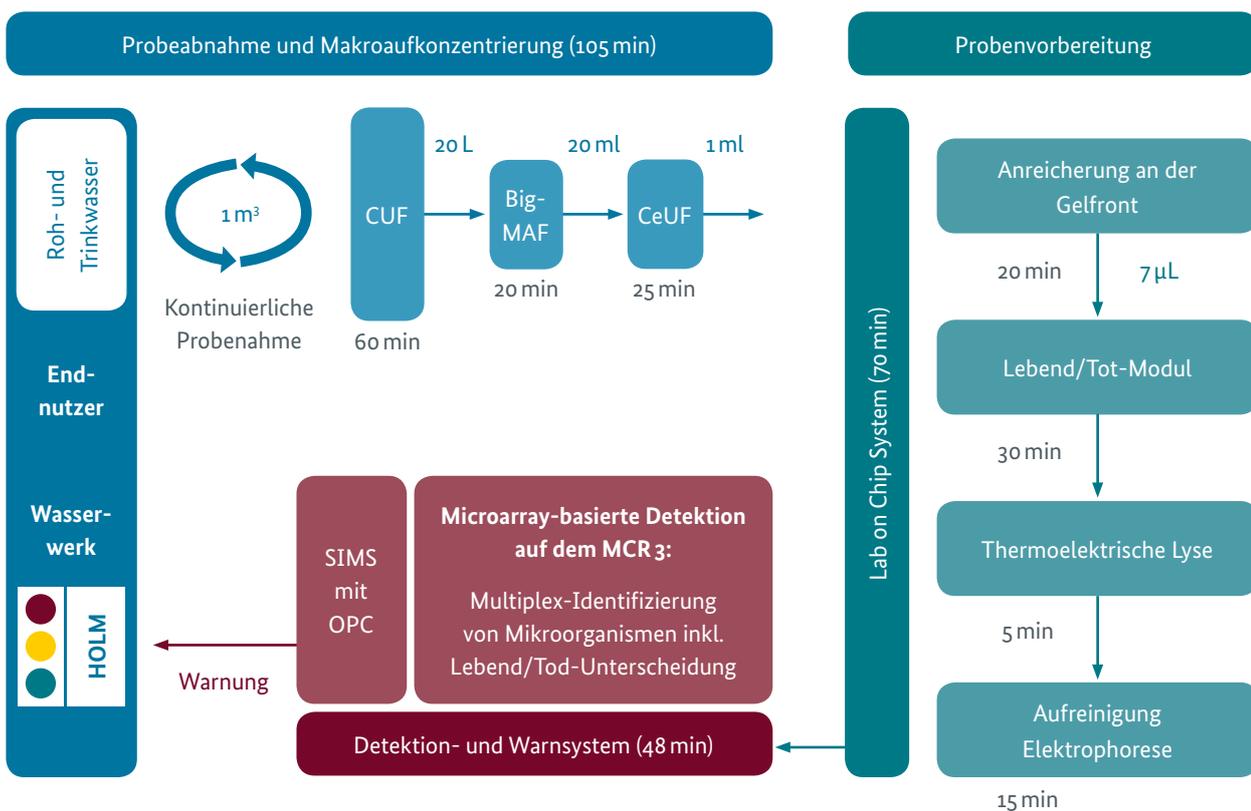


Abb. 2: Ablaufschema des im Rahmen von EDIT entwickelten Systems zum Nachweis von Mikroorganismen und Viren in Roh- und Trinkwasser. Proben werden zunächst in mehreren Stufen aufkonzentriert (CUF = Crossflow-Ultrafiltration; Big-MAF = großes System zur monolithischen Affinitätsfiltration; CeUF = Zentrifugale Ultrafiltration). Anschließend folgen eine weitere Probenprozessierung und Ankonzentrierung auf einem Lab-on-Chip-System. Der eigentliche Erregernachweis einschließlich Lebend/Tot-Unterscheidung geschieht auf einem analytischen Microarray (MCR<sub>3</sub> = Munich Chip Reader 3). Im Falle eines Positivbefundes (= Nachweis eines bedenklichen Mikroorganismus) wird über ein entsprechendes Modul (SIMS/OPC) eine Warnung an das Kontroll- und Leitsystem beim Wasserversorger gegeben und somit das Hygiene-Online-Monitoring (HOLM) vervollständigt. Quelle: Projekt EDIT

EDIT entwickelte ein mehrstufiges Verfahren zur Probenaufkonzentrierung und -vorbereitung mit nachgeschalteter molekularbiologischer Detektion. Mit seiner Hilfe lassen sich selbst geringe Konzentrationen von Mikroorganismen in Roh- und Trinkwasser nachweisen.

Auch wenn molekularbiologische Methoden im Falle von Multiplex-Systemen mehrere Mikroorganismen schnell und gleichzeitig detektieren können, haben sie den Nachteil, dass auch tote (z. B. durch die Trinkwasserdesinfektion eliminierte) Erreger noch erkannt werden. Aus diesem Grund ist es notwendig, einen Prozessschritt zur Differenzierung zwischen lebenden und toten Organismen zu implementieren.

Im optimalen Fall wird ein solches relativ komplexes, aber automatisierbares Verfahren durch die automatische Erfassung von Prozessparametern und Ergebnissen ergänzt. Damit lässt sich einerseits eine Fehlfunktion sofort erkennen. Andererseits können qualitätsgesicherte Ergebnisse sofort an die Leit- und Kontrollsysteme und/oder verantwortliche Personen bei den Wasserversorgern weitergeleitet werden.

#### Literatur:

Hakenberg, S., M. Hügler, P. Meyer, O. Behrmann, G. Dame und G. A. Urban (2015): Fenton fragmentation for faster electrophoretic on chip purification of amplifiable genomic DNA, in: *Biosensors and Bioelectronics* 67, S. 49 – 52, doi: 10.1016/j.bios.2014.06.003.

Karthe, D., O. Behrmann, V. Blättel, D. Elsässer, C. Heese, M. Hügler, F. Hufert, A. Kunze, R. Niessner, J. Otto, B. Scharaw, M. Spoo, A. Tiehm, G. Urban, S. Vosseler, T. Westerhoff, G. Dame und M. Seidel: Modular Development of an Inline Monitoring System for Waterborne Pathogens in Raw and Drinking Water, in: *Environmental Earth Sciences*.

Kunze, A., M. Dilcher, A. Abd El Wahed, F. Hufert, R. Niessner und M. Seidel (2016): On-Chip isothermal nucleic acid amplification on flow-based chemiluminescence microarray analysis platform for the detection of viruses and bacteria, in: *Analytical Chemistry* 88 (1), S. 898 – 905, doi: 10.1021/acs.analchem.5b03540.

Kunze, A., L. Pei, D. Elsaesser, R. Niessner und M. Seidel (2015): High performance concentration method for viruses in drinking water, in: *Journal of Virological Methods* 222, S. 132 – 137, doi: 10.1016/j.jviromet.2015.06.007.

Lengger, S., J. Otto, D. Elsässer, O. Schneider, A. Tiehm, J. Fleischer, R. Niessner und M. Seidel (2014): Oligonucleotide microarray chip for the quantification of MS2, ΦX174, and adenoviruses on the multiplex analysis platform MCR 3, in: *Anal Bioanal Chem* 406 (14), S. 3323 – 3334, doi: 10.1007/s00216-014-7641-y.

#### Autoren und Autorinnen:

Ulrich Dittmer, unter Mitarbeit von Anna Bachmann-Machnik, Katja Fricke, Ulrich Haas, Holger Hoppe und Manfred Schütze

Projekt: SAMUWA

#### Literatur:

Fricke, K., H. Hoppe, M. Hellmig und D. Muschalla (2016): 10 years spectrometry based P-RTC in Wuppertal – experiences and enhancements, in: Novatech. 9th International Conference: Planning and Technologies for Sustainable Urban Water Management, Lyon, 28.06. – 01.07.2016.

Haas, U. (2015): Integrierter Gewässerschutz am Beispiel der Stadt Reutlingen, in: Korrespondenz Abwasser, Abfall 62 (4), S. 328 – 335.

Schilperoord, R., B. Palsma, G. Renken und J. Langeveld (2015): Pollution based real-time control of improved stormwater sewers in the Netherlands, in: IWA/IAHR (Hrsg.): 10th International Urban Drainage Modelling Conference, UDM, Mont-Sainte-Anne, Québec, Canada, 20.–23.09.2015.

Schütze, M., und U. Haas (2015): The Astlingen drainage system – A benchmark for real time control, in: 10th International Urban Drainage Modelling Conference, UDM, Mont-Sainte-Anne, Québec, Canada, 20. – 23.09.2015, S. 61 – 68.

Schütze, M., M. Pabst und U. Haas (2016): Urban Drainage Systems – Static throttle flows or real time control? A systematic approach to answer this, in: Novatech. 9th International Conference: Planning and Technologies for Sustainable Urban Water Management, Lyon, 28.06. – 01.07.2016.

## C3

# Kanalnetzsteuerung zur Reduzierung der Gewässerbelastung durch Regenabflüsse

## Gewässerbelastung durch Regenabflüsse

Regenabflüsse aus Siedlungsgebieten stellen eine wesentliche Ursache für Gewässerbelastungen dar. Bei Regen wird eine Vielzahl von Schadstoffen von befestigten Flächen abgespült. Bei getrennter Ableitung des Regenwassers werden diese direkt in die Gewässer eingeleitet. Im Mischsystem wird das Regenwasser zusammen mit dem Schmutzwasser in einem Kanal abgeleitet. Dabei werden die Abflüsse weniger ergiebiger Regenfälle in Speicherbauwerken (Regenüberlaufbecken [RÜB] und Stauraumkanälen) zurückgehalten und anschließend zur Kläranlage abgeleitet. Die Kapazität der Kläranlage und das Speichervermögen der Kanalnetze sind allerdings begrenzt. Überläufe bei stärkeren Regenfällen sind unvermeidbar. Zusätzlich zum verschmutzten Regenwasser gelangt dabei auch Schmutzwasser weitgehend unbehandelt in die betroffenen Gewässer. Vor allem bei kleineren Gewässern mit empfindlichen Ökosystemen und bei Gewässern mit besonderer Nutzung (z. B. Badegewässern) ist die stoßartige Belastung durch Regen- und Mischwassereinleitungen problematisch.

## Das Prinzip der Abflusssteuerung

Im konventionellen Betrieb wird an Speicherbauwerken der weitergeleitete Abfluss auf einen festen Soll-Wert reduziert (siehe Abbildung 1, Zustand HEUTE). Wird dieser Wert bei starken Regenereignissen überschritten, kommt es zum Einstau und anschließend zum Überlauf. Vor allem in großflächigen Entwässerungssystemen führt die räumlich und zeitlich ungleichmäßige Verteilung des Regens oftmals dazu, dass einzelne Regenbecken überlaufen, während an anderer Stelle noch Speicherkapazitäten ungenutzt sind.

Ein wesentliches Ziel einer Verbundsteuerung von Entwässerungssystemen ist es, Gewässerbelastungen bei Regen zu reduzieren, indem das Speichervolumen im gesamten Netz optimal ausgenutzt wird. Dazu werden Informationen über Systemzustände (z. B. Wasserstände und Abflüsse) von verschiedenen im Netz verteilten Bauwerken zusammengeführt. Somit können Steuerentscheidungen gefällt werden, die den Zustand des Gesamtsystems berücksichtigen.

Wenn beispielsweise in dem in Abbildung 1 dargestellten stark vereinfachten System bei einem Regenereignis RÜB 2 schon sehr weit gefüllt ist, während RÜB 1 noch leer ist, würde die Steuerung den Abfluss  $Q_1$  verringern, um ein Überlaufen von RÜB 2 zu verhindern oder zumindest zu reduzieren. Zusätzlich können auch komplexere Zielsetzungen verfolgt oder Systemzustände aus der Kläranlage oder dem aufnehmenden Gewässer berücksichtigt werden. In diesem Fall spricht man von einer integralen Steuerung (siehe Abbildung 1, MORGEN).

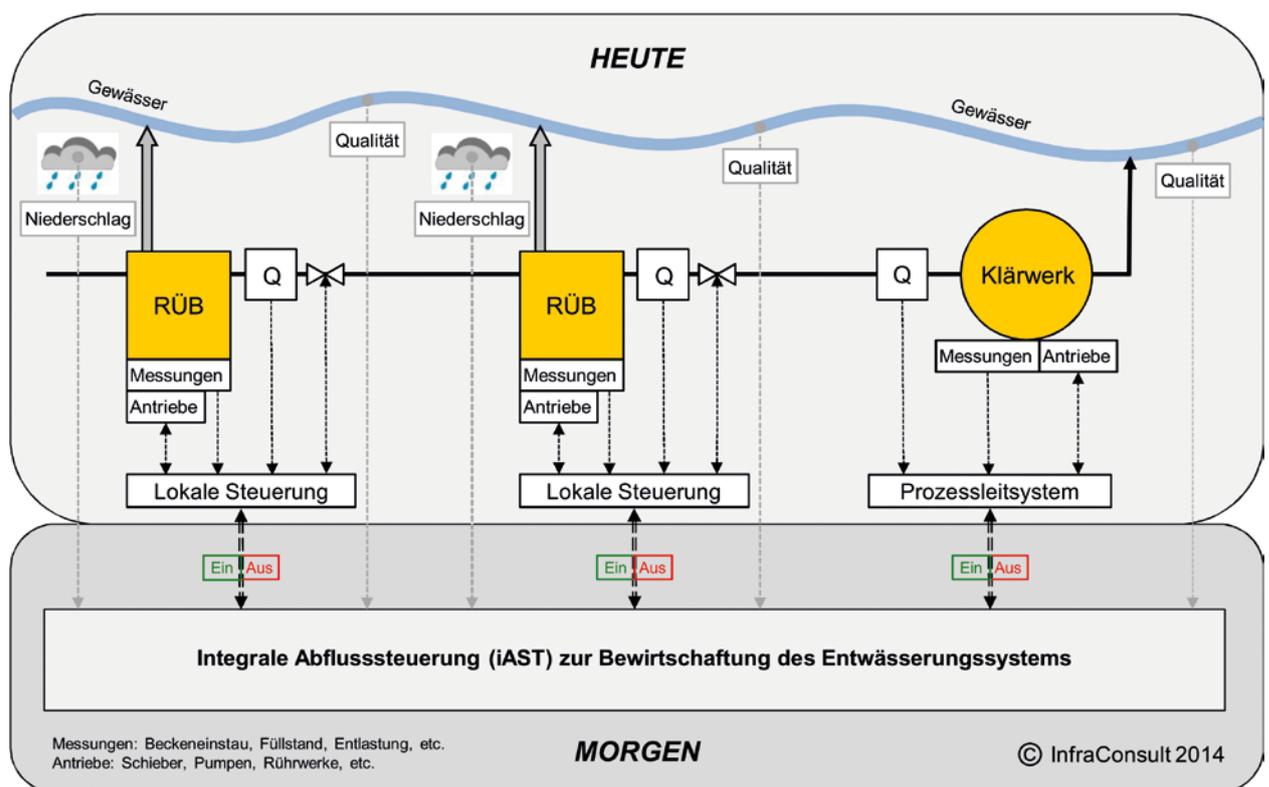


Abb. 1: Schematische Darstellung der Mischwasserbehandlung mit einer lokalen Steuerung (HEUTE) und einer integralen Abflusssteuerung (MORGEN). Quelle: InfraConsult 2014

## Umsetzungshemmnisse und Beiträge zu deren Überwindung

Trotz positiver Ergebnisse verschiedener Pilotprojekte zur Umsetzung hat sich die Abflusssteuerung in der Praxis bislang kaum durchgesetzt. Das Verbundvorhaben SAMUWA widmete sich vor allem der Überwindung der nachfolgend beschriebenen praktischen Umsetzungshemmnisse.

### a) Abschätzung der Wirksamkeit (Steuerungspotenzial)

Bevor eine Verbundsteuerung detailliert geplant wird, muss im Rahmen einer aufwändigen Vorstudie durch Simulationsrechnungen geprüft werden, ob das angestrebte Ziel mit dieser Maßnahme erreicht werden kann. Die Wirksamkeit der Abflusssteuerung basiert dabei in vielen Fällen auf dem Ausgleich von ungleichmäßiger Überregnung. Diese wird bisher in der stadthydrologischen Simulation jedoch in der Praxis oft nicht angemessen berücksichtigt. Das Potenzial einer Steuerung wird daher häufig unterschätzt.

Im Projekt SAMUWA wurden Module eines vereinfachten Simulators entwickelt, welche die Ermittlung und Analyse des Steuerungspotenzials eines gegebenen Kanalnetzes erleichtern. Somit kann zügig ermittelt werden, ob sich ein Kanalnetz für eine Abflusssteuerung eignet. Bisherige Potenzialstudien zeigen, dass mit Abflusssteuerungen zwischen fünf Prozent und 20 Prozent des Entlastungsvolumens zurückgehalten werden können.

### b) Erfahrung und Routine bei Betreibern und Aufsichtsbehörden

Innerhalb der Entwässerungsbetriebe wie auch bei den Aufsichtsbehörden liegen in der Regel keine eigenen Erfahrungen mit Steuerungsprojekten vor, daher herrscht noch große Unsicherheit bei diesem Thema. Planungs- und Genehmigungsprozesse sowie Verwaltungsstrukturen sind bislang auf konventionelle Planungen und weitestgehend ungesteuerte Systeme ausgerichtet.

Im Rahmen von SAMUWA wurden daher exemplarisch Verbundsteuerungen im Mischsystem der Stadt Reutlingen und in der überwiegend im Trennsystem entwässerten Stadt Wuppertal unter gänzlich unterschiedlichen Randbedingungen umgesetzt und weiterentwickelt. Die Schritte der praktischen Umsetzung wurden in erfolgreicher Zusammenarbeit zwischen den planenden Ingenieurbüros und dem jeweiligen Betreiber (Stadtentwässerung Reutlingen und WSW Energie & Wasser AG) sowie den Aufsichtsbehörden dokumentiert. Basierend auf den gewonnenen Erfahrungen werden Empfehlungen für die praktische Umsetzung in anderen Kommunen formuliert und Leitfäden publiziert. Das Betriebspersonal sollte von Beginn an in die Umsetzung einer Steuerung eingebunden sein, um sowohl die Akzeptanz der Steuerkonzeption zu gewährleisten als auch wertvolle Erfahrungen aus dem Kanalbetrieb berücksichtigen zu können.

### c) Messdatenmanagement zum Nachweis der Wirksamkeit

Konventionelle Planungen in der Siedlungsentwässerung münden in der Regel in der Erstellung konkreter Bauwerke (hier: Regenbecken), deren Funktion bisher häufig über das Volumen und den Drosselabfluss beschrieben wird. Ihre tatsächliche Wirkung im Betrieb kann jedoch ausschließlich durch kontinuierliche Messdaten erfasst werden. Diese Beobachtungen sind auch für Steuerungen nötig, um die Wirksamkeit gegenüber der Aufsichtsbehörde nachzuweisen. Außerdem können sie als Basis für eine Weiterentwicklung der Steuerung dienen. Der Umgang mit den kontinuierlichen Messdaten in hoher zeitlicher Auflösung stellt allerdings für viele Betreiber noch eine große Herausforderung dar (DWA-M 151).

Im Rahmen von SAMUWA wurde ein bestehendes Messdatenmanagementsystem für diese Zielsetzung mit Funktionen zum automatisierten Import sowie zur Datenprüfung und -auswertung weiterentwickelt und in Wuppertal zum Betrieb der qualitätsabhängigen Steuerung eingesetzt.

### d) Möglichkeiten und Grenzen der qualitätsabhängigen Steuerung

Verbundsteuerungen stützen sich bislang in der Regel auf die Messung von Wasserständen und Abflüssen mit dem vorrangigen Ziel, Entlastungsvolumina zu reduzieren. Dabei wird vorausgesetzt, dass damit auch maßgebend Stofffrachten reduziert werden.

In Wuppertal wurde erstmals eine qualitätsabhängige Steuerung in den Regelbetrieb genommen, welche die Wasserqualität berücksichtigt. Das aktuelle Behandlungskonzept des Niederschlagswassers sieht eine kontinuierliche Erfassung der Abflussqualität mittels einer Spektrometersonde vor. In Reutlingen wurden ebenfalls baugleiche Spektrometersonden installiert, um den Stoffaustrag in seinem zeitlichen Verlauf zu erfassen. In beiden Fällen hat sich gezeigt, dass die beobachteten Ganglinien der Feststoffkonzentrationen in vielen Fällen keine wiederkehrenden Muster zeigen. Das Transportverhalten im Kanalnetz ist sehr komplex.

Eine qualitätsabhängige Steuerung auf Basis von Echtzeitmessungen ist umso effektiver, je stärker die Konzentrationen zeitlich und räumlich variieren. Im Fallbeispiel Reutlingen waren die Variationen eher begrenzt, in Wuppertal zeigten sich zum Teil deutliche Unterschiede. Mit der Entwicklung robusterer und wartungsärmerer Sensoren wird sich der Einsatzbereich der Qualitätsmessung zukünftig noch erweitern lassen und damit Optimierungen der bestehenden Entwässerungssysteme ermöglichen.

Umfassende Berichte sowie sämtliche Leitfäden und Demo-Versionen der entwickelten Software sind online verfügbar unter [www.samuwa.de](http://www.samuwa.de).

## Integrale Abflusssteuerung im Modellgebiet Reutlingen

Die Stadtentwässerung Reutlingen betreibt seit Mitte 2014 eine integrale Abflusssteuerung (iAST), welche im Rahmen des BMBF-Forschungsvorhabens SAMUWA eingerichtet wurde.

Mit der Zielsetzung, bei kleinen Regenereignissen die Entlastung ins Gewässer zu vermeiden, wurden zunächst Modellberechnungen durchgeführt. Die Ergebnisse waren vielversprechend, so dass das entwickelte Steuerkonzept realisiert wurde.

Wichtige Erkenntnisse wurden in Bezug auf die visuelle Darstellung des Steuerablaufs und -erfolgs während eines Regenereignisses gewonnen. Diese können die Grundlage für eine dauerhafte Betriebsgenehmigung einer Abflusssteuerung sein.

Im Betriebsalltag zeigte sich, dass die Verfügbarkeit von verlässlichen Messdaten von essentieller Bedeutung ist, deshalb rückten die Inspektionsarbeiten, welche in Zusammenhang mit der elektronischen Mess-, Steuer-, Regel- und Nachrichtentechnik (eMSRN-Technik) stehen, in den Vordergrund.

Die Abflusssteuerung ist der Fernwirktechnik als ein zusätzlicher Baustein angefügt. Das Zuschalten von Steuerregeln erfolgt am sichersten, wenn die interaktiven Steuerbefehle über eine eigene, sog. iAST-SPS eingebunden sind. Bei Außerbetriebnahme fällt das System in die bisherige Betriebsweise zurück.

Fazit: Aufgrund ihrer Anpassungsfähigkeit an veränderte Randbedingungen vereint die Abflusssteuerung ökologische und ökonomische Ziele. Der Betrieb einer Abflusssteuerung setzt Verständnis und zusätzliche Qualifikationen voraus.

### Ansprechpartner für Planung und Betrieb

InfraConsult GmbH  
Herr Ulrich Haas  
Tel.: 0711 8822871  
ulrich.haas@infraconsult.de

Stadtentwässerung Reutlingen  
Herr Oliver Ruf  
Tel.: 07121 3032401  
oliver.ruf@reutlingen.de

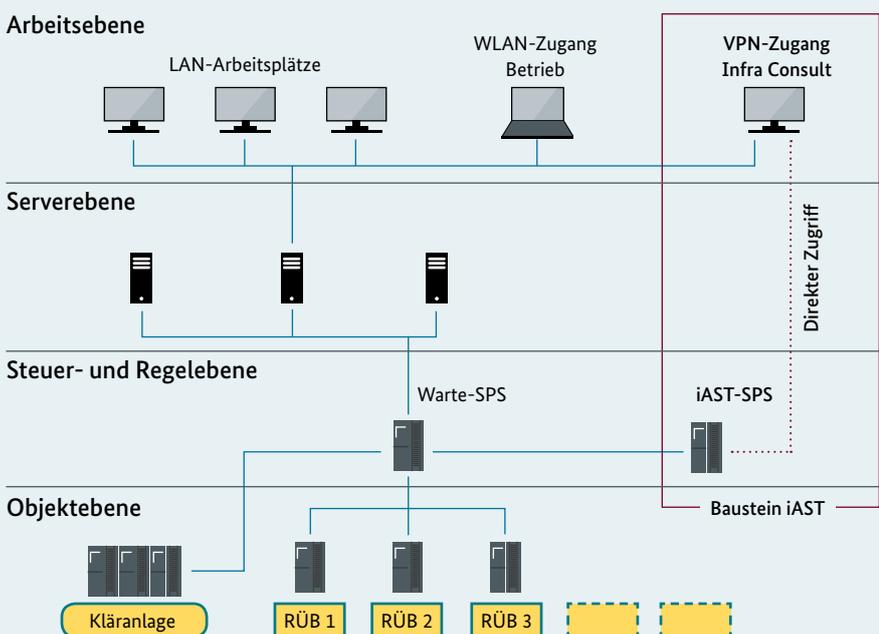


Abb. 2: Einbindung iAST in das Prozessleitsystem. Quelle: InfraConsult 2014

## Qualitätsabhängige Verbundsteuerung in Wuppertal

Ziel des Teilprojektes ist die Erstellung eines Leitfadens zur Konzipierung und Umsetzung einer qualitätsabhängigen Verbundsteuerung.

Die Wupper verläuft entlang der Talachse längs durch das Stadtgebiet. Zahlreiche einleitende Bachläufe wurden im Zuge der Industrialisierung Bestandteil des getrennt geführten Entwässerungssystems. Aktuell sind in NRW die Abflüsse von befestigten Flächen in Abhängigkeit von der Oberflächennutzung klärpflichtig („Trennerlass“). Allerdings können in Wuppertal nicht alle kanalisierten Bachläufe kurzfristig entflochten werden, und eine direkte Einleitung und Vermischung von behandlungspflichtigen Oberflächenabflüssen mit dem kanalisierten Bachwasser entspricht nicht mehr den wasserrechtlichen Standards. Durch eine kontinuierliche messtechnische Erfassung der Abflussqualität (Parameter AFS) an acht Verzweigungsbauwerken (VZW) kann bei Unterschreitung eines bestimmten Grenzwertes die Ableitung in die Wupper direkt erfolgen. Bei Überschreitung des Grenzwertes erfolgt die Weiterleitung in einen Speicherkanal (Entlastungssammler Wupper), der die zu behandelnden Abflüsse aufnimmt, speichert und zur Behandlung weiterleitet.

Im Projekt SAMUWA wurden zwei weitere Sonden am Regenüberlaufbecken (RÜB) installiert. Auf diese Weise liegen nicht nur die Informationen zur Qualität der Abflüsse der einzelnen Bauwerke vor, sondern diese können mit der Qualität des Entlastungsvolumenstroms verglichen werden.

So kann trotz Erreichen des Grenzwertes an einem oberstrom liegenden Verzweigungsbauwerk der Volumenstrom Richtung Wupper geleitet werden, falls dessen Verschmutzung geringer ist als die des Entlastungsabflusses am RÜB. Weitere Anpassungen in der Steuerung des Speicherkanals konnten im Projekt SAMUWA umgesetzt und optimiert werden. Die Verknüpfung der Messdaten erlaubt einen Steuerungsalgorithmus, der sowohl die Ausschöpfung des Retentionsvolumens optimiert als auch die Einleitungsfracht in die Wupper verringert.

### Ansprechpartner für Planung und Betrieb

Dr. Pecher AG  
Herr Dr.-Ing. Holger Hoppe  
Tel.: 02104 939695  
holger.hoppe@pecher.de

WSW Energie & Wasser AG  
Herr Christian Massing  
Tel.: 0202 5694475  
christian.massing@wsw-online.de

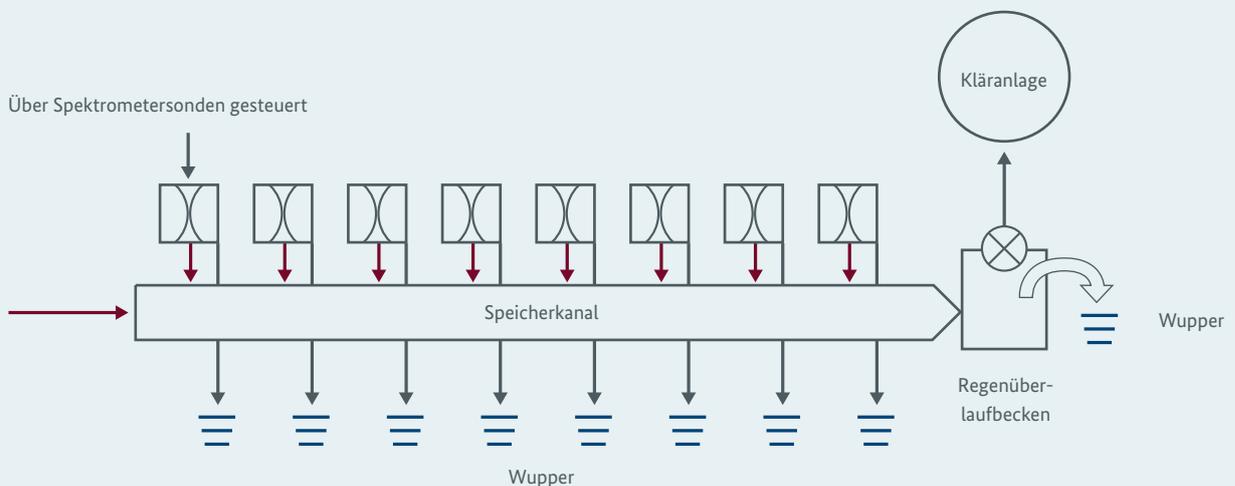


Abb. 3: Schemazeichnung des Systems in Wuppertal. Quelle: Dr. Pecher AG/WSW Energie & Wasser AG

#### Autoren und Autorinnen:

Raja-Louisa Mitchell,  
Raja Abou-Ackl, Stefan Gerlach  
und Jan Waschnewski

#### Projekt: KURAS

#### Literatur:

Abou-Ackl, R., et al. (2015):  
Avoiding Sedimentation and Air  
Entrainment in Pump Sump  
for Wet Pit Pumping Stations,  
Konferenzbeitrag, ASME/JSME/  
KSME 2015 Joint Fluids Enginee-  
ring Conference, July 2015.

Mitchell, R., et al. (2016):  
Investigations Into Wastewater  
Composition Focusing On  
Nonwoven Wet Wipes,  
Konferenzbeitrag, Singapore  
Water Week 2016.

Thamsen, P. U., und S. Bashinskiy  
(2012): Abwehr von Verstopfungs-  
ereignissen, in: Wasserwirtschaft  
Wassertechnik, Nr. 7–8/2012,  
S. 8–11.

Waschnewski, J., et al. (2015):  
Umfrage Faserstoffproblematik,  
BMBF-Projekt KURAS.

Waschnewski, J., R. Mitchell und  
M. Gunkel (2016): Faser-/Fest-  
stofftransport – Projekt KURAS.  
Herausforderungen in der  
Abwasserinfrastruktur, DWA-  
KURAS – Workshop, Magdeburg  
2016.

## C4

# Aktuelle Herausforderungen beim Abwassertransport

Die urbane Abwasserinfrastruktur besteht aus unterschiedlichen techni-  
schen Teilsystemen. Sie ist aufgrund ihrer langen Lebensdauer wechselnden  
Bedingungen und Anforderungen ausgesetzt. Eine der großen Herausforde-  
rungen, der sich Abwasserbetreiber heutzutage gegenübersehen, ist die ver-  
änderte Zusammensetzung des Abwassers und deren Auswirkung auf die  
im Abwassertransport eingesetzten Technologien.

## Vliestücher – Bequeme Hygienelösung oder Gefahr für die Infrastruktur?

Um die Anforderungen an die Abwasserinfrastruktur detaillierter untersu-  
chen zu können, ist es in einem ersten Schritt notwendig, die Feststoffzu-  
sammensetzung im Abwasser zu analysieren, um eventuelle problemati-  
sche Inhaltsstoffe feststellen zu können.

Abwasserbetreiber in Deutschland und auch in anderen Ländern bemerken  
seit einigen Jahren eine Zunahme an sogenannten Vliestüchern im Abwas-  
ser. Diese Einwegtücher (etwa feuchte Toilettenpapiere, Abschminktücher,  
Babytücher) sind aus synthetischen Vliesstoffen gefertigt. Deren hochent-  
wickelte Gebrauchseigenschaften wie Reiß-, Wring- und Nassfestigkeit ver-  
ursachen, dass sich die Tücher auf dem Fließweg zum Abwasserpumpwerk  
oder zur Kläranlage nicht zersetzen. Stattdessen führen sie zu zahlreichen  
Problemen im Abwassernetz: Die Feuchttücher können sich zu größeren  
Materialansammlungen verbinden und so Pumpen verstopfen (sogenannte  
Pumpenzöpfe, siehe Abbildung 1), sich mit Fett zu großen Konglomeraten  
verbinden, die die Kanalisation verstopfen oder auch zum Totalversatz von  
Rechen in Kläranlagen führen.

Dies wirkt sich einerseits auf die Betriebssicherheit der gesamten Abwasser-  
infrastruktur aus und bedeutet andererseits enorme finanzielle Aufwen-  
dungen, die aufgebracht werden müssen, um die durch Feuchttücher verur-  
sachten Betriebsstörungen zu beheben.

Um den Ist-Stand der Schwierigkeiten in der Betriebsführung aufgrund von  
Feuchttüchern aufzunehmen, führte das Projekt KURAS zusammen mit  
dem Landesverband Nord-Ost und Nord der Deutschen Vereinigung für  
Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) im Mai 2015 eine Umfrage  
bei Abwasserentsorgungsbetrieben und Kanalnetzbetreibern durch. Die  
Auswertung der 112 Rückmeldungen machte es deutlich erkennbar: 85 Pro-  
zent der Betreiber gaben eine Zunahme der Faserstoffproblematik in der  
Abwasserinfrastruktur an. Schwerpunktbereiche wurden vorrangig in der  
Abwasserpumpanlage gesehen, Probleme im Kanalnetz haben laut der Um-  
frage jedoch ebenfalls eine hohe Relevanz.

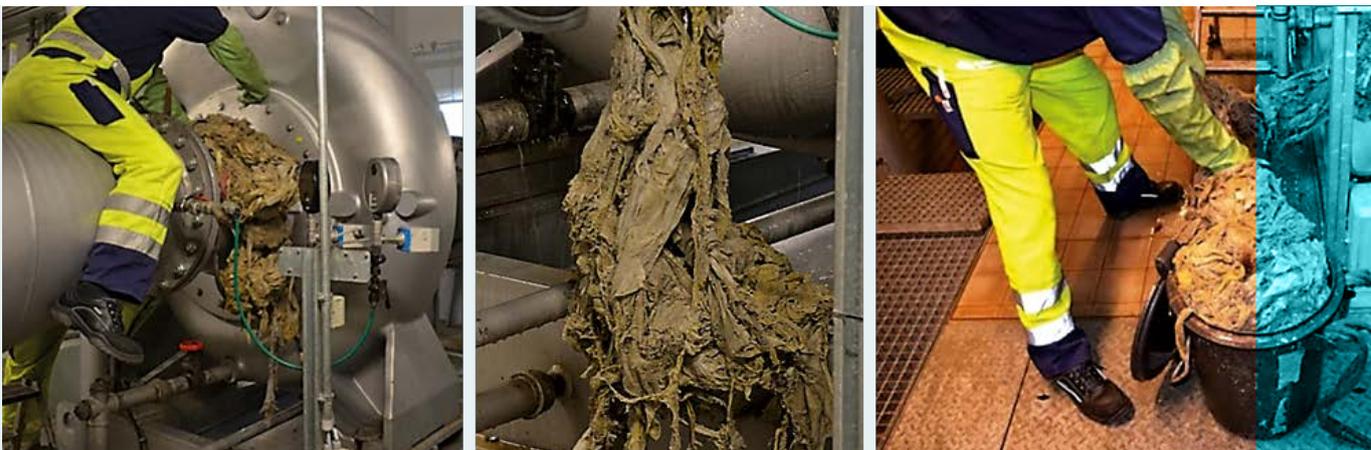


Abb. 1. Beispiele von Pumpenzöpfen – Konglomerate von pumpenverstopfenden Materialien, die zum großen Teil aus Feuchttüchern bestehen. Quelle: Projekt KURAS

Um die Problematik der neuartigen Vliestücher in der Praxis zu untersuchen, startete KURAS eine Messkampagne mit dem Ziel, anfallende Mengen, Arten und Größen von Vliestüchern im Abwasser näher zu quantifizieren. In zwei Berliner Einzugsgebieten wurden dafür aus dem Kanal 13 Tagesmischproben gezogen. Aus diesen wurde eine repräsentative Stichprobe entnommen, deren Zusammensetzung von einem Textillabor untersucht wurde.

Die Messkampagne zeigte: Die Feststoffe im Abwasser bestehen im Durchschnitt zu einem Drittel aus Textilien (zu denen die Vliestücher zählen, siehe Abbildung 2). Die steigenden Verkaufszahlen von Vliestüchern insbesondere im Hygienebereich lassen erwarten, dass dieser Anteil in Zukunft weiter steigen wird.

Des Weiteren fanden im Rahmen von KURAS gemeinsam mit dem DWA Landesverband Nord-Ost sowie Vertretern der Vliesstoffindustrie und Abwasserbetreibern ein erster interdisziplinärer Austausch und ein Workshop statt. Gemeinsam mit einem Vertreter der EDANA (Interessenvertretung aller europäischen Vliesstoffhersteller) wurde deren „Spülbarkeitstest“ für Feuchttücher diskutiert. Festgestellt wurde, dass es sowohl auf Seiten der Betreiber (Was sind die Ansprüche an die Spülbarkeit von vliesstoffbasierten Hygienetextilien?) als auch auf Seiten der Industrie (Welche Kriterien sind an Testverfahren und Testgerät zu stellen?) und auf Seiten der Kunden/Nutzer (Wie kann ein korrekter Entsorgungsweg sichergestellt werden?) noch viel Handlungsbedarf gibt.



Abb. 2: Feststoffverteilung im Abwasser (Auszug aus den Zwischenergebnissen der Feststoffmesskampagne im Rahmen von KURAS). Quelle: Projekt KURAS

## Abwasserpumpschächte – Neues Design für bewährte Infrastruktur

Neben dem Blick auf das zu fördernde Medium Abwasser ist auch eine Analyse der Abwassertechnologien notwendig, um die Abwasserinfrastruktur zu optimieren. Aus diesem Grund überprüfte KURAS die aktuellen Auslegungsgrundlagen für Abwasserschachtpumpwerke, um sie an die beobachteten Probleme (z. B. Verstopfungen und Lufteintrag) anzupassen.

Abwasserpumpschächte sind ein wichtiger Bestandteil der urbanen Infrastruktur. Ihre Hauptaufgabe besteht darin, das Abwasser aus den Wohngebieten zu sammeln und zum nächsten Abwasserpumpwerk weiterzutransportieren. Die Bauart eines Abwasserpumpschachtes ist eine der einfachsten Umsetzungen von Pumpwerken. Sie zeichnet sich durch eine simple Auslegung und relativ günstige Herstellungskosten aus. Die Pumpen sind in den meisten Fällen direkt im Fördermedium nass aufgestellt. Die Auslegung erfolgt gemäß HI 9.8 und ATV-DVWK-A134.

Im Rahmen des Projektes KURAS wurden an einem Schachtpumpwerksversuchsstand und an einem physikalischen Modell Versuche zur Wirkung von Zuströmung und Schachtgeometrie auf Sedimentation, Lufteintrag und Schaumbildung durchgeführt. Dabei wurden zwei grundsätzliche Probleme identifiziert. Zum einen führt die Zuströmrichtung gemäß aktueller Auslegungsrichtlinien zu ungünstigen Strömungsverhältnissen im Schachtpumpwerk. Zum anderen reicht die Ausgestaltung des Pumpensumpfes nach Vorgaben aus HI 9.8 oder DWA A134 nicht aus, um Ablagerungen während des Betriebes zu verhindern.

Die störungsfreie Funktion eines Schachtpumpwerkes hängt zum großen Teil von der Zulaufgeometrie und damit von der Zuströmung des Schmutzwassers ab. Die Zuströmung beeinflusst die Strömungsverhältnisse im Schacht und damit das Entstehen von Sedimenten am Boden des Schachtes sowie das Ansammeln von Faserstoffen. Diese können ein Verstopfen der Pumpe bewirken.

Des Weiteren entsteht durch den Wasserstrahl, der auf die freie Wasseroberfläche im Schacht trifft, ein Lufteintrag ins Abwasser, der zu einer Beeinträchtigung des Pumpenbetriebs führen kann (Abnahme von Wirkungsgrad und Förderhöhe).

In experimentellen Untersuchungen wurde gezeigt, dass die Verwendung tangentialer Zuströmung in Schachtpumpwerken zu einer deutlichen Reduzierung von Lufteintrag und Schaumbildung im Pumpenschacht führt. Gleichzeitig beeinflusst sie die Ausbildung von Sedimentationszonen unterhalb der Pumpen im Pumpensumpf positiv. Darüber hinaus verhindert die veränderte Zuströmrichtung die Akkumulation von Faserstoffen auf den nass-aufgestellten Abwasserpumpen und reduziert damit Störungen aufgrund fehlender Motorkühlung und Verstopfung durch remobilisierte Textilkonglomerate.

Über den Einsatz von speziell ausgebildeten Bermen kann die Wirkung der tangentialen Zuströmung verstärkt werden. Mit Hilfe von Modellversuchen und CFD-Simulationen (CFD = Computational Fluid Dynamics; numerische Strömungsmechanik) wurde eine Pumpensumpfgestaltung entwickelt, die deutlich von den aktuellen Auslegungsvorgaben abweicht. Die auftretenden Sedimentationszonen werden damit dahingehend beeinflusst, dass sich Material unterhalb der nicht-aktiven Abwasserpumpe ansammelt. Über den wechselseitigen Betrieb kann das Schachtpumpwerk so ablagerungsfrei betrieben werden.



Abb. 3: Abwasserpumpschacht und die numerische Simulation des Lufteintrages in das Abwasser. Quelle: TUB-FSD

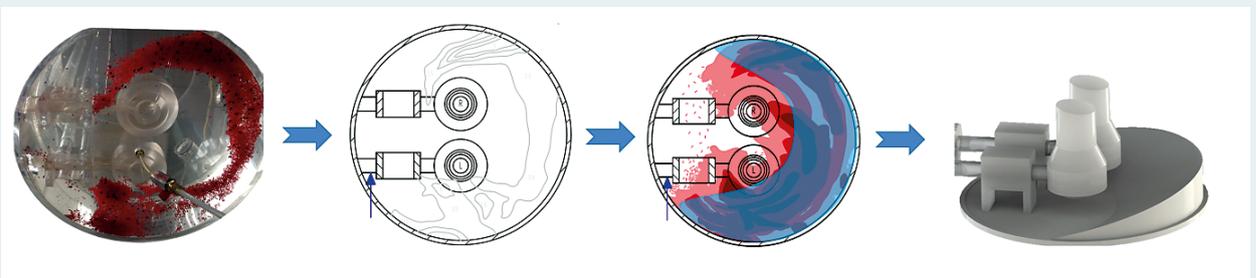


Abb. 4: Formgebung der Bermen in Abwasserschachtpumpwerken. Quelle: TUB-FSD

#### Autoren:

Hagen Hürter, Mathias Riechel,  
Michael Stapf und Theo Schmitt

#### Projekt: KURAS

#### Literatur:

Riechel, M., et al. (2015):  
A holistic assessment approach to  
quantify the effects of adaptation  
measures on CSO and flooding.  
Proceedings of the 10th Urban  
Drainage Modelling Conference,  
21 – 23 September 2015, Quebec,  
Canada.

Hürter, H., et al. (2015):  
Integrated modelling and evalua-  
tion of adaptation measures in a  
metropolitan wastewater system.  
Proceedings of the 10th Urban  
Drainage Modelling Conference,  
21 – 23 September 2015, Quebec,  
Canada.

Mitchell, R.-L., et al. (2014):  
Zukunftsorientierter Betrieb,  
Ausbau und Anpassung von  
Abwassersystemen im Rahmen  
des BMBF-Forschungsprojekts  
KURAS. DWA-Inspektions- und  
Sanierungstage 2014, Dortmund.

## C5

# Entwicklung und Bewertung von Maßnahmen zur Anpassung der urbanen Abwasserinfrastruktur an die Zukunft

Um aktuellen und zukünftigen Herausforderungen gerecht zu werden, werden umfassende Anpassungskonzepte für Abwassersysteme benötigt. Dazu gehören bauliche und betriebliche Maßnahmen in den unterschiedlichen Teilbereichen des Abwassersystems (Gebietsoberfläche, Kanalnetz, Pumpsystem, Kläranlage). Das INIS-Projekt KURAS liefert einen integralen Ansatz zur Entwicklung und Bewertung von Einzelmaßnahmen und Maßnahmenkombinationen für große urbane Einzugsgebiete.

## Das Projekt KURAS

Im Projekt KURAS wurden zunächst über eine Szenarienbetrachtung (Zeithorizont 2050) zukünftige Herausforderungen in einem großen Berliner Pumpwerkeinzugsgebiet (30 km<sup>2</sup>) präzisiert und anhand festgelegter Bewertungsindikatoren quantifiziert. Die Betrachtung wurde dabei auf die Belastungskategorien „Überlast“ bzw. „Unterlast“ ausgerichtet, um der zukünftig zu erwartenden Zuspitzung von extremen Abflussverhältnissen (geringer/hohes Abfluss) und ihrer Folgen (siehe Abbildung 1) Rechnung zu tragen (vgl. auch Beitrag B3).

Im Rahmen eines Maßnahmen-Screenings wurden 29 einzelne Anpassungsmaßnahmen experimentell oder simulationstechnisch untersucht und hinsichtlich ihrer Effekte im Überlastfall (Überflutung, Mischwasserüberlauf) bzw. Unterlastfall (Ablagerungen, Pumpenverstopfung) bewertet. Abbildung 2 zeigt eine Auswahl der untersuchten Einzelmaßnahmen, kategorisiert nach den verschiedenen Systembereichen.

Bei dieser Voruntersuchung stand die Betrachtung der Auswirkungen der Einzelmaßnahmen auf konkrete Effektbereiche des Abwassersystems im Vordergrund. Beispielsweise wurden Maßnahmen zur Stauraumbewirtschaftung zunächst hinsichtlich ihres Zieleffekts (Reduzierung Mischwasser-Entlastung) bewertet. Die integrale Bewertung der Maßnahmeneffekte erfolgte anschließend bei der Betrachtung der Maßnahmenkombinationen.



Abb. 1: Herausforderungen für die Abwasserinfrastruktur. Quelle: Projekt KURAS



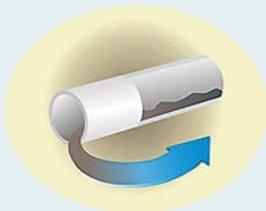
### Oberfläche

- Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung (Bsp. Dachbegrünung, Versickerung)
- Temporärer Flächeneinstau
- Gezielte Ableitung auf der Oberfläche
- Maßnahmen an Straßeneinläufen



### Pumpsystem

- Saugraumgestaltung von Abwasserpumpwerken
- Pumpensumpfgestaltung für Schachtpumpwerke
- Reinigungssequenz für Abwasserpumpen
- Verstopfungserkennung von Abwasserpumpen



### Kanalsystem

- Optimierte Stauraumbewirtschaftung
- Vorausschauende Schwallpülsysteme
- Kaskadierung
- Stauraurweiterung



### Kläranlage

- Nutzung von Steuerstufen
- N-Rezirkulation vor Überlastfall
- Dynamische  $O_2$ -Sollwerte, Nutzung von  $NH_4$ -Sonden
- Intelligente KA-Steuerung

Abb. 2: Auswahl betrachteter Anpassungsmaßnahmen – nach Systembereichen.  
Quelle: Projekt KURAS

## Überlaufvolumen



Abb. 3: Bewertung des Istzustands (Status quo) und verschiedener Maßnahmen im Entwässerungssystem hinsichtlich des entlasteten Mischwasservolumens für das „mittlere“ Niederschlagsjahr 1990. Quelle: Projekt KURAS

Auf Basis dieser Voruntersuchung wurden anschließend insgesamt fünf effektorientierte Maßnahmenkombinationen (Reduzierung Mischwasserüberlauf, Überstau, Überflutung, Ablagerungen, Kläranlagenablauf) und zwei umsetzungsorientierte Maßnahmenkombinationen (mittelfristige Umsetzung, langfristige Umsetzung mit ausgewogener Zielsetzung) zusammengestellt und simulationstechnisch untersucht. Die Maßnahmenkombinationen wurden für den Istzustand sowie verschiedene Zukunftsszenarien getestet und hinsichtlich ihrer Effekte in allen Bereichen des Abwassersystems bewertet.

Abbildung 4 zeigt beispielhaft die Maßnahmenkombination „Reduzierung Mischwasserüberlauf“. Sie bündelt Maßnahmen in allen Systembereichen, die zur Reduzierung von Mischwasserüberläufen beitragen.

Auch bei der Betrachtung der anderen Maßnahmenkombinationen wurde auf die integrale Effektbewertung Wert gelegt. So wurden z. B. die Maßnahmenkombinationen mit dem Ziel, die Qualität des Kläranlagenablaufs zu verbessern, nicht nur auf ihre Effekte bezüglich der Ablaufparameter, sondern auch auf alle anderen Systemindikatoren hin untersucht (wie z. B. den Mischwasserüberlauf, siehe Abbildung 5).

Nach Abschluss des Projekts werden auf Grundlage der Ergebnisse zu den einzelnen Maßnahmen und Maßnahmenkombinationen problembezogene und zukunftsorientierte Handlungsempfehlungen ableitbar. Diese stehen dann Betreibern von urbanen Abwassersystemen für die Lösung konkreter Problemstellungen sowie zur zukunftsorientierten Systemanpassung zur Verfügung.

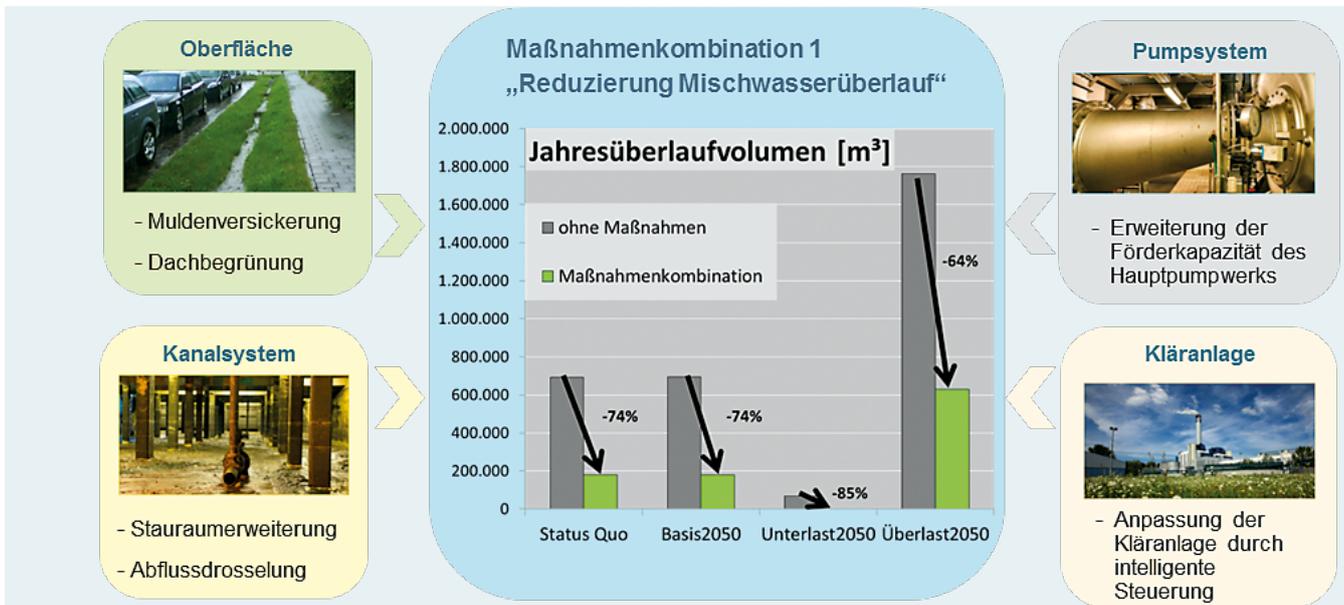
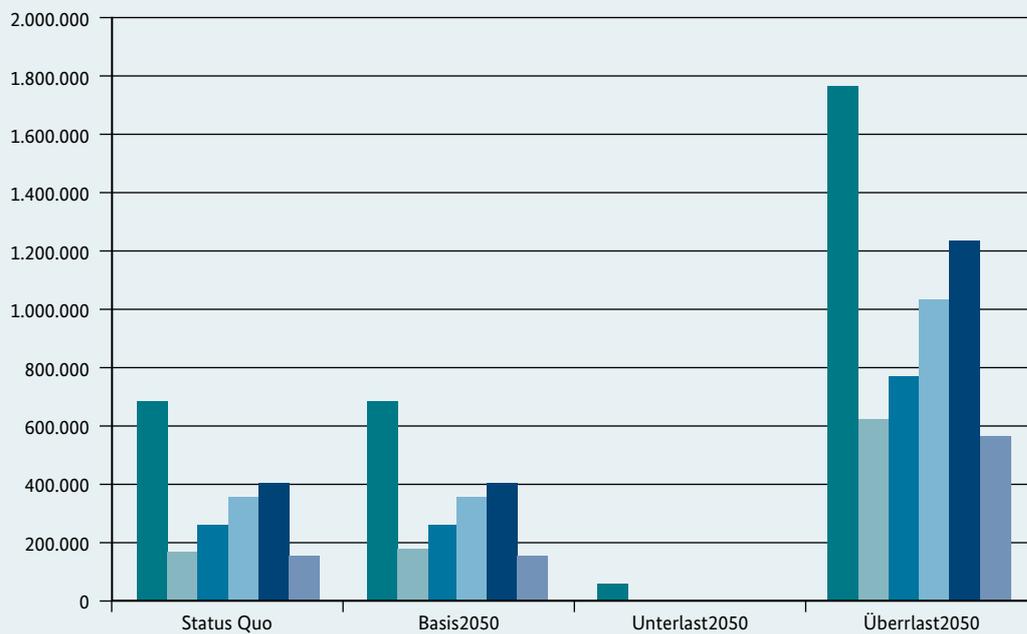


Abb. 4: Untersuchte Maßnahmenkombination zur Reduzierung von Mischwasserüberläufen. Quelle: Projekt KURAS

**Mischwasserüberlauf Jahresvolumen (m³)**



	Status Quo	Basis2050	Unterlast2050	Überrlast2050
<b>Nullvariante</b>	692.471	695.586	67.172	1.761.467
<b>MK1_MW-Überlauf</b>	178.412	180.473	1.876	629.476
<b>MK2_Überstau</b>	269.643	267.319	2.894	775.151
<b>MK5_KA-Ablauf</b>	361.843	362.595	8.880	1.041.012
<b>MK6_Mittelfrist</b>	406.763	411.858	9.113	1.235.727
<b>MK7_Langfrist</b>	158.089	160.190	523	568.073

Abb. 5: Maßnahmenkombinationen – Simulationsergebnisse zum MW-Überlaufvolumen. Quelle: Projekt KURAS

#### Autoren:

Hans-Jörg Temann und  
Jörg Londong

Projekt: TWIST++

#### Literatur:

Gassner, E., und B. Heckenbücker (1995): Die Entwässerungsplanung im Rahmen der Bauleitplanung. Eine Darstellung der städtebaulichen Zusammenhänge, in: Abwassertechnische Vereinigung ATV (Hrsg.): Planung der Kanalisation. 4. Aufl. Berlin, S. 249 – 367.

Heinemann, M., und W. Kaufhold (2007): Walse – Pilotprojekt Kommunalabwasser Wüstheuterode. DWA Rundbrief Nr. 31, Oktober 2007.

Kaufhold, W. (2004): Modellvorhaben Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) Gewässersanierung Walse, in: Symposium „Perspektiven der Abwasserbeseitigung in Thüringen“, Weimar 07.10.2004, Bauhaus-Universität Weimar, Professur Siedlungswasserwirtschaft.

Lautrich, R. (1980): Der Abwasserkanal. Handbuch für Planung, Ausführung und Betrieb. 4., neubearb. u. erw. Aufl. Hamburg.

Londong, J., T. Hillenbrand und J. Niederste-Hollenberg (2011): Demografischer Wandel: Anlass und Chance für Innovationen in der Wasserwirtschaft, in: KA 58 (02), S. 152 – 158.

Temann, H.-J. (2014): Teilortskanalisationen – Möglichkeiten der Integration eines etablierten Provisoriums in zukunftsfähige Systeme. Dissertation an der Bauhaus-Universität Weimar, Band 27 der Schriftenreihe des Bauhaus-Instituts für zukunftsweisende Infrastruktursysteme (b.is), Berlin.

## C6

# Umgang mit Teilortskanalisationen

## Teilortskanalisation

Eine Teilortskanalisation (Tok) ist ein dezentrales Entwässerungssystem, das besonders in Thüringen, Sachsen und im Süden Sachsen-Anhalts verbreitet ist. Es handelt sich um ein öffentliches Netz von Rohrleitungen, offenen Gräben und Schachtbauwerken, in dem vollständig oder teilweise behandeltes Schmutzwasser oder gering verschmutzte Schmutzwasserteilströme sowie meist auch Regenwasser von mehreren Grundstücken ohne vorherige Behandlung in ein Gewässer abgeleitet werden. Das Gros der heutigen Teilortskanalisationen im mitteldeutschen Raum stammt aus den Jahren zwischen 1960 und 1990. Sie wurden in der Regel abschnittsweise, entsprechend dem jeweils dringenden Bedarf und unter konsequenter Ausnutzung der örtlichen Gegebenheiten, errichtet.

Die Behandlung des Schmutzwassers erfolgt bei Teilortskanalisationen wenn überhaupt auf den jeweils angeschlossenen Grundstücken in Kleinkläranlagen. Bei diesen handelt es sich in der Regel um einfache Dreikammergruben (vgl. Temann 2014).

Teilortskanalisationen kommen heute noch oft in ländlich strukturierten Einzugsgebieten vor, die in der Regel kleiner als 15 ha sind und in denen meist weniger als 500 Einwohner leben. Gebiete mit Teilortskanalisationen liegen häufig in Gegenden mit stark rückläufiger Einwohnerzahl und sind somit von den negativen Auswirkungen des demografischen Wandels besonders stark betroffen. Für leitungsgebundene Infrastruktursysteme ist damit grundsätzlich eine Erhöhung der Kosten verbunden (vgl. Londong et al. 2011).

Die Kanallängen je Einwohner (E) sind bei Teilortskanalisationen wie auch sonst im ländlichen Raum relativ hoch. In der Literatur stehen 0,5 bis 5 m/E in Stadtgebieten Werten von 4 bis 20 m/E in den Landkommunen gegenüber (vgl. Gassner/Heckenbücker 1995; Lautrich 1980). Studien in Gebieten mit Teilortskanalisationen lieferten hingegen Werte von 10 bis 39 m/E (vgl. Temann 2014).

## Nutzungsmöglichkeiten

Neben der direkten Nutzung sind weitere Stufen möglich, die jeweils einen geringeren Teil des Potenzials der bestehenden Bausubstanz ausnutzen (siehe Abb. 1). Der anwendbare Grad der Nutzung hängt von der Spezifik der jeweiligen Nutzungsmöglichkeit, vom Zustand der vorhandenen Bausubstanz und von den Anforderungen an den Grundwasserschutz des betreffenden Entwässerungsgebietes ab. Je höher er ist, desto wirtschaftlicher ist die jeweilige Nutzungsmöglichkeit umsetzbar. Wegen der oftmals sehr effizienten Trassenführung von Teilortskanälen, bei deren Auswahl seinerzeit die Eigentumsgrenzen kaum eine Rolle spielten, können aber auch die weniger intensiven Nutzungsgrade noch hohe Nutzenpotenziale bieten.

Die Entstehungsgeschichte von Teilortskanalisationen ist eng mit der Notwendigkeit der **Ableitung von Regen- und Oberflächenwasser** verknüpft. Es handelt sich um eine der bedeutendsten Nutzungsmöglichkeiten für vorhandene Teilortskanalisationen, und sie wird auch für zukunftsfähige Konzepte sehr zweckmäßig sein. Die Notwendigkeit dazu besteht in allen Systemen, sofern Regenwasser nicht vor Ort versickert oder genutzt werden kann.

	Grad der Nutzung	Beschreibung
	<b>direkte Nutzung</b>	direkter Abfluss des jeweiligen Stoffstromes in der bestehenden Substanz der vorhandenen Tok-Leitungen; maximal punktuelle Reparaturmaßnahmen
	<b>als Leerrohr</b>	die Rohre der vorhandenen Tok-Leitungen werden unter Ausnutzung ihrer Tragfähigkeit als Leerrohre für ein oder mehrere neue Medienleitungen genutzt (z. B. einzelne Elektro- oder Informationskabel, Druckleitungen aus PE-HD; auch Renovierung i. d. R. mit Lining-Verfahren)
	<b>als Baubehelf</b>	die Tok-Leitungen dienen als Hilfsmittel zur Herstellung neuer Anlagen ohne dauerhafte Nutzung ihrer Tragfähigkeit; Beispiele a) Nutzung von Schächten als Start und Ziel für grabenlose Verfahren ohne Verwendung der Tok-Rohre; b) die Nutzung von Schächten und Haltungen im Zuge der Erneuerung; z. B. für das Berstlining-Verfahren
	<b>als immatrielle Trasse</b>	die Schächte und Haltungen werden nicht genutzt, sondern erforderlichenfalls nur gesichert oder zurückgebaut, für die neuen Anlagen werden nur evtl. bestehende Leitungsrechte und die Tatsache genutzt, dass Tok-Trassen meist von Bebauung freigehalten sind
	<b>keinerlei Nutzung</b>	Nutzung der Leitungen nicht möglich oder nötig; bei Bedarf keinerlei Nutzung, Rückbau oder Verfüllung

Abb. 1: Unterschiedliche Grade der Nutzung vorhandener Teilortskanäle. Quelle: Temann (2014)

Die zweite wesentliche Nutzungsmöglichkeit von Teilortskanalisierungen ist die Ableitung von mehr oder weniger behandeltem Schmutzwasser. Für die direkte **Ableitung von unbehandeltem Schmutzwasser** sind die vorhandenen Kanäle wegen einer hohen zustandsbedingten Wahrscheinlichkeit von Ablagerungen und Grundwassergefährdungen in der Regel nicht geeignet. Anders verhält es sich, wenn das Schmutzwasser in einem zusätzlichen Rohr im Freispiegel-, Druck- oder Unterdruckverfahren transportiert werden kann. Dessen Einbau kann dann je nach sonstigen Randbedingungen (z. B. frostsichere Verlegetiefe) relativ problemlos unter Nutzung der Teilortskanäle als Leerrohr erfolgen.

Sind die Auswirkungen auf das Grundwasser tolerierbar, kann durch die direkte (Weiter-)Nutzung der Teilortskanalisation für die **Ableitung von teilbehandeltem Schmutzwasser** ein maximaler Nutzen erreicht werden. Diese Möglichkeit wurde im Rahmen eines Pilotvorhabens in Wüstheterode genutzt und erfolgreich in ein Gesamtkonzept integriert (vgl. Kaufhold 2004; Heinemann/Kaufhold 2007).

Teilortskanalisationen können nach einer vollständigen Umstellung von mechanischen auf vollbiologische Kleinkläranlagen direkt für die **Ableitung von vollbehandeltem Schmutzwasser** aus ordnungsgemäß betriebenen vollbiologischen Kleinkläranlagen genutzt werden. Das Gefährdungspotenzial für das Grundwasser ist in diesem Fall stark reduziert.

Da **Grauwasser** keine Fäkalien enthält, sind Teilortskanalisationen aus hydraulischer Sicht sehr gut zur direkten **Ableitung von Grauwasser** geeignet. Problematisch kann der Grad der Verschmutzung des Grauwassers in Verbindung mit dem baulichen Zustand der Teilortskanäle und den Anforderungen an den Schutz des Grundwassers sein.

Andere, stärker als das Grauwasser belastete Schmutzwasserteilströme lassen sich normalerweise nicht direkt in vorhandenen Teilortskanalisationen transportieren. Für die **Ableitung von Schwarzwasser, Braunwasser** und/oder **Gelbwasser/Urin** sollten vorhandene Teilortskanalisationen bestenfalls als Leerrohr genutzt werden.

Der direkten **Ableitung von Drainagewasser** in Teilortskanälen kommt eine besondere Bedeutung zu, da bestehende Netze mit ihren häufigen Undichtigkeiten und fehlenden zentralen Behandlungsanlagen für diese Nutzungsart geradezu prädestiniert sind. Bei deren Anwendung sind die Belange des natürlichen Wasserhaushaltes und des Grundwasserschutzes gegen die Belange des Schutzes vorhandener Bauten und Anlagen abzuwägen.

Abschließend sei noch die Möglichkeit genannt, bestehende Teilortskanalisationen als **Trasse für Medien außerhalb der Abwassertechnik** zu nutzen. Als Medien kommen z. B. Elektroenergie, Wärme, Erdgas, Biogas oder Daten in Frage. Es liegt auf der Hand, dass der maximale Grad der Nutzung allenfalls in einer solchen als Leerrohr bestehen kann. Aufgrund der in der Regel von der Abwassertechnik stark abweichenden technischen und organisatorischen Randbedingungen bei den einzelnen Medienträgern dürften derartige Anwendungen eher die Ausnahme bleiben.

Die große Zahl an Nutzungs- und Integrationsmöglichkeiten, die sich in bestehenden Gebieten mit Teilortskanalisationen als Handlungsoptionen anbieten, macht die Notwendigkeit einer systematischen Herangehensweise beim Prozess der Entscheidung für ein konkretes System deutlich.



Abb. 2: Teilortskanal. Quelle: Jörg Londong

Autoren:

Jens Alex und Tobias Morck

Projekt: NoNitriNox

## C7

# Betrieb von energieeffizienten Kläranlagen mit gezielter Vermeidung umweltgefährdender Emissionen

## Einleitung

Insbesondere der Energiebedarf (Stromverbrauch) von Kläranlagen stellt eine signifikante Komponente des Gesamt-Energiebedarfs von Kommunen dar. In der Praxis umgesetzte Energieeffizienzmaßnahmen haben aber bewiesen: Bei guter Planung und Inbetriebnahme lässt sich die Energieeffizienz von Kläranlagen deutlich verbessern. Mit der Einführung entsprechender Methoden werden jedoch auch Risiken und Nachteile sichtbar: Neben der potenziellen Maximierung von  $\text{NH}_4^+$ -Emissionen und verschlechterten Schlammeigenschaften besteht auch die Gefahr erhöhter Emissionen von Nitrit, Lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) und Methan. Vor diesem Hintergrund wurde im Rahmen des INIS-Forschungsvorhabens NoNitriNox („Planung und Betrieb von ressourcen- und energieeffizienten Kläranlagen mit gezielter Vermeidung umweltgefährdender Emissionen“) ein Planungswerkzeug mit intelligenten Regelungskonzepten erarbeitet. Es berücksichtigt auch die Quantifizierung umweltgefährdender Nitrit- und Lachgasemissionen.

## Energetische Optimierung

In Anbetracht des sich verändernden Energiemarktes und steigender Anforderungen an den wirtschaftlichen Betrieb rückt das Thema Energieeffizienz auch auf Kläranlagen zunehmend in den Fokus des (wirtschaftlichen) Handelns. Mit Hilfe von Energieanalysen sollen Energieeinsparpotenziale aufgedeckt werden. Dabei hat jedoch das Sicherstellen der Wasserreinigung gemäß der Abwasserverordnung stets oberste Priorität. Grundlage für die energetische Einordnung von Kläranlagen ist das Arbeitsblatt DWA-A 216 – Energiecheck und Energieanalyse (DWA-A 216 2016).

Trotz der bei den biologischen Prozessen einer Kläranlage gegebenen Einschränkungen besteht ein interessantes Verbesserungspotenzial durch steuerungs- und regelungstechnische Maßnahmen. Dieses Potenzial kann zur Verbesserung der Ablaufwerte und des Energieeinsatzes genutzt werden. Seine optimale Hebung ist allerdings eine herausfordernde interdisziplinäre Ingenieursaufgabe. Als Ansatz zur verfahrenstechnischen Optimierung, aber auch zur Planung von Automatisierungskonzepten, die den Energiebedarf minimieren sollen, bieten sich folgende Möglichkeiten an:

- Minimierung des Energiebedarfs für die Bereitstellung des benötigten Sauerstoffs,
- Maximierung des Wirkungsgrades bei der Druckluftherzeugung,
- Minimierung des Sauerstoffüberschusses (großer Abstand von der O<sub>2</sub>-Sättigung).

Des Weiteren sollte der Anteil des Chemischen Sauerstoffbedarfs (CSB), der als Biogas verfügbar wird, vergrößert werden, wobei gleichzeitig der zu oxidierende Anteil verringert wird. Dies kann erfolgen durch optimale Nutzung der Vorklärung, optimale Schlammalter-Regelung und maximale Denitrifikation, um den Anteil des aerob oxidierten CSB zugunsten des anoxisch oxidierten CSB zu verringern.

Neben dem Energieaufwand zur Sauerstoffversorgung wird auch Energie zur Förderung von Abwasser und Belebtschlamm und zur Vermischung sowie zum Verhindern des Absetzens von Schlamm benötigt.

Für jede Maßnahme ist darüber hinaus zu prüfen, ob neben der gewünschten Einsparung an Energie nicht negative Effekte auftreten. Im Projekt wird hier insbesondere untersucht, ob es zu erhöhten Nitrit- und Lachgasemissionen kommen kann.

## Modell

Zur Analyse des Verhaltens von Prozess und Betriebsführung im Rahmen von Kläranlagenplanungen wird ein Werkzeug benötigt, mit dem Aussagen zu Reinigungsleistung, erforderlichem Energiebedarf und potenziellen Effekten wie Nitrit- und Lachgasemissionen getroffen werden können. Modellierung und Simulation von Kläranlagen auf Grundlage von mathematischen Modellgrundlagen, wie zum Beispiel dem ASM<sub>3</sub> (Activated Sludge Model No. 3, vgl. Henze et al. 2000), sind bereits seit langem Stand der Technik. Die hier bisher eingesetzten Modelle beschränken sich in der Regel auf die Beschreibung des Kohlenstoffabbaus sowie der Elimination von Stickstoff- und Phosphorverbindungen. Es gibt jedoch immer wieder Bestrebungen, etablierte Modellgrundlagen um zusätzliche Abwasserparameter und Prozesse für spezielle Fragestellungen zu ergänzen. Modellvorschläge zur Beschreibung von Nitrit- und Distickstoffmonoxid (N<sub>2</sub>O)-Bildung basieren in der Regel auf den Modellansätzen ASM<sub>1</sub> und ASM<sub>3</sub>.

Im Rahmen des Projektes NoNitriNox und in Abstimmung mit einer neu etablierten Ad-hoc-Arbeitsgruppe wurde zunächst ein entsprechendes Belebtschlammmodell entwickelt. Es beschreibt neben Nitrat- und Ammonium-Stickstoff auch wichtige Zwischenprodukte wie Nitrit und Lachgas. Nach Analyse existierender Modellvorschläge lässt sich feststellen, dass in allen Modellvorstellungen weitgehende Einigkeit über die Prozesse der Denitrifikation herrscht. Bereits in einschlägigen Untersuchungen der 1990er-Jahre wurde als eine Hauptursache für N<sub>2</sub>O-Emissionen die Denitrifikation angenommen. Bei der Denitrifikation treten sowohl Nitrit als auch N<sub>2</sub>O als obligate Zwischenprodukte auf. Unterschiede in den mathematischen Modellvorschlägen bestehen insbesondere bei der Beschreibung der N<sub>2</sub>O-Bildung im Rahmen der Nitrifikation. Hierbei werden sowohl eine chemische Oxidation des Zwischenproduktes Hydroxylamin (NH<sub>2</sub>OH) mit Sauerstoff oder Nitrit als auch die Denitrifikation durch AOB (Nitrifikanten, Ammonium-oxidierende Biomasse) als Reaktionspfad vermutet. Als Grund für diesen Metabolismus wird oft ein Wachstumsvorteil in sauerstofflimitierten Situationen genannt (kein Sauerstoff für Nitrit-Umsetzung erforderlich). Houweling et al. (2011) erklären hingegen die Reduktion des möglicherweise hemmenden bzw. giftigen Zwischenproduktes Nitrit durch AOB als Selbstschutzmechanismus.

Im Rahmen des Forschungsprojektes NoNitriNox wird für die Modellierung der Nitrit- und N<sub>2</sub>O-Bildung ein neuer Modellvorschlag (ASM<sub>3</sub>EX) erarbeitet. Das Modell kombiniert – ausgehend vom ASM<sub>3</sub> mit der Parametrierung nach Hochschulgruppe Simulation Alex et al. (2015a) – die Erweiterung auf eine zweistufige Nitrifikation nach Kaelin et al. (2009) mit der AOB-Denitrifikation nach Houweling et al. (2011) (siehe Abb. 2) und einer dreistufigen Denitrifikation (siehe Abb. 1).



Abb. 1: Reaktionskette der dreistufigen Denitrifikation  
Quelle: ifak 2016

Im Modellvorschlag ASM<sub>3</sub>EX wurden für die N<sub>2</sub>O-Bildung durch AOBs mit der Hydroxylamin-Oxidation und der Nitrifikanten-Denitrifikation zwei metabolische Pfade eingeführt.

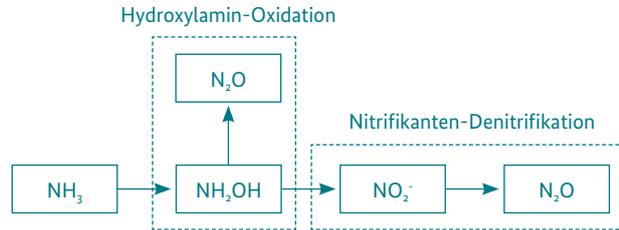


Abb. 2: N<sub>2</sub>O-Bildungspfade durch AOBs  
Quelle: ifak 2016

Die Nitrifikanten-Denitrifikation wird als endogene Atmung der AOBs unter anaeroben Bedingungen mit Nitrit als Elektronenakzeptor interpretiert.

Stöchiometrie (Nitrifikanten-Denitrifikation):

S <sub>NH4</sub>	S <sub>NO2</sub>	S <sub>N2O</sub>	S <sub>HCO3</sub>	X <sub>I</sub>	X <sub>AOB</sub>	X <sub>MI</sub>
$i_{N,BM} \cdot f_{XI} \cdot i_{N,XI} - 1 \cdot (1 - f_{XI}) \cdot \frac{7}{8}$	$(1 - f_{XI}) \cdot \frac{7}{8}$	$i_{N,BM} \cdot f_{XI} \cdot i_{N,XI} + (1 - f_{XI}) \cdot \frac{7}{8}$	$\frac{14}{14}$	$f_{XI}$	-1	$f_{XMI,BM}$

Kinetik:

$$b_{AOB} \cdot \eta_{A,Denit} \cdot \eta_{NO2} \cdot \eta_{AOB,ax} \cdot \frac{S_{NO2}}{S_{NO2} + K_{AOB,NO2}} \cdot \frac{S_{HCO3}}{S_{HCO3} + K_{N,ALK}} \cdot X_{AOB}$$

Für die Bildung von  $N_2O$  über Hydroxylamin wird angenommen, dass dieser Prozess als Alternative zum normalen AOB-Wachstumsprozess mit identischer Stöchiometrie auftritt, wobei anstelle von Nitrit ( $NO_2^-$ )  $N_2O$  gebildet wird.

Weitergehend wurde im Modellansatz eine Umschaltfunktion eingeführt, die, je nach Ausprägung, zunehmend den Reaktionspfad in Richtung  $N_2O$  aktiviert (siehe Abb. 3). Für diese Umschaltfunktion werden unterschiedliche Varianten getestet.

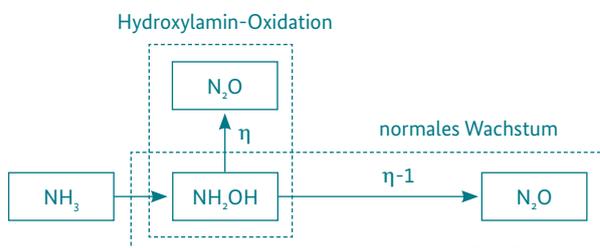


Abb. 3: AOB-Wachstum mit Umschaltfunktion zur  $N_2O$ -Bildung (Hypothese), Quelle: ifak 2016

Die Variante MV.1 realisiert eine teilweise Umschaltung auf den  $N_2O$ -Pfad, wenn die Ammonium-Umsatzrate einen Maximalwert erreicht. Die Variante MV.2 nutzt als Umschaltfunktion den Vorschlag von Houweling et al. (2011) und resultiert aus Versuchen, das Verhalten der im Projekt NoNitriNox betrachteten großtechnischen Anlagen besser abzubilden. Die Wirkung der Umschaltfunktion kann in dieser Variante über die Parameter  $h_{Hou}$  und  $K_{AOB,O_2,xyla}$  eingestellt werden.

Umschaltfunktion der Variante MV.2

$$\eta = \eta_{Hou} \frac{S_{NO_2}}{S_{NO_2} + K_{AOB,NO_2,xyla}} \frac{K_{AOB,O_2,xyla}}{S_{O_2} + K_{AOB,O_2,xyla}}$$

Die im Simulationssystem benutzten Modelle wurden auf Basis existierender Modellvorstellungen in ein erweitertes Belebtschlammmodell weiterentwickelt und ergänzt. Die so entstandenen Modelle sind weiterhin konform zu den Stand-der-Technik-Belebtschlammmodellen (ASM1, ASM3) und den Bemessungsvorschriften der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA-A131 2016).

Parallel wurden Laborversuche im Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft (ISWA) Stuttgart durchgeführt. Mit ihnen sollten die entwickelten Modellvorstellungen verifiziert und modifiziert sowie die Bedingungen für das Auftreten der relevanten Zwischenprodukte während der Denitrifikation und Nitrifikation ermittelt werden. Geeignete Laboraufbauten und Messverfahren wurden entwickelt und getestet. Mit Hilfe der Laborergebnisse wurden Modellhypothesen erstellt und geprüft. Die Sensitivität unbekannter Parameter des entwickelten Modells wurde analysiert, und eine erste Modellkalibrierung wurde durchgeführt. Ziel ist hierbei, einen Parametersatz auszuarbeiten, mit dem möglichst viele Experimente näherungsweise reproduziert werden können.

Für die großtechnische Verifikation wurden Messeinrichtungen entwickelt und Simulationsmodelle der beiden großtechnischen Anlagen erstellt. Der Abwasserverband Steinlach-Wiesaz betreibt die Verbandskläranlage in Dußlingen mit einer Ausbaugröße von mehr als 100.000 EW. Die Kläranlage wird als Anlage mit vorgeschalteter Denitrifikation betrieben und kann daher als gutes Testbeispiel für viele Kläranlagen ähnlicher Bauart in Deutschland dienen. Das Klärwerk Pforzheim, welches die Abwasserversorgung für rund 250.000 EW übernimmt, verfügt über eine vorgeschaltete und eine nachgeschaltete Denitrifikationsstufe mit externer Kohlenstoffzugabe. Bedingt durch die hohe Nitratbelastung im Zulauf der Anlage aus dem Abwasser von Scheideanstalten, die vielfältige Online-Messtechnik und die hohe Laborqualifikation sind die Bedingungen für eine Simulation der Teilprozesse und die Mitbetreuung der Messreihen bezüglich der Gasemissionen aus der Abwasserreinigung sehr gut.

Zur Ermittlung der Lachgasemissionen wurde der in Abb. 4 dargestellte Messaufbau verwendet. Die Hauben 1, 2 und 3 wurden jeweils nach etwa 25 Prozent, 50 Prozent und 75 Prozent der Fließstrecke in der Mitte eines Beckens installiert.

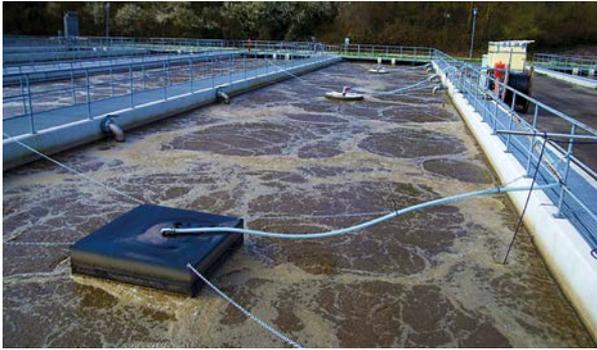


Abb. 4: Messungen in der Nitrifikationszone auf der Kläranlage Pforzheim. Quelle: Eigenbetrieb Stadtentwässerung Pforzheim (ESP) 2016

Im belüfteten Nitrifikationsbecken konnte eine direkte Korrelation der Lachgasemission mit der Ammoniumkonzentration im Belebungsbecken nachgewiesen werden. Ein Anstieg der Ammoniumbelastung im Tagesgang führt zu einer erhöhten Emissionsfracht an Lachgas. Mit fortschreitender Nitrifikation in Fließrichtung sinken die Lachgasemissionen.

Das im Projekt entwickelte Modell wird mit den großtechnischen Ergebnissen verifiziert. Zur Vermeidung einer erhöhten  $N_2O$ -Bildung sollten die Nitrifikation und die Denitrifikation möglichst vollständig ablaufen. Dies ist durch eine ausreichende Dimensionierung der biologischen Stufe sicherzustellen. Ferner sollte Filtratwasser nicht während Belastungsspitzen in den Zulauf dosiert werden.

## Planungswerkzeug

Bei Gewährleistung, besser noch Optimierung der verfahrenstechnischen Funktion der Kläranlage als Aufgabe für Verfahreningenieure (Siedlungswasserwirtschaft) muss eine abgestimmte Maschinenteknik (Pumpenstaffeln, Belüfterelemente, Belegungsichte, Luftverteilsystem, Gebläsestaffel, Schieberauslegung) installiert werden, um die Anforderungen mit hohem Wirkungsgrad umzusetzen. Letztlich muss eine entsprechend ausgelegte Automatisierungstechnik mit Hilfe der Ausrüstung das Verfahren stabil, schnell und lastabhängig in den jeweils besten Arbeitspunkten halten. Ein leistungsfähiges Werkzeug für alle drei Aufgaben ist die Nutzung der Simulation. Um die Interaktionen zwischen Verfahren, Ausrüstung und Automation zu analysieren, wird ein Simulationswerkzeug benötigt, mit dem das Zusammenspiel aller Komponenten beschrieben werden kann.

Obwohl die in Abb. 5 dargestellten simulierten Konzentrationen relativ gut die gemessenen Lachgasemissionen abbilden, ist bei der Anwendung aktuell noch Vorsicht angeraten. Mit demselben Modell und bei gleichen Parametern konnten andere Ergebnisse (z. B. Kläranlage C aus Untersuchungen der TU Wien [vgl. Parravicini et al. 2015]) oder auch Batchversuche nicht reproduziert werden. Bezüglich der Lachgasemissionen z. B. für die Kläranlage Pforzheim ist festzustellen, dass bei einer Lachgasemission von etwas weniger als einem Prozent des oxidierten Stickstoffs der Treibhaus-Effekt dieser Emissionen im Bereich der  $CO_2$ -Emissionen zur Erzeugung der eingesetzten Belüftungsenergie liegt.

Energieeinsparungen, die zu einer Erhöhung der Lachgasemissionen führen, sind in dieser Situation sehr wahrscheinlich negativ für das Gesamt-Treibhausgas-Potenzial. Im Rahmen des Projektes NoNitriNox werden daher Maßnahmen, die ganz sicher nicht zu einer Erhöhung der Lachgasemissionen führen, bevorzugt analysiert. In diese Kategorie fallen z. B. alle Maßnahmen zur Minimierung des Energieeinsatzes zur Erzeugung der benötigten Druckluft.

Dafür wurden Ressourcen des Projektes NoNitriNox eingesetzt, um das Simulationswerkzeug SIMBA# des Projektpartners ifak – Institut für Automation und Kommunikation um eine Modellbibliothek zur Beschreibung der Luftversorgung zu ergänzen. Die neue Modellbibliothek beinhaltet Komponenten zur Beschreibung von

- Gebläsen und Gebläsesteuerungen,
- Rohrleitungen mit typischen Einbauten,
- Regelventilen (konventionell und Neuentwicklungen) und
- Belüfterelementen (Einrichtungen zum feinblasigen Eintrag von Luft in Belebungsbecken).

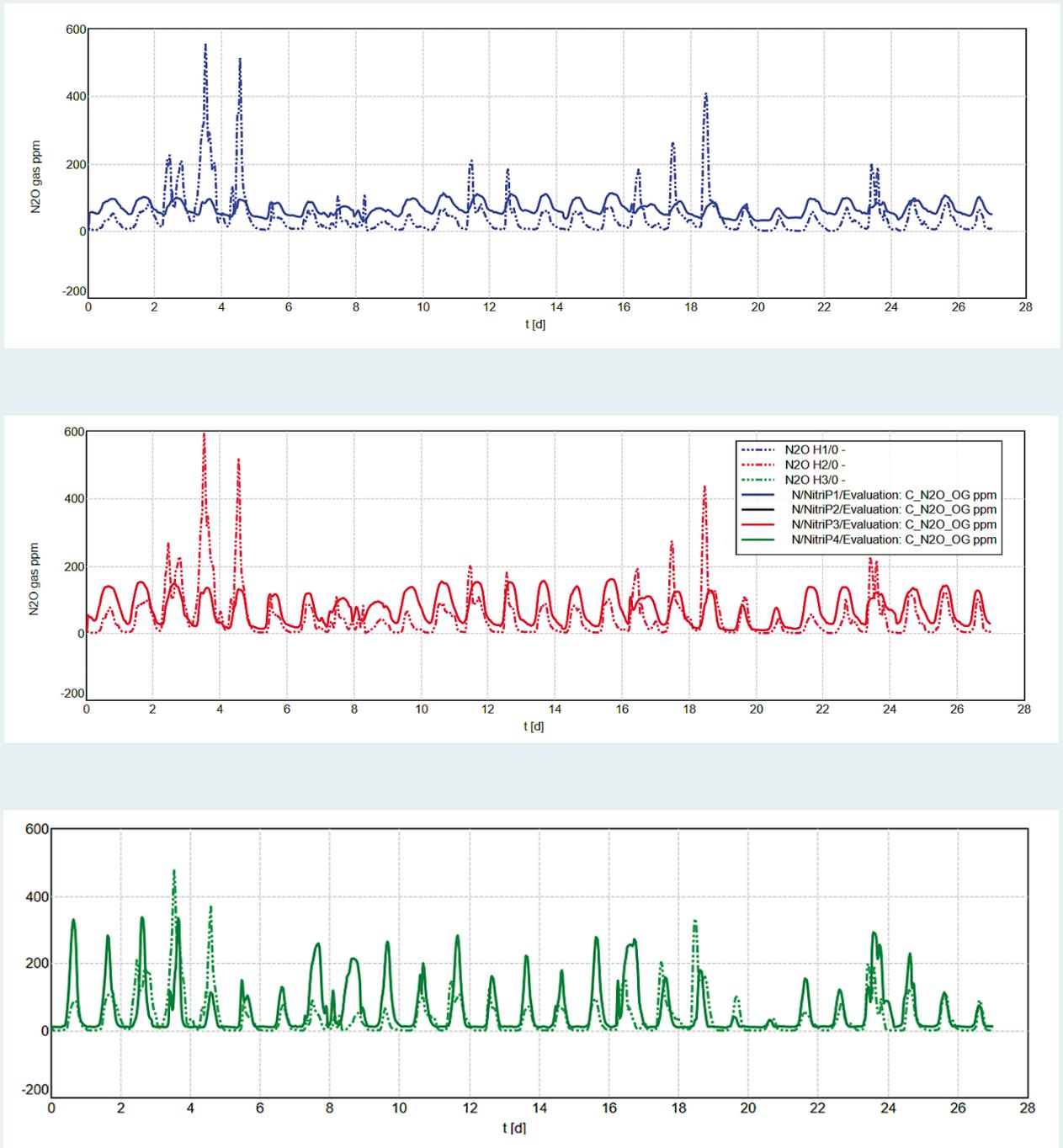


Abb. 5: Lachgaskonzentrationen Offgas (gestrichelt: Messung, durchgezogen: Simulation), von oben nach unten: Haube 1, 2 und 3, Modellvariante MV.2. Quelle: ifak 2016

Diese Komponenten können untereinander oder in Verbindung mit einem verfahrenstechnischen Kläranlagenmodell verschaltet werden (eine detaillierte Beschreibung findet sich im Kapitel F). Selbstverständlich kann auch die Funktion der Automatisierungstechnik bis ins Detail berücksichtigt werden. Auch für weitere

wichtige Elektro-Energieverbraucher wurden Modellkomponenten (Pumpen, Rührwerke) bereitgestellt. Letztlich wurden auch die Modellerweiterungen zur Beschreibung von Lachgasemissionen in diesem Simulator umgesetzt.

## Komponenten zur energetischen Optimierung

Als letzte Komponente wurden alle wesentlichen regelungstechnischen Optionen zusammengestellt, die das Verhalten (Ablaufwerte, umweltgefährdende Emissionen und Betriebskosten) einer Kläranlage verbessern können. So wurden unterschiedliche Varianten der Belüftungssteuerung, die in der Fachwelt diskutiert werden, mit dem neuen Werkzeug analysiert (vgl. Alex et al. 2015b).

Für einen wirtschaftlichen Betrieb von Belebungsanlagen sind die Auslegung und Betriebsweise der Belüftungseinrichtungen von zentraler Bedeutung. Über die Belüftungseinrichtungen ist der aktuell vorhandene Sauerstoffbedarf der Biologie einzubringen. Dabei schwankt der Sauerstoffbedarf im Tages-, Wochen- und Jahresgang in Abhängigkeit von Abwasserbelastung, Temperatur, Betriebsweise und weiteren Einflussgrößen stark. Ein zu hoher Sauerstoffeintrag ist sowohl aus verfahrenstechnischen als auch aus wirtschaftlichen Gründen zu vermeiden. Die Automatisierung der Sauerstoffversorgung muss neben dem zeitlich schwankenden Sauerstoffbedarf auch die örtliche Verteilung berücksichtigen.

Wichtige Fragen, die für die verfahrenstechnische Funktion von Sauerstoffregelungen, aber auch für den Energiebedarf relevant sind, betreffen:

- Anzahl, Messort von O<sub>2</sub>-Sonden, Wahl der Regelgröße,
- Anzahl und Stellbereich von Luftzuleitungen zu Beckenkaskaden,
- Belegungsdichte der Belüfter in den jeweiligen Beckenabschnitten,
- Vorgabe geeigneter Sauerstoffsollwertprofile (örtliche Verteilung).

In größeren Anlagen wird als Stellgröße für die Sauerstoffregelungen der Sollwert für die eingeblasene Luftmenge bzw. die Stellung eines Regulierrchiebers der entsprechenden Stichleitung genutzt. Die Stichleitungen werden über eine Luftsammelschiene versorgt. Die Luft auf der Sammelschiene wird durch mehrere Drehkolbengebläse oder Turboverdichter bereitgestellt. Die eingebrachte Luftmenge in die einzelnen Beckenabschnitte muss an den momentanen Sauerstoffbedarf angepasst werden.

Für die hier beschriebene verfahrenstechnische Lösung werden in der Literatur unterschiedliche Regelungskonzepte vorgeschlagen. In der Praxis muss man feststellen, dass installierte Regelungskonzepte den Anforderungen oft nicht genügen. Für eine gut funktionierende Belüftungsregelung sind einige Aspekte zu beachten. In Alex et al. (2015b) werden Standardvarianten für diese Aufgabe analysiert, einfache Einstellregeln abgeleitet und drei ausgewählte Vorschläge für alternative Konzepte untersucht.

Mit dem Werkzeug Simulation besteht die Möglichkeit, Implementierungsvarianten für diese Aufgabe zu analysieren, Vor- und Nachteile zu bewerten und einfache Einstellregeln abzuleiten.

## Zusammenfassung

Im Ergebnis von NoNitriNox entsteht ein integriertes Planungswerkzeug, mit dem

- die verfahrenstechnische Funktion von Kläranlagen detailliert beschrieben werden kann,
- sich Emissionen von Nitrit und Lachgas abschätzen lassen,
- die Funktion der maschinentechnischen Ausrüstung detailliert geplant werden kann (insbesondere Belüftungssysteme) und
- (fast) alle Optionen zur operativen Verbesserung des Kläranlagenbetriebes entwickelt und detailliert analysiert werden können.

Als Ergebnis des Projektes kann konstatiert werden: Die Auslegung von Verfahrenstechnik, Maschinenteknik und Automatisierung lässt sich mit dem neuen Werkzeug energetisch optimieren. Die Funktion der Kläranlage bezüglich der Abwasserreinigung wird gesichert. Unerwünschte Emissionen können abgeschätzt und, wenn notwendig, reduziert werden.

## Literatur:

Alex et al. (2015a) – Alex, J., D. J. Dürrenmatt, G. Langergraber, I. Hobus und V. Spring: Voraussetzungen für eine dynamische Simulation als Bestandteil einer Kläranlagenbemessung nach DWA-A 131, in: KA – Korrespondenz Abwasser, Abfall 62(5)/2015, S. 436 – 446.

Alex et al. (2015b) – Alex, J. T. Morck und U. Zettl: Modelltechnische Überprüfung energieeffizienter Luftverteilerregelungen bei Druckbelüftung. DWA-GMA-Gemeinschaftstagung „Mess- und Regelungstechnik in abwassertechnischen Anlagen“, Kassel.

DWA-A 216 2016 – Arbeitsblatt DWA-A 216: Energiecheck und Energieanalyse – Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen, Hennef.

DWA-A 131 2016 – DWA Arbeitsblatt A 131: Bemessungen von einstufigen Belebungsanlagen, Hennef.

Henze et al. (2000) – Henze, M., W. Gujer, T. Mino und M. van Loosdrecht: Activated sludge models ASM<sub>1</sub>, ASM<sub>2</sub>, ASM<sub>2D</sub> and ASM<sub>3</sub>. IWA Scientific and Technical Report No. 9, London.

Houweling et al. (2011) – Houweling, D., P. Wunderlin, P. Dold, C. Bye, A. Joss und H. Siegrist: N<sub>2</sub>O Emissions: Modeling the Effect of Process Configuration and Diurnal Loading Patterns, in: Water Environment Research, 83(12), S. 2131–2139.

Kaelin et al. (2009) – Kaelin D., R. Manser, L. Rieger, J. Eugster, K. Rottermann und H. Siegrist: Extension of ASM<sub>3</sub> for two-step nitrification and denitrification and its calibration and validation with batch tests and pilot scale data, in: Wat. Res., 43(6), S. 1680 – 1692.

Parravicini et al. (2015) – Parravicini, V., T. Valkova, J. Haslinger, E. Saracevic, A. Winkelbauer, J. Tauber, K. Svardal, P. Hohenblum, M. Clara, G. Windhofer, K. Pazdernik und C. Lampert: Reduktionspotential bei den Lachgasemissionen aus Kläranlagen durch Optimierung des Betriebes (ReLaKO), Bericht.

A photograph of a dam with multiple spillways. Water is cascading down the spillways, creating a series of waterfalls. The water is a vibrant blue color, and the background shows the concrete structure of the dam and a pool of water at the base. The overall scene is dynamic and energetic.

# Kapitel D

## Inhaltsverzeichnis Kapitel D

---

D	Einleitung: Erschließung ungenutzter Potenziale durch sektorübergreifende Lösungen.....	92
D1	Interaktionen zwischen Wasserwirtschaft und Energiesektor.....	94
D2	Kombinierte Energie- und Nährstoffrückgewinnung aus Schwarzwasser bei unterschiedlichen Transitionszuständen.....	98
D3	Stoffliche und energetische Nutzung der Teilströme in KREIS und ihre Umsetzung im Stadtquartier Jenfelder Au.....	104
D4	Entwicklung, Aufbau und Betrieb einer Pilotanlage zur Herstellung von Flüssigdünger aus Schwarzwasser.....	108
D5	Die getrennte Erfassung von Grauwasser – ein Weg zu mehr Ressourceneffizienz in der Siedlungswasserwirtschaft.....	114
D6	Grauwasserbehandlung mit der Algenpilotanlage.....	120
D7	Integrierte Systemlösungen: Wenn aus häuslichen und fischereibetrieblichen Abwässern wertvolle städtische Nahrungsmittel werden.....	124
D8	Innovative Systemlösungen für unterschiedliche Randbedingungen im Bestand – Ergebnisse des Projekts TWIST++.....	128
D9	Probleme und Stolpersteine beim Umsetzen neuartiger Wasserinfrastrukturen: Diskrepanzen zwischen Theorie und Praxis.....	134
D10	Dependenzen und Interdependenzen von Siedlungs- und Baustruktur mit der Wasser- und Energieinfrastruktur.....	140

**Autor:**

Christian Wilhelm

**Projekt:** INISnet

## D

# Einleitung: Erschließung ungenutzter Potenziale durch sektorübergreifende Lösungen

Bei Entwicklung und Erprobung zukunftsfähiger Wasserinfrastrukturen spielt die effiziente Nutzung der Ressourcen Wasser und Energie eine entscheidende Rolle. Potenziale der ressourcenschonenden Verwendung sind bislang ungenutzt und können nur in sektorübergreifenden Lösungsansätzen zugänglich gemacht werden.

Hierzu bedarf es der interdisziplinären Zusammenarbeit verschiedener Sektoren und deren Akteure. Dies beginnt innerhalb der Wasserwirtschaft – das heißt, Abwasserentsorgung und Trinkwasserbereitstellung müssen sich enger verzahnen – und wird fortgeführt mit der Einbindung der Stadt- und Freiraumplanung in innovative Gedankenspiele.

In Kapitel D liegt der Fokus auf neu gewonnenen Erkenntnissen aus den Forschungsvorhaben, die das Zusammenspiel technischer Lösungen – innovativer wie konventioneller – mit zukunftsfähigen und neuen konzeptionellen Ansätzen beschreiben.

## Wasser und Energie

Energie zu erzeugen, ist auf großen zentralen abwassertechnischen Anlagen vielfach schon Standard. Es gilt jedoch, die „Energieeffizienz“ der Wasserinfrastrukturen begrifflich weiterzuentwickeln. Den Beitrag der Wasserinfrastrukturen zur Energiewende allein über den Bedarf an Jahreskilowattstunden (kWh/a) pro Leistungseinheit (m<sup>3</sup> Trinkwasserversorgung bzw. gereinigtes Abwasser) zu quantifizieren, wird dem Thema nicht gerecht. Die Erweiterung der Wasserinfrastruktursysteme um Funktionen der Energieerzeugung als Beitrag zur Energiewende schlägt sich bislang nicht in der Bewertung der „Energieeffizienz“ solcher Anlagen nieder. Neben der Optimierung des Energieverbrauchs in technischen Prozessen hat auch die Rückgewinnung von

bereits eingesetzter Energie große Relevanz. Die Rückgewinnung kann dabei auf zweierlei Art und Weise bewerkstelligt werden: thermisch durch die Nutzung der Wärme im Abwasser und stofflich, d.h. durch Umwandlung der verfügbaren Kohlenstoffquellen im Abwasser zu Biogas.

Abwasser ist eine wertvolle Ressource und sollte nicht als Abfall dargestellt, verstanden und wahrgenommen werden. Technologien und Konzepte zur energetischen und stofflichen Wiederverwendung bzw. Nutzung von Abwasser sind bereits erarbeitet und können umgesetzt werden.

## Betriebswasser aus Grauwasser

Neben dem Verwerten der wertvollen Abwasserinhaltsstoffe, dem Rückgewinnen von Nährstoffen als Dünger und dem Umwandeln der Kohlenstoffquellen in Biogas war das Wiederverwenden der Ressource Abwasser als Betriebswasser ein Schwerpunkt in den INIS-Forschungsvorhaben. Die Wiederverwendung gering belasteten Abwassers aus Dusche, Badewanne, Waschmaschine und Küche – sogenanntes Grauwasser – wurde unter ganz unterschiedlichen Gesichtspunkten untersucht. Der Umgang mit Abwasserteilströmen ist weder in der technischen Gebäudeausrüstung noch in der

Siedlungswasserwirtschaft weit verbreitet, und es liegen nur wenige Erfahrungen vor. Insbesondere der dezentrale Betrieb der Wasseraufbereitungsanlagen in der Gebäudetechnik stellt eine große Herausforderung dar.

Neben der unstrittigen Wiederverwendung des aufbereiteten Abwassers zur Bewässerung oder zum Spülen der Toilette können alternative dezentrale Wasseraufbereitungstechnologien zu innovativen Methoden des Lebensmittelanbaus beitragen. Es bedarf in dieser Hinsicht sicher noch der Weiterentwicklung.

## Integrierte Systemlösungen und Stolpersteine

Bei der Betrachtung integrierter und sektorübergreifender Systemlösungen werden auch Fragen der schrittweisen Umsetzung/Transformation und des Zusammenspiels der Akteure aufgeworfen. Neuartige Wasserinfrastrukturen verändern bestehende Modalitäten der aktuellen Planung und Implementierung der Wasserinfrastruktur. Die großen Herausforderungen beim Umsetzen dieser integrierten Systemlösungen bestehen nicht ausschließlich darin, neue Technologien zu entwickeln. Ebenso wichtig ist sicherlich auch die Aufgabe, die unterschiedlichen Akteure und Interessen in Einklang zu bringen.

Hierbei gibt es Stolpersteine und Hemmnisse, die in den Forschungsvorhaben thematisiert und betrachtet wurden (siehe hierzu vor allem Beiträge in Kapitel H).

**Autor und Autorin:**

Theo Schmitt und  
Margarethe Langer

**Projekt:** SinOptiKom, INISnet

## D1

# Interaktionen zwischen Wasserwirtschaft und Energiesektor

Wasserinfrastrukturen sind eng verknüpft mit dem Energiesektor. Schließlich verursachen die Wasserversorgung und die Abwasserentsorgung einen nicht unerheblichen Energiebedarf, z. B. durch den Transport von Wasser und den Betrieb der Anlagen zur Wasseraufbereitung. Der durchschnittliche Energiebedarf für die Trinkwasserbereitstellung in Deutschland liegt bei 20 kWh pro Einwohner und Jahr ( $E \cdot a$ ), für die Abwasserentsorgung bei 34 kWh/ $E \cdot a$ . Insgesamt ergibt sich ein Energiebedarf für die Wasserwirtschaft von 6,6 TWh jährlich. Möglichkeiten zur Energieeinsparung gibt es viele, z. B. durch den Einsatz effizienterer Technologien oder den energieoptimierten Betrieb der bestehenden Anlagen und Systeme. Allerdings darf dabei die Funktionalität der Systeme, insbesondere die Reinigungsleistung, nicht beeinträchtigt werden.

Der Umgang mit Trink-, Regen- und Abwasser „verbraucht“ nicht nur Energie, er kann auch Energie liefern: in Form von Wärme und Strom. Integrierte wasserwirtschaftliche Systeme, wie sie innerhalb der INIS-Fördermaßnahme konzipiert und untersucht wurden, zeichnen sich dadurch aus, dass sie die anfallenden Stoffströme zu einem gesamtheitlichen Versorgungssystem verknüpfen. Dieses umfasst beispielsweise Wärmerückgewinnung aus Grau- und Schwarzwasser bzw. häuslichem Schmutzwasser, Energie- und Wärmerückgewinnung durch Verwertung von Schwarzwasser und anderer regenerativer Biomasse sowie Gebäudekühlung mit Regenwasser über Dach- und Fassadenbegrünung.

Dem Thema Energieeffiziente Wasserwirtschaft ist mit ERWAS („Zukunftsfähige Technologien und Konzepte für eine energieeffiziente und ressourcenschonende Wasserwirtschaft“) eine eigene Fördermaßnahme im Rahmen des Förderschwerpunkts „Nachhaltiges Wassermanagement“ (NaWaM) gewidmet. Im Fördermaßnahmen übergreifenden Querschnittsthema Wasser-Energie-Nexus wurde das Zusammenspiel von Wirtschaftlichkeit, Effizienz und Versorgungssicherheit intensiv diskutiert, insbesondere vor dem Hintergrund der Energiewende. Dabei wurde mit Workshop-Teilnehmerinnen und -Teilnehmern ein Diskussionspapier erarbeitet. Es enthält nachstehende Bewertungen und Empfehlungen zu ausgewählten Schwerpunktthemen.

## Energieeffizienz

Die Fördermaßnahmen INIS und ERWAS beschäftigen sich mit der Weiterentwicklung von Technologien, Prozessen und Infrastrukturen der kommunalen Wasserwirtschaft. Im Vordergrund stehen wasserwirtschaftliche Aufgaben (Planung, Bau und Betrieb von Infrastruktursystemen und -anlagen), deren Erfüllung mit Energieeinsatz, vorrangig als Strom und Wärme, verbunden ist. In Verbindung mit der Nutzung des Energiegehaltes des Mediums Wasser (einschließlich Abwasser) ist die Steigerung der Energieeffizienz ein zentrales Anliegen. Vor diesem Hintergrund erscheint eine begriffliche Erörterung für eine möglichst einheitliche Begriffsverwendung angebracht.

Im Kontext der vorgenannten Aufgaben bezieht sich der Begriff „Energieeffizienz“ auf den notwendigen Aufwand zur Zielerreichung, z. B. als Kosten des Energieeinsatzes („Kosteneffizienz“). Auch aus dem Energieeinsatz resultierende (negative) Folgen können in die Energieeffizienz einbezogen werden, z. B. als Ressourcenverbrauch oder CO<sub>2</sub>-Emissionen („Ökoeffizienz“). Im Unterschied dazu beschreibt der Begriff „Effektivität“ die erzielte Wirkung des Energieeinsatzes, z. B. zur Wasserförderung oder zur Belüftung des Belebtschlammes.

Bewertungen der Energieeffizienz beziehen sich auf unterschiedliche Betrachtungsebenen:

- Gebäudeeinheiten,
- funktionale Systemeinheiten (Wasserversorgungssystem, Kläranlage),
- organisatorische Einheiten (kommunale Betriebe, Verbände).

Die vorgeschlagene begriffliche Präzisierung der Energieeffizienz bedarf auch einer Anpassung der Kennzahlen. Bislang wird oftmals angegeben, wieviel kWh im Jahreszeitraum pro m<sup>3</sup> oder pro Einwohner (bzw. pro Einwohnerwert [EW] bei Kläranlagen) aufgewendet werden, um die Versorgung mit Trinkwasser oder die Abwasserbehandlung entsprechend den gesetzlichen Anforderungen zu betreiben. Diese Angaben erscheinen im Lichte erwarteter Entwicklungen nicht ausreichend, da Energiebedarf nicht mit Energieeffizienz (in Bezug auf Kosten) gleichzusetzen ist.

Schon derzeit ist neben dem verbrauchsabhängigen Arbeitspreis (ct/kWh) der Leistungspreis (EUR/kW) ein weiterer Kostenfaktor bei der Energierechnung. Der Leistungspreis richtet sich nach der im Abrechnungszeitraum maximal aufgetretenen bzw. abgerufenen Leistung. In die Bewertung der Energieeffizienz ist dieser Aspekt unbedingt mit einzubeziehen.



Abb. 1: Impression vom Wasser-Energie-Nexus-Workshop in Frankfurt am Main 2014. Quelle: Margarethe Langer, INISnet

Mit dem steigenden Anteil der erneuerbaren Energien und den erheblichen Fluktuationen der Verfügbarkeit wird der Zeitpunkt, in dem Energie bezogen oder selbst erzeugt wird, zukünftig ein entscheidender Kostenfaktor sein. Ein intelligentes Lastfallmanagement kann bei insgesamt gleichem oder höherem Energieeinsatz (und/oder Energiebezug) zu geringeren Energiekosten und damit zu einer größeren Energieeffizienz führen. Bei aktiver Teilnahme am Regelleistungsmarkt durch Betreiben von Kläranlagen als Regelleistungsbaukasten (ein Projektziel in einzelnen Vorhaben der ERWAS-Fördermaßnahme) wird dieser Aspekt noch verstärkt, wenn die Abnahme von Energie unter gewissen Voraussetzungen vergütet wird.

Unterschiedliche Rahmenbedingungen und gesetzliche Anforderungen bei der Erfüllung der wasserwirtschaftlichen Aufgaben erschweren die Vergleichbarkeit von Kennzahlen zur Energieeffizienz bei alleinigem Bezug des Energiebedarfs auf die versorgten Einwohner (bzw. EW). Bei der Abwasserentsorgung gilt dies auch angesichts des diskutierten Ausbaus von Kläranlagen zur Elimination von Mikroschadstoffen („4. Reinigungsstufe“) oder zur erhöhten Elimination oder Rückgewinnung von Nährstoffen. Hinzu kommen Einflussgrößen wie Anlagengröße, Roh- und Schmutzwasserbeschaffenheit.

Empfohlen wird, die Kennzahlen zur Energieeffizienz zu erweitern und neben den Wassermengen ( $\text{m}^3/\text{a}$ ) gegebenenfalls weitere Leistungskennwerte als Bezugsbasis der Energiekosten heranzuziehen. Bei der Abwasserbehandlung wären dies z.B. die eliminierten Frachten relevanter (Schad-)Stoffe. Dies könnte auf „Systemebene“ erfolgen und in zunehmender Detaillierung bis zur „Aggregatebene“ vertieft werden. Dabei könnten auch die vorgenannten Einflussgrößen ausgewiesen werden.

## Beitrag der Wasserwirtschaft zur Energiewende

Entsprechend der inhaltlichen Ausrichtung der Fördermaßnahmen INIS und ERWAS weist die Mehrzahl der Vorhaben, insbesondere in ERWAS, Ansätze auf, die – in Ergänzung zu den originären wasserwirtschaftlichen Aufgaben und Zielen – auf eine Steigerung des Beitrages der Wasserwirtschaft zur Energiewende abzielen. Mehrere Vorhaben haben die Entwicklung oder Optimierung innovativer Technologien zur Nutzung oder Erzeugung regenerativer Energieträger zum Gegenstand. In anderen Vorhaben werden innovative Ansätze zur (optimierten) Umsetzung eines Lastfallmanagements des Energieeinsatzes durch intelligente Bewirtschaftung systemimmanenter Speicher (Wasser, Gas) erarbeitet.

Einzelne Vorhaben umfassen Arbeitspakete zur Weiterentwicklung (des Betriebs) wasserwirtschaftlicher Anlagen als Flexibilitätsoption mit aktiver Teilnahme am Regelenergiemarkt (z. B. durch Vermarktung der [Zwischen-] Speicherung temporär überschüssiger Energie in Form von Power-to-Gas-to-Power). Es erscheint sachgerecht, auch systematisierte Betriebsweisen zur Verschiebung hoher Leistungsbezüge aus verbrauchsintensiven in angebotsstarke Zeiten und Ansätze zur Reduzierung des Energiebedarfs als „Beitrag zur Energiewende“ einzustufen, um somit Dienstleistungen für unterschiedliche Netzebenen bereitstellen zu können.

## Neue Kooperationsformen

Am Beispiel von Verbundvorhaben der BMBF-Fördermaßnahme INIS wurde die Komplexität der Beziehungen zwischen den verschiedenen Akteuren bei der Implementierung integraler Ansätze der Wasser-, Energie- und Abfallwirtschaft auf Quartiersebene verdeutlicht. Die Umsetzung von ressourceneffizientem Wasser-, Energie- und Stoffstrommanagement erfordert zwingend neue Kooperationsformen zwischen den Ver- und Entsorgungsträgern – und mit Dezentralisierung einzelner Dienstleistungen und durch die Verlagerung von Anlagen und Leistungen „auf Privatgrundstücke“ auch mit den Bürgerinnen und Bürgern.

#### Autoren und Autorin:

Carlo G. Morandi,  
Stephan Wasielewski,  
Ralf Minke und  
Heidrun Steinmetz

Projekt: TWIST++

## D2

# Kombinierte Energie- und Nährstoffrückgewinnung aus Schwarzwasser bei unterschiedlichen Transitionszuständen

### Einleitung

Um Abwasserinfrastrukturen nachhaltiger betreiben zu können, müssen Verfahren umgesetzt werden, die eine weitergehende Nutzung möglichst aller im Abwasser enthaltenen Ressourcen ermöglichen. Dass bestehende zentrale kommunale Kläranlagen und die etablierte derzeitige Kanalisation eine komfortable, sichere und funktionierende Lösung zur Abwasserableitung und -behandlung darstellen, ist nicht zu bestreiten. Daher bleibt eine kurz- bis mittelfristige Außerbetriebnahme bestehender Abwassersysteme vor allem aus ökonomischen und logistischen Gründen ausgeschlossen. Wie aus Abbildung 1 hervorgeht, können diese konventionellen Systeme auch bei vollständig abgeschlossener Transition wichtige Funktionen erfüllen.

Eine schrittweise Einführung von stoffstromtrennenden Sanitärinstalltionen und ihre Einbindung in bestehende Abwasserinfrastrukturen wird zu Transitionszuständen führen, bei denen die vorhandenen Abwasserinfrastrukturen weiter betrieben werden müssen. Eines der denkbaren Konzepte der häuslichen Stoffstromtrennung sieht dabei den Einsatz von wassersparenden Vakuumtoiletten auf Haushaltsebene und die getrennte und gezielte Behandlung des so konzentriert erfassten Schwarzwassers vor (siehe in Abb. 1 das Element „Schwarzwasserbehandlung“). Dies ermöglicht die weitergehende energetische und stoffliche Verwertung des Schwarzwassers, welches einen erheblichen Anteil an organischem Substrat und Nährstoffen aufweist; im Vergleich zum Schmutzwasser weist Schwarzwasser deutlich höhere Konzentrationen auf.

Da nahezu alle größeren Kläranlagen in Deutschland mit einer anaeroben Schlammfäulung ausgestattet sind und viele dieser Anlagen hydraulische Reserven aufweisen (vgl. Dichtl und Schmelz 2015), liegt es nahe, den getrennt erfassten Schwarzwasserstrom über eine Vakuumentwässerung direkt dem Faultrum zuzuführen, um dort die Kohlenstoffverbindungen in verwertbares Biogas umzusetzen und dies dann energetisch zu nutzen.

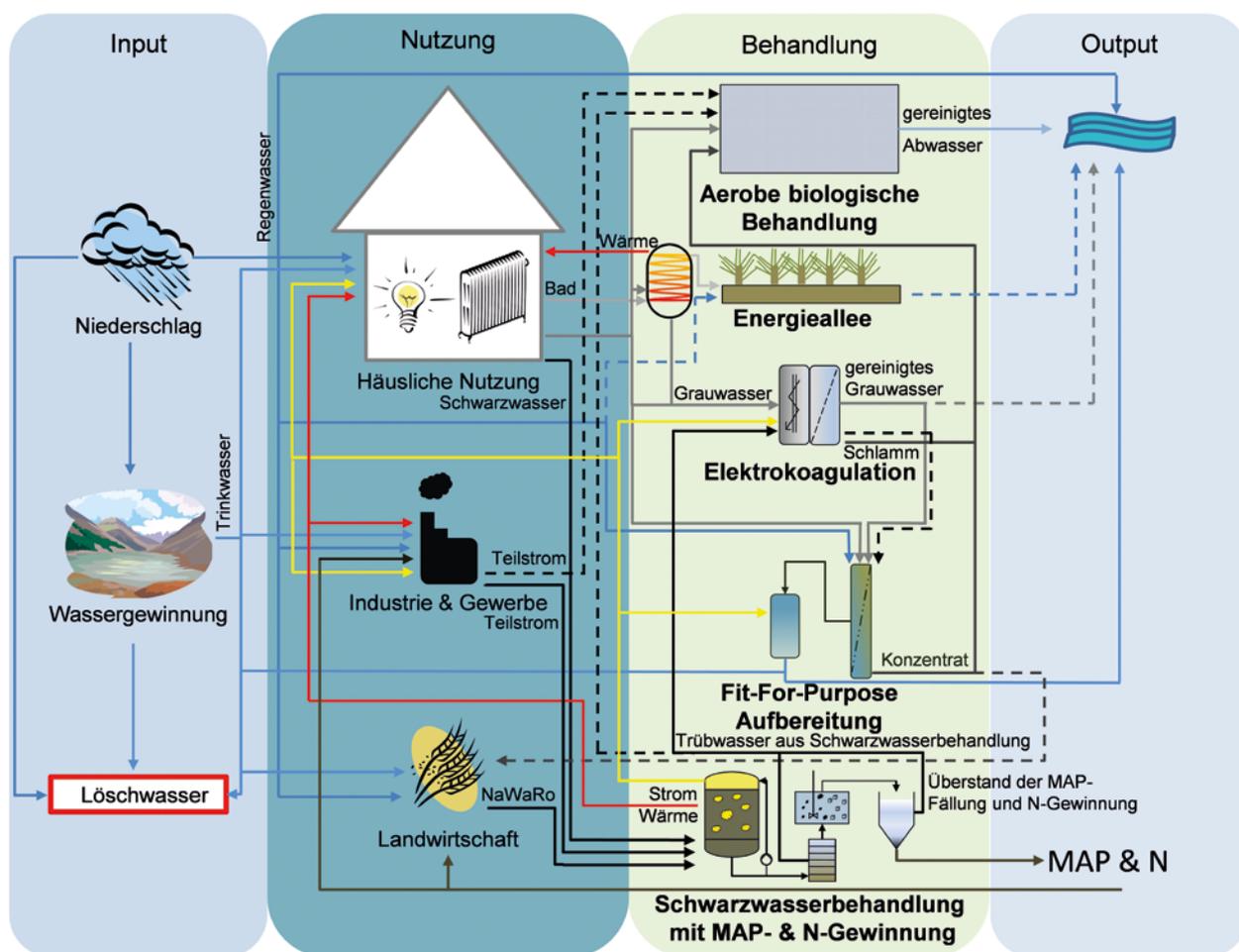


Abb. 1: Schematische Darstellung der Wasser- und Stoffströme eines integrierten Wasserver- und Abwasserentsorgungskonzepts mit dem Ziel der weitgehenden Schließung von Wasser- und Stoffkreisläufen, Quelle: Minke (2016)

Ein möglicher Transitionsweg von der bisherigen gemeinsamen Erfassung und Behandlung sämtlicher häuslicher Abwasserstoffströme hin zu einer ressourceneffizienteren Abwasserwirtschaft besteht also aus mehreren Teilprozessen: (1) der möglichst guten Weiternutzung bestehender Kläranlageninfrastrukturen, (2) der schrittweisen Abkopplung von häuslichem Schwarzwasser von der konventionellen Kanalisation, (3) der getrennten Ableitung über Vakuumentwässerung, (4) der direkten Einbringung in bestehende Schlammfaulungsanlagen sowie (5) einer anschließenden Nährstoffrückgewinnung aus anaerob vorbehandelten Abläufen.

Im vorliegenden Beitrag soll auf ein Verfahren zur kombinierten Energie- und Nährstoffrückgewinnung aus Schwarzwasser, Primär- und Überschussschlamm bei verschiedenen Transitionszuständen, d. h. verschiedenen Substratzusammensetzungen bzw. Raumbelastungen im Zulauf zur Faulungsanlage, eingegangen werden. Dabei wurden halbtechnische Versuche zur Co-Vergärung von Schwarzwasser in einem volldurchmischten anaeroben Reaktor (CSTR) durchgeführt. Hierbei wurde ein denkbarer und praktikabler Transitionsweg nachgestellt, bei dem Schritt für Schritt zunehmende Anteile des Einzugsgebietes entsprechend dem zuvor skizzierten Weg von der derzeitigen Kanalisation abgekoppelt und deren Schwarzwasseranteile in somit ansteigenden Anteilen der Schlammfaulungsanlage direkt zugeführt werden.

Bei den auf Basis der Versuchsergebnisse durchgeführten Bilanzierungen wurden zwei Fälle für den verbleibenden Abwasseranteil – Schmutzwasser aus konventionell entwässerten Teileinzugsgebieten und verbleibendes Grauwasser aus Gebieten mit getrennter Schwarzwassererfassung – untersucht: Fall 1 beschreibt die Situation, dass die bestehende Kanalisation weiter-

genutzt wird und verbleibendes Grauwasser zusammen mit Schmutzwasser der aeroben Stufe der bestehenden Kläranlage zugeführt wird. Fall 2 beschreibt die Situation, dass auch Grauwasser von der bestehenden Kanalisation abgekoppelt, dezentral behandelt und wiederverwendet wird.

## Ergebnisse

Die im halbtechnischen Versuchsmaßstab erzielten Ergebnisse zur Vergärung von Primär- und Überschussschlamm mit ansteigenden Anteilen von Schwarzwasser verdeutlichen: Die Methanausbeute bezogen auf CSB erhöht sich mit steigendem Schwarzwasseranteil und beträgt bei einem frachtbezogenen Schwarzwasseranteil im Reaktorzulauf von ca. 35 Prozent rund 330 L CH<sub>4</sub>/kg CSBelim bzw. kommt dem theoretisch erzielbaren Wert von 350 L CH<sub>4</sub>/kg CSB bei vollständigem CSB-Abbau sehr nahe. Dies kann auf die abnehmende Raumbelastung sowie mögliche Synergien bei der Co-Vergärung zurückgeführt werden. Bei der üblichen Faulung von Primär- und Überschussschlämmen sind viel geringere mittlere Methanausbeuten von 240 L CH<sub>4</sub>/kg CSBelim typisch.

Über alle untersuchten Transitionsphasen hinweg konnte ein stabiler Betrieb des CSTR-Reaktors beobachtet und ein Methangehalt von rund 60 Prozent im Biogas gemessen werden.

Die Untersuchungsergebnisse zur Stickstoffrückgewinnung mittels Zeolith zeigen, dass eine hohe Entfernung von Ammonium von 60 bis 85 Prozent aus dem hochkonzentrierten Teilstromabwasser, wie z. B. Filtrat/Zentrat aus der Faulschlammeindickung des CSTR, erreicht werden kann.

In Abbildung 2 ist der Verlauf des N-Rückgewinnungspotenzials aus Prozesswasser und Schwarzwasserüberstand (nach Inbetriebnahme einer Schwarzwassereindickung) in Abhängigkeit von der Transition und dem Wirkungsgrad einer N-Rückgewinnungsstufe dargestellt. Es ist offensichtlich, dass das N-Rückgewinnungspotenzial aus Schwarzwasserüberstand zwingend zu berücksichtigen ist. Die NH<sub>4</sub>-N-Konzentrationen im Schwarzwasserüberstand aus Vakuumtoiletten nach

der Eindickung betragen rund 900 mg/L und liegen damit in ähnlicher Größenordnung wie die des Prozesswassers.

Bei 35 Prozent Transition – die Inbetriebnahme einer N-Rückgewinnung wird für den stabilen Betrieb der Denitrifikationsstufe erforderlich – führt eine N-Rückgewinnung mit 60-prozentigem Wirkungsgrad (bezogen auf N in Prozesswasser und Schwarzwasserüberstand) zu einer N-Rückgewinnungsrate von rund 20 Prozent bezogen auf die N-Fracht im Zulauf der Kläranlage, hier 11 g/(EW · d). Dies entspricht 2,2 g NH<sub>4</sub>-N/(EW · d). Bei einem Wirkungsgrad von 30 Prozent wird noch eine N-Rückgewinnung von 1,1 g NH<sub>4</sub>-N/(EW · d) erreicht.

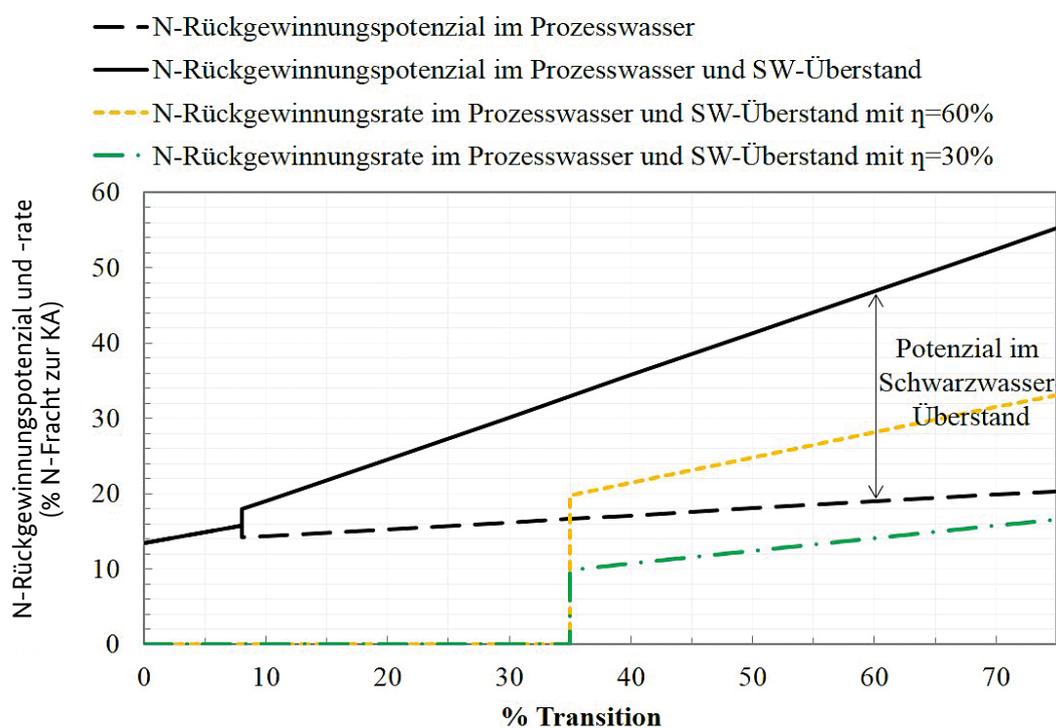


Abb. 2: N-Rückgewinnungspotenzial und -rate bei zwei verschiedenen Wirkungsgraden der Stickstoffrückgewinnungsstufe, Quelle: Morandi et al. (2017)

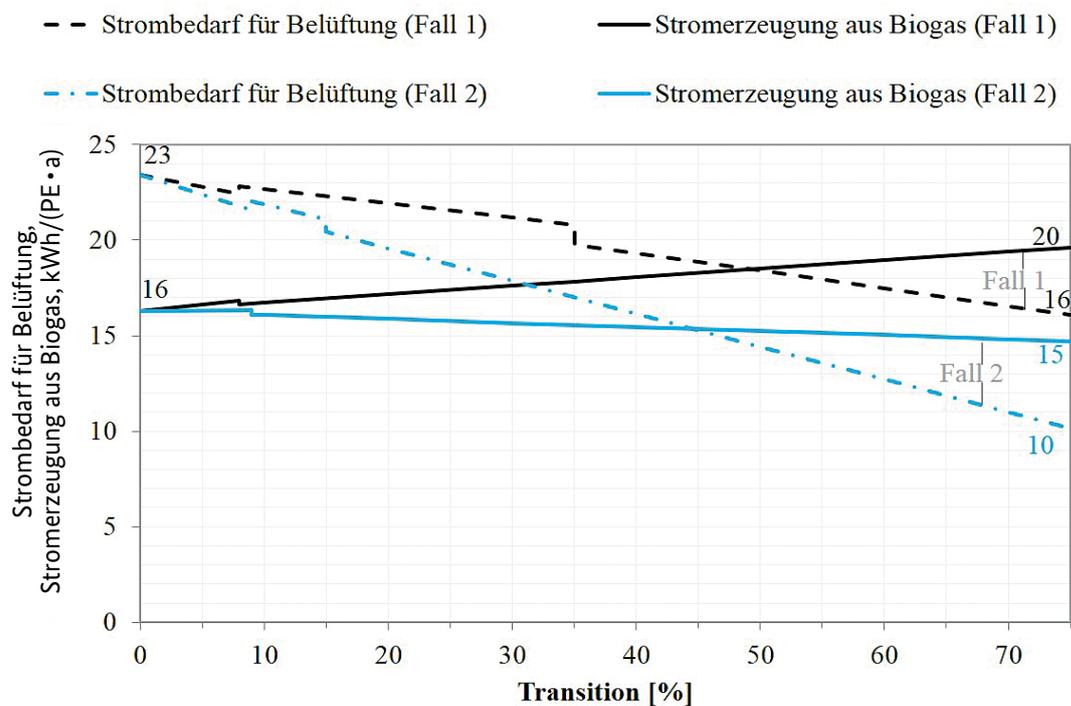


Abb. 3: Entwicklung des Strombedarfes für die Belüftung und der Stromerzeugung aus Biogas einer konventionellen Kläranlage mit anaerober Schlammstabilisierung über die Transition zu NASS für die Fälle 1: Grauwasser fließt weiterhin der konventionellen Kläranlage zu – und 2: Grauwasser wird dezentral behandelt. Quelle: Morandi et al. (2017)

Eine fast vollständige Regeneration des beladenen Zeoliths ist mit Natriumsulfat möglich. Inwiefern das Regenerat, welches Ammonium-, Natrium- und Sulfat-Ionen beinhaltet, in eine pflanzenverfügbare Form überführt werden kann, ist allerdings noch zu klären.

Ebenso kann bei Ansäuerung des Faulschlammes ein bedeutender Anteil des im Faulschlamm enthaltenen Phosphors als Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP) ausgefällt werden. Besonders die durch Neuartige Sanitärsysteme (NASS) ermöglichte separate Erfassung und Sammlung des Stoffstromes Urin bzw. Gelbwasser ermöglicht eine (teilweise) Substitution von Chemikalien bei dem MAP-Fällungsprozess – Hydrolysiertes Urin (pH > 9) substituiert (teilweise) die zur Einleitung des Fällprozesses eingesetzte Natronlauge. Zusätzlich kann der im Urin enthaltene Phosphor zurückgewonnen werden. Das gewonnene MAP zeichnet sich durch einen sehr geringen Schwermetallgehalt und hervorragende Düngemiteleigenschaften aus.

Des Weiteren führt die Verlagerung der im Schwarzwasser enthaltenen Inhaltsstoffe auf die Faulstufe und die anschließende Stickstoffrückgewinnung zu erheblichen Einsparungen beim Energiebedarf für die Belüftung im konventionellen Belebtschlammverfahren. Wie aus Abbildung 3 hervorgeht, steigen mit zunehmender Transition der Biogasanfall und somit auch die mögliche Stromgewinnung an, wohingegen der Strombedarf für die Belüftung absinkt.

## Schlussfolgerungen

Die Kombination aus Energieeinsparung beim konventionellen Belebtschlammverfahren aufgrund (1) des geringeren Sauerstoffverbrauchs durch Verringerung der zu behandelnden C- und N-Frachten und (2) der gesteigerten energetischen Nutzung des Kohlenstoffs (bedingt durch Biogasgewinn bei der anaeroben Schwarzwasservergärung) trägt zur erheblichen Verbesserung der Energiebilanz der Kläranlage bei. Neben dem Energievorteil ergibt sich auch ein deutliches stoffliches Rückgewinnungspotenzial, welches konventionelle Düngemittel ersetzen kann.

Eine stufenweise Erhöhung des Schwarzwasseranteils in bestehenden Faultürmen kann auf Basis der im Projekt erzielten Ergebnisse als einfach durchführbar beurteilt werden und ist bei der Transition zu Neuartigen Sanitärsystemen eine interessante Behandlungsalternative zu konventionellen Verfahren.

**Literatur:**

Dichtl, N., und K.-G. Schmelz (2015): Verfahrenstechniken zur Behandlung von Klärschlamm, in: Rosenwinkel, K.-H., H. Kroiss, N. Dichtl, C.-F. Seyfried und P. Weiland (Hrsg.): Anaerobtechnik. Abwasser-, Schlamm- und Reststoffbehandlung, Biogasgewinnung. 3., neu bearb. Aufl., Berlin, Heidelberg, S. 112 – 274.

DWA 368 (2014): Biologische Stabilisierung von Klärschlamm. Juni 2014, Hennef: DWA (DWA-Regelwerk, M 368).

Minke, R. (2016): Auswirkungen neuartiger Sanitärsysteme auf Betrieb und Verfahrenstechnik kommunaler Kläranlagen. Präsentation und Tagungsband, 91. Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium „Stickstoffelimination auf kommunalen Kläranlagen im Spannungsfeld von Gewässerschutz, Energieeffizienzsteigerung und Industrie-einleitungen“, Stuttgart, 13. Oktober 2016.

Morandi, C. G., S. Wasielewski, R. Minke und H. Steinmetz (2016): Case study: integration of new sanitation technologies into current wastewater infrastructures exemplified by the Treatment Plant for Education and Research at the University of Stuttgart. Präsentation und Tagungsband, 13th IWA Specialized Conference on Small Water and Wastewater Systems (SWWS) and 5th IWA Specialized Conference on Resources-Oriented Sanitation (ROS), Athen, 14.–16. September 2016.

Morandi, C. G., S. Wasielewski, K. Mouarkech, R. Minke und H. Steinmetz (2017): Impact of new sanitation technologies upon conventional wastewater infrastructures, in: *Urban Water Journal* 20 (7), S. 1–8, DOI: 10.1080/1573062X.2017.1301502.

Wasielewski, S., C. G. Morandi, R. Minke und H. Steinmetz (2016): Impacts of blackwater co-digestion upon biogas production in pilot-scale UASB and CSTR reactors. Präsentation und Tagungsband, 13th IWA Specialized Conference on Small Water and Wastewater Systems (SWWS) and 5th IWA Specialized Conference on Resources-Oriented Sanitation (ROS), Athen, 14.–16. September 2016.

Wasielewski, S., C. G. Morandi, R. Minke und H. Steinmetz (2016): Ammonium recovery by ion exchange from effluents of anaerobic blackwater co-digestion and struvite precipitation reactors. Posterpräsentation und Tagungsband, 13th IWA Specialized Conference on Small Water and Wastewater Systems (SWWS) and 5th IWA Specialized Conference on Resources-Oriented Sanitation (ROS), Athen, 14.–16. September 2016.

#### Autoren:

Jörg Londong, Thomas Giese und Martin Oldenburg

#### Projekt: KREIS

#### Literatur:

Giese, T., und J. Londong (2015) (Hrsg.): Kopplung von regenerativer Energiegewinnung mit innovativer Stadtentwässerung – Synthesebericht zum Verbundforschungsvorhaben KREIS, Schriftenreihe des b.is, Band 30, Berlin.

Londong, J., T. Wätzel und T. Giese (2016): Combining the production of renewable energy with innovative urban drainage systems – The KREIS Project. Proceedings of the 3th IWA Specialized Conference on Small Water and Wastewater Systems & 5th IWA Specialized Conference on Resources-Oriented Sanitation, Athens, Greece, 14 – 16 September 2016.

## D<sub>3</sub>

# Stoffliche und energetische Nutzung der Teilströme in KREIS und ihre Umsetzung im Stadtquartier Jenfelder Au

Bei der Umsetzung des HAMBURG WATER Cycle® (HWC) in der Jenfelder Au in Hamburg fallen die Abwasserteilströme Grau- und Schwarzwasser an. Grauwasser wird über ein konventionelles Freispiegelentwässerungssystem abgeleitet, Schwarzwasser über ein Unterdrucksystem. Unterdruckentwässerungssysteme zum Transport des aus den Unterdrucktoiletten anfallenden Schwarzwassers neigen dazu, Inkrustationen zu bilden. Diese Neigung wurde intensiv untersucht, der Bildungsmechanismus wurde identifiziert. So konnten Möglichkeiten zur Verhinderung bzw. Beseitigung abgeleitet werden.

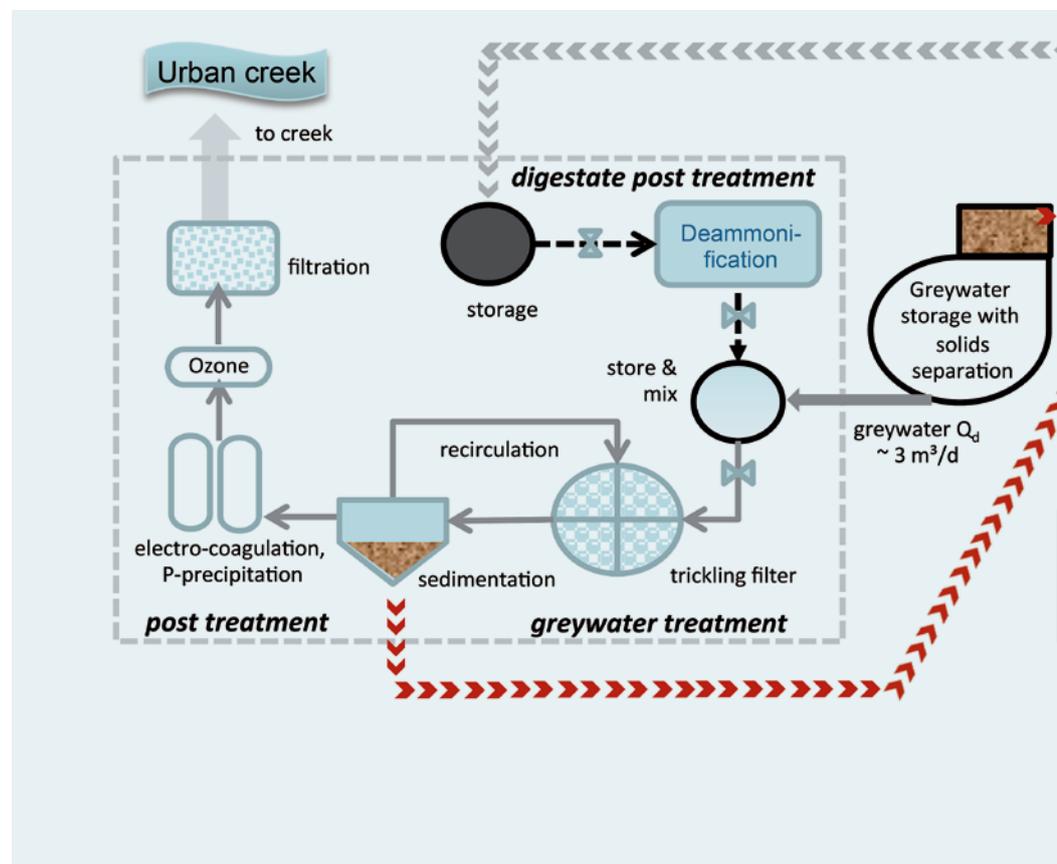
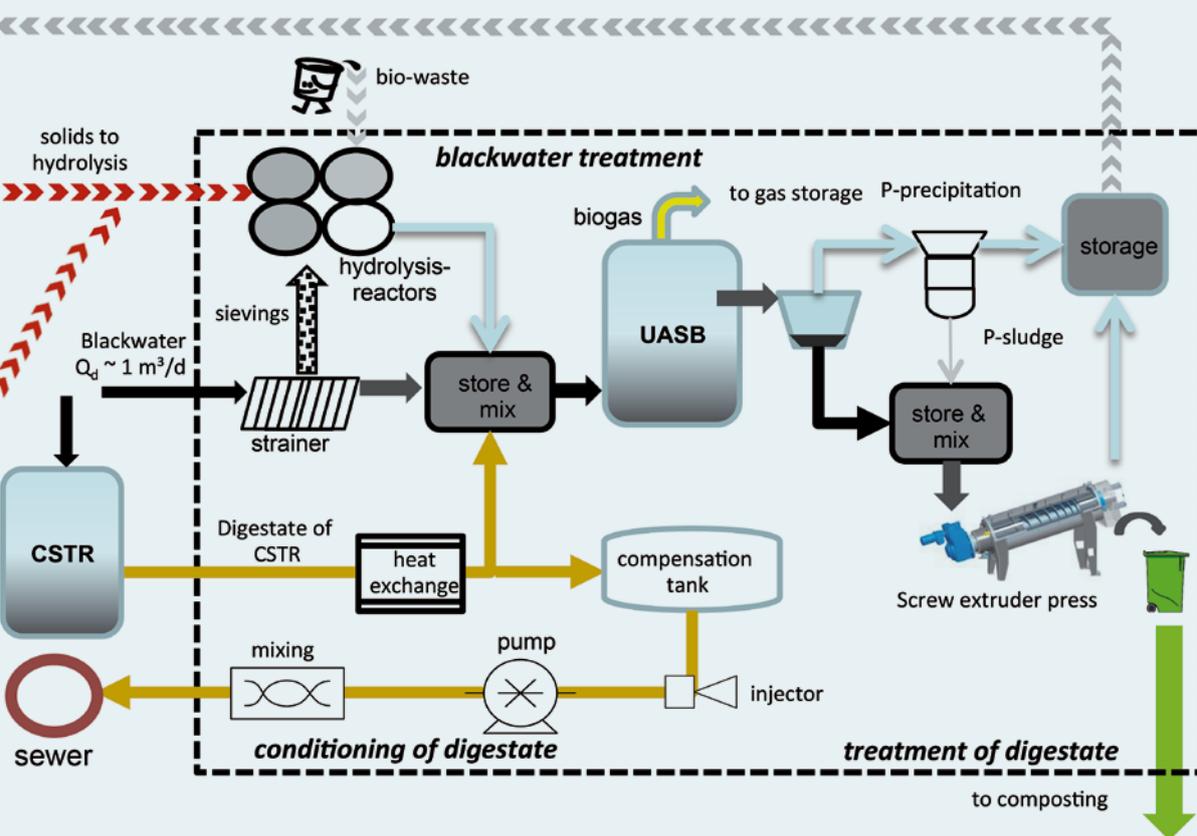


Abb.1: KREIS-Behandlungs- und Verwertungskonzept. Quelle: Londong et al. 2016

Im Verbundforschungsprojekt KREIS wurden Behandlungsverfahren für beide Teilströme halbertechnisch untersucht, mögliche Verfahrenskombinationen identifiziert und Verwertungsoptionen erarbeitet. Zudem wurden Verwertungsoptionen für die bei der Behandlung anfallenden Reststoffe (behandeltes Grauwasser, flüssiger und feststoffreicher Schwarzwassergärrest) und die bei der Vergärung zunächst in Form von Biogas gewonnene Energie dargestellt. KREIS ging im Ansatz über die in der Jenfelder Au verwirklichtbaren Möglichkeiten hinaus, da es Ziel war, verallgemeinerbare Ansätze zu finden (vgl. Giese/Londong 2015).

Ein Ergebnis von KREIS ist das in Abbildung 1 dargestellte Behandlungs- und Verwertungskonzept.

Auch nach Abschluss des Verbundforschungsvorhabens blieben grundlegende technische, aber auch ökonomische Fragen offen. Sie führten bei der Umsetzung in der Jenfelder Au dazu, dass im Rahmen der Risikoabwägung zunächst nur ein Teil des gesamten Behandlungs- und Verwertungssystems umgesetzt wird (vgl. Abbildung 2). Die Behandlungsanlagen für die Abwässer im Stadtquartier werden in einem Betriebshof im angrenzenden Gewerbegebiet zusammengefasst. Hier befindet sich neben der Unterdruckstation für den Schwarzwassertransport im Unterdruckentwässerungsnetz auch der Fermenter zur anaeroben Schwarzwasserbehandlung.



Auf der Basis von Simulationsrechnungen wurden unterschiedliche Energiekonzepte für das Siedlungsgebiet der Jenfelder Au erarbeitet. Dabei wurden verschiedene regenerative Energiequellen mitsamt Speicherung und dem Einsatz von Wärmepumpen betrachtet, etwa Biogas aus der Behandlung diverser Substrate (Schwarzwasser, Fette und Grasschnitt), Grauwasser, Photovoltaik und Solarkollektoren sowie Holzhackschnitzel. Im optimierten System könnte ganzjährig eine annähernd vollständige Deckung des Strombedarfs erreicht werden. Die aus dem Biogas gewonnene Energie (Strom und Wärme) wird im Quartier genutzt. Hierzu wurde ein Verbund mit dem für die zentrale Wärmeversorgung verantwortlichen Versorger geschaffen und die Wärmeabnahme vertraglich geregelt. Bei dem realisierten System werden gegenüber konventionellem Betrieb etwa 22 Prozent der Primärenergie eingespart werden können; für ein optimiertes System könnte diese Einsparung auf über 50 Prozent gesteigert werden.

Die Mitbehandlung von Bioabfall in der Vergärung und die Grauwasserwärmenutzung sind Optionen, die zurzeit vom Betreiber HAMBURG WASSER abgewogen werden.

Wesentliche, in Verhandlungen, aber auch in weiteren Forschungsprojekten zu klärende Fragen betreffen folgende Aspekte:

- Anforderungen an die Qualität von behandeltem Grauwasser beim Einleiten in abflussschwache und trockenfallende urbane Gewässer,
- Einbinden des Grauwassers in das Wärmemanagement auf Siedlungsebene,
- Verwertungskonzepte (insbesondere im ökologischen Landbau) für die feststoffreichen Gärreste,
- praktische Erprobung des Behandlungskonzepts für die flüssigen Gärreste (vor allem Deammonifikation) und Mitbehandlung der nährstoffentfrachteten Fraktion mit dem Grauwasser,
- Nutzerakzeptanz,
- Wirkungen auf das Umfeld des Stadtquartiers.

Im Projekt KREIS wurde deutlich: Es ist überaus wichtig, Projekte zur Transformation von Infrastruktursystemen in ihrer Realisierung wissenschaftlich zu begleiten. Erst die Umsetzung von solchen Vorhaben in die Praxis im großtechnischen Maßstab macht Hemmnisse deutlich. Hierfür sind fachübergreifende Projektteams erforderlich, die Kommunen und Betreiber an die Seite gestellt werden. Daher ist es sinnvoll, auch zukünftig Demonstrationsprojekte über die Errichtungsphase hinaus auch in der Betriebsphase zu begleiten.

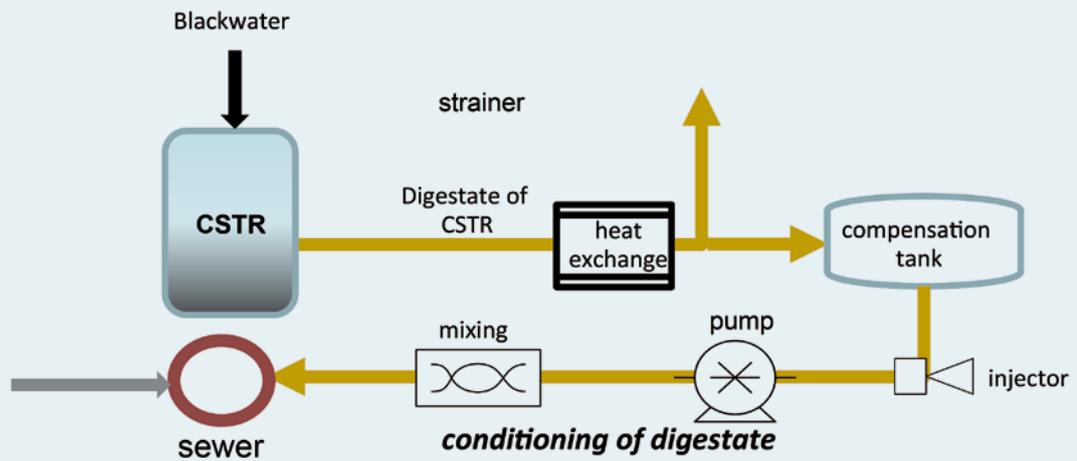


Abb. 2: Schritt 1 der Umsetzung des Behandlungs- und Verwertungskonzepts in der Jenfelder Au. Quelle: Londong et al. 2016



Abb. 3: Baustelle Jenfelder Au. Quelle: HAMBURG WASSER

#### Autoren:

Ralf Bertling und Erwin Nolde

**Projekt:** ROOF WATER-FARM

#### Literatur:

AEE – Institut für Nachhaltige Technologien: Stoffströme im häuslichen Abwasser, <http://aee-intec.at/index.php?seitenId=21&seitenAnsicht=bild&bilderId=116&sitestyle=fontmedium> (abgerufen am 06.04.2016).

Beneker, C. (2016): Start-up and optimization of a pilot MBR-system for blackwater treatment and nutrient recovery, Fachgebiet Technischer Umweltschutz, Technische Universität Berlin, Fakultät III, Umweltverfahrenstechnik.

UBA – Umweltbundesamt (2013): Klärschlamm Entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland.

## D4

# Entwicklung, Aufbau und Betrieb einer Pilotanlage zur Herstellung von Flüssigdünger aus Schwarzwasser

Im Rahmen des Projekts ROOF WATER-FARM (BMBF-Fördermaßnahme INIS) entwickelten die beiden Berliner Firmen Nolde & Partner und Lokus Wasserrecycling GmbH gemeinschaftlich mit dem nordrhein-westfälischen Fraunhofer-Institut UMSICHT aus Oberhausen eine Anlage zur Aufbereitung von Schwarzwasser (siehe Abbildung 1). Diese ist seit Sommer 2015 in Betrieb.

## Hintergrund

Häusliches Abwasser setzt sich im Alltag aus verschiedenen Wasserströmen zusammen. Hierzu zählen Toiletten-, Dusch-, Bade-, Küchen-, Wasch- und Waschmaschinenwasser. Die einzelnen Wasserströme sind unterschiedlich stark verschmutzt und enthalten verschiedene Inhaltsstoffe wie Fäkalien, Speisereste oder Waschmittel. Das Toilettenabwasser, bestehend aus Fäkalien und Spülwasser, nennt man Schwarzwasser. Das gering verschmutzte, fäkalienfreie Abwasser wird als Grauwasser bezeichnet. Grauwasser und Schwarzwasser summieren sich zum Abwasser, welches in der Regel über eine gemeinsame Abwasserleitung in die Kanalisation eingeleitet wird. Zur jeweiligen Nutzung von Grau- und Schwarzwasser jedoch muss eine Strangtrennung in zwei separate Abwasserleitungen erfolgen. In innovativen Abwasserkonzepten belässt man es heute in der Regel bei der Aufbereitung von Grauwasser aus Handwasch-, Dusch- und Badeabwässern, während Küchen- und Waschmaschinenabwasser mit dem Schwarzwasser ungenutzt in den Kanal geleitet werden. Die Aufbereitung von Schwarzwasser gestaltet sich aufgrund des höheren Verschmutzungsgrads aufwendiger als die des Grauwassers.



Abb. 1: Schwarzwasseraufbereitungsanlage

Vorfiltration (1), Steuerung (2), zweistufige aerobe Vorreinigung (3a, 3b), Membranbioreaktor (4), Messtechnik (5), Flüssigdünger-Speicher (6)

Quelle: Nolde & Partner

## Schwarzwasser als Flüssigdünger

Aus dem Schwarzwasser sollte im Projekt ROOF WATER-FARM mit Hilfe einer geeigneten Technologie ein Flüssigdünger zur hydroponischen Pflanzenkultivierung erzeugt werden. In der heutigen Abwasserbehandlung konzentrieren sich die im Abwasser enthaltenen Nährstoffe Stickstoff, Phosphor und Kalium größtenteils im Klärschlamm. Dieser wird heute jedoch wegen enthaltener Schadstoffe nur noch zu einem geringen Teil (rund 29 Prozent) landwirtschaftlich genutzt (vgl. UBA 2013) und stattdessen überwiegend verbrannt. Somit geht ein Großteil des Nährstoffpotenzials aus dem Abwasser verloren. Die begrenzten Ressourcen von Phosphor sowie die energieaufwendige Herstellung von mineralischem Stickstoffdünger lassen es sinnvoll erscheinen, das Düngemittelpotenzial des Abwassers besser als bisher zu nutzen.

Während Grauwasser wenige Nährstoffe enthält (vgl. AEE o.J.), ist Toilettenabwasser (Schwarzwasser) eine Ressource, die beachtliche Mengen an Phosphor, Stickstoff und Kalium enthält und sich somit potenziell als Dünger eignet. Jedoch ist vor allem Toilettenabwasser mit Keimen und Mikroschadstoffen, z. B. Arzneimittelrückständen, belastet. Zudem enthält Schwarzwasser

Inhaltsstoffe, die zwar biologisch abgebaut werden können, aber die eingesetzten Bakterien benötigen hierfür erhebliche Mengen an Sauerstoff. Ein Verfahren der Aufbereitung von Schwarzwasser zu hygienisch unbedenklichem Flüssigdünger muss deshalb Keime und Schadstoffe entfernen, die Sauerstoff zehrenden organischen Komponenten reduzieren und zugleich Stickstoff, Phosphor und Kalium erhalten.

Ziel von ROOF WATER-FARM ist es, im Schwarzwasser möglichst viele Nährstoffe in pflanzenverfügbarer Form zu konservieren und zugleich die Schadstofffracht zu reduzieren. Wissenschaftliche und technische Herausforderung im Projekt war somit das Erreichen einer Balance zwischen Wasserqualität und Düngewert. Abbildung 2 zeigt die zwei unterschiedlichen Abwasserströme Grauwasser und Schwarzwasser in unbehandelter und behandelter Form. Das zuvor trübe Grauwasser wird durch die Aufbereitung zu klarem Betriebswasser. Das trübe, bräunliche und geruchsintensive Schwarzwasser wird zum geruchsfreien, klaren Flüssigdünger. Der Flüssigdünger wird im Projektkontext wegen seiner leicht gelbgoldenen Färbung als „Goldwasser“ bezeichnet.

## Schwarzwasseraufbereitungsanlage

ROOF WATER-FARM erforscht Technologie in einer Demonstrationsanlage und Teststrecke im Block 6, einem IBA-Wohnbau-Projekt von 1987 mit innovativem Wasserkonzept in Berlin-Kreuzberg (vgl. <http://www.roofwaterfarm.com/>). Zur Aufbereitung des Schwarzwassers wurde dort eine mehrstufige Anlage (siehe Abbildung 3), ähnlich einer miniaturisierten Kläranlage, konzipiert. Im Unterschied zur Kläranlage steht der Erhalt der Nährstoffkonzentration neben der Reduzierung bzw. Elimination von Chemischem Sauerstoffbedarf (CSB), Bakterien, Viren, Schwermetallen und Spurenstoffen im Fokus. Die Schwarzwasseraufbereitungsanlage (SWAA) wurde als Pilotanlage modular entwickelt und setzt sich aus einer mechanischen Vorbehandlung, einer aeroben Behandlungsstufe und einem Membranbioreaktor zusammen (siehe Abbildungen 1 und 3). Erfasst und aufbereitet wird mit der SWAA das gesamte Toilettenabwasser von 50 Personen, deren Sechs-Liter-Spül-Stopp-WCs mit Betriebswasser aus der Grauwasseranlage betrieben werden, was 20 Prozent der gesamten in Block 6 anfallenden Schwarzwassermenge entspricht.

Hieraus entstehen täglich bis zu 1.500 Liter Flüssigdünger. Der produzierte Flüssigdünger wird in einem Tank gespeichert und für eine Hydroponik zur Produktion von Nahrungsmitteln in einem benachbarten, vom brandenburgischen Unternehmen und Projektpartner Terra Urbana betriebenen Gewächshaus verwendet.

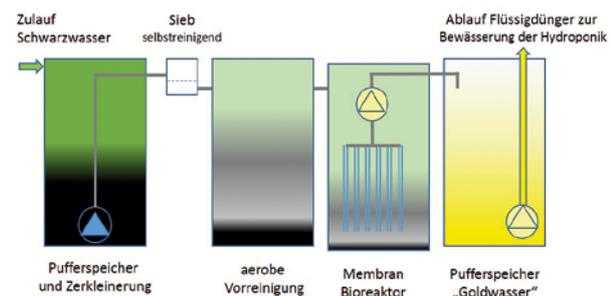
Das Schwarzwasser gelangt über die Hausinstallation und einen Bypass zur Abwasserleitung zunächst in einen Pufferbehälter. Der Pufferbehälter findet sich



Abb. 2: Grauwasser, Betriebswasser, Schwarzwasser, Flüssigdünger (v. l. n. r.). Quelle: Nolde & Partner

in einem Kellerraum von Block 6. Die Aufbereitung erfolgt in einem separaten Anlagengebäude. Aus dem Pufferbehälter wird das Schwarzwasser deshalb über eine rund 80 Meter lange Druckleitung zur Aufbereitung gepumpt. Förderaggregat ist eine Schneidradpumpe, die beim Pumpen grobe Bestandteile im Schwarzwasser zerkleinert. Im nachfolgenden Filtrationsbehälter, der ersten Behandlungsstufe der Aufbereitung, werden Feststoffe > 1 mm aus dem Schwarzwasser abgetrennt. Der flüssige Filterüberstand gelangt weiter in die zweite Stufe, zwei parallel betriebene, belüftete Reaktoren. In den Reaktoren wird, ähnlich dem Belebungsbecken einer Kläranlage, durch Sauerstoffeintrag organische Fracht abgebaut.

Das so vorbehandelte Schwarzwasser wird anschließend weiter in den Membranbioreaktor gepumpt. Hier werden mit Hilfe einer 35 nm-Membran (Modell siClaro® FM 611, Martin Membrane Systems) durch Ultrafiltration Keime und Schadstoffe aus dem Schwarzwasser entfernt. Das Permeat aus der Membran ist identisch mit dem Zielprodukt: Flüssigdünger. Der Flüssigdünger wird in einem Vorratstank gespeichert und bei Nährstoffbedarf der Hydroponik zugeführt. Die im Prozess entstehenden Schlämme werden als Prozessrückstände in die Kanalisation geleitet. Die gesamte Anlage ist mit Messtechnik ausgestattet, so dass Durchflüsse, Temperaturen, pH-Wert, O<sub>2</sub>-Konzentrationen und Füllstände überwacht werden können. Die gesamte Aufbereitungsanlage kann kontinuierlich und vollautomatisch 24 Stunden am Tag betrieben werden. Mittels Datenfernübertragung lässt sich die Anlage über das Internet überwachen und steuern.



Ab. 3: Schwarzwasseraufbereitungsanlage. Quelle: Nolde & Partner

## Ergebnisse

Die zwei nachfolgenden Tabellen 1 und 2 zeigen ermittelte Werte von unbehandeltem sowie von behandeltem Schwarzwasser. Die in den Tabellen dargestellten Werte stammen aus Versuchsreihen, die von April bis Mai 2016 im Rahmen einer von Fraunhofer UMSICHT und der TU Berlin gemeinsam betreuten Abschlussarbeit durchgeführt wurden (vgl. Beneker 2016).

Vergleicht man die Werte der Nährstoffe von unbehandeltem und behandeltem Schwarzwasser, so wird deutlich, dass 72 Prozent des Phosphors (24 mg/l zu 34 mg/l) und sogar 77 Prozent des Stickstoffs (179 mg/l zu 231 mg/l) im Flüssigdünger verbleiben. Parallel wurde der CSB um mehr als 90 Prozent reduziert.

Die Konservierung der Nährstoffe bei gleichzeitiger Reduktion der organischen Fracht charakterisiert einen nährstoffreichen Flüssigdünger. Der aus dem Schwarzwasser produzierte Flüssigdünger ist überdies geruchsfrei, hat eine bernstein-goldene Farbe und ist lagerstabil.

Zur Schadstoffanalyse und gleichzeitig als Qualitätskontrolle werden regelmäßig Flüssigdünger-Proben entnommen. Tabelle 3 zeigt die Ergebnisse verschiedener Flüssigdünger-Untersuchungen. Dargestellt sind Minimal- und Maximalwerte an Schwermetallen, Hygieneparametern und Spurenstoffen.

## Probleme mit Störstoffen in der Schwarzwasseraufbereitungsanlage

Im Laufe des Anlagenbetriebs ergaben sich häufiger Probleme mit Verstopfungen durch Feuchttücher und durch andere im Schwarzwasser mitgeführte Störstoffe (siehe Abbildung 4). Dies führte phasenweise zum Stillstand des Versuchsbetriebs und erforderte deshalb bauliche Veränderungen im mechanisch-physikalischen Teil der Aufbereitungsanlage.

Die Schneiradpumpe der SWAA hatte Schwierigkeiten, grobe Störstoffe soweit zu zerkleinern, dass sie in den nachgelagerten Leitungs- und Bauteilen keine Verstopfungen verursachen. Vor allem feuchte Reinigungstücher wurden aufgrund ihrer Zähigkeit schlecht durch die Schneiradpumpe zerkleinert, neigten außerdem zu „Verzopfungen“ und verstopften die Leitung bis hin zum Siebfilter. Dadurch musste die SWAA einige Male außer Betrieb genommen werden. Zur Lösung des Problems war eine aufwendigere Art der Vorzerkleinerung der Störstoffe im Schwarzwasser erforderlich, da sich in diesem neben unproblematischen, leicht zu zerkleinernden Inhaltsstoffen wie Fäkalien, Toilettenpapier und Essensresten ebenso feste Kunststoffabfälle, Knochen, Olivenkerne und sogar Textilien befanden.

Am Zulaufstrang mit Pufferspeicher und Zerkleinerung (siehe Abbildung 3) wurde durch die Firma Lokus GmbH eine Umbaumaßnahme durchgeführt. Zunächst wurde eine veränderte Rohrleitung mit neuem Membranventil installiert. Das Membranventil ist robuster gegen Verstopfungen durch kleine, feste Teile. Durch die neue Leitungsführung wird das Schwarzwasser im Kreis gefahren. Enthaltene Störstoffe werden so kontinuierlich durch die Schneiradpumpe zerkleinert, wodurch ein flüssiger Brei erzeugt wird, der sich besser fördern lässt und in den Leitungen weniger zur Verstopfung neigt. In der anschließenden Vorfiltration mit 2 mm-Sieb ließen sich wässrige und feste Phase gut voneinander trennen, so dass die Flüssigphase zur Weiterbehandlung in die Reaktoren B2/3 strömen kann und die Feststoffe als Siebrückstand aus dem Prozess entfernt werden können.

Letztlich wurde dem Forschungsteam während der Projektbearbeitung bewusst, dass ein reibungsloser Betrieb der SWAA entweder ein hohes Maß an Disziplin bei der Bewohnerschaft erfordert, z. B. die Toilette nicht als Abfalleimer zu benutzen, oder alternativ eine aufwendigere mechanische Vorbehandlung des Schwarzwassers nötig macht.

Datum Analyse	pH [-]	CSB <sub>ges</sub> [mg/L]	CSB <sub>gel</sub> [mg/L]	N <sub>ges</sub> [mg/L]	NH <sub>4</sub> -N [mg/L]	NO <sub>2</sub> -N [mg/L]	NO <sub>3</sub> -N [mg/L]	P <sub>ges</sub> [mg/L]
21.04.16		1194	516	310	230			17
27.04.16								
28.04.16		2080	434	236	240	0	0	32
03.05.16	8,6	1912	299	222	144	0	0	34
04.05.16	8,4	2202	432	224	208	0	0	35
10.05.16	8,7	1576	300	178	162	0	0	38
12.05.16	8,5	1508	198	266	171			35
19.05.16	8,5	1460	257	263	170			28
<b>MITTEL</b>	<b>8,5</b>	<b>1790</b>	<b>320</b>	<b>231</b>	<b>183</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>34</b>

Tabelle 1: Analysewerte von unbehandeltem Schwarzwasser. Quelle: Beneker 2016

Datum Analyse	pH [-]	CSB <sub>ges</sub> [mg/L]	CSB <sub>gel</sub> [mg/L]	N <sub>ges</sub> [mg/L]	NH <sub>4</sub> -N [mg/L]	NO <sub>2</sub> -N [mg/L]	NO <sub>3</sub> -N [mg/L]	P <sub>ges</sub> [mg/L]
21.04.16		69		208	46		132	20
27.04.16	7,9	172		132	78		29	18
28.04.16	8,1	134		164	78		31	22
03.05.16	7,5	174		198	58	64	53	29
04.05.16	7,2	176	170	176	60	75	61	22
10.05.16	7,3	160	151	262	26	92	66	26
12.05.16	7,3	155	163	139	52	56	70	23
19.05.16	7,5	137	152	180	48	31	64	29
<b>MITTEL</b>	<b>7,5</b>	<b>158</b>	<b>159</b>	<b>179</b>	<b>57</b>	<b>64</b>	<b>53</b>	<b>24</b>

Tabelle 2: Analysewerte von behandeltem Schwarzwasser (Flüssigdünger). Quelle: Beneker 2016

Parameter	Einheit	Min.-Wert	Max.-Wert
Blei	mg/l	<0,02	0,03
Cadmium	mg/l	<0,02	<0,02
Kupfer	mg/l	0,07	0,08
Zink	mg/l	0,06	0,48
E. Coli	MPN*/100 ml	1	4
Enterokokken	MPN/100 ml	<10	<15
Clostridium P.	KBE**/100 ml	0	1
Legionellen	KBE/100 ml	<100	<500
Benzotriazol	µg/l	2,9	3,8
Carbamazepin	µg/l	3,9	4,2
Diclofenac	µg/l	0,18	0,22
Metoprolol	µg/l	5,6	6,2
Iopamidol	µg/l	<0,1	<0,1
Acesulfam	µg/l	33	36

Tabelle 3: Ergebnisse der Flüssigdünger-Analytik.  
Quelle: Laboruntersuchungen im Auftrag von Fraunhofer UMSICHT 2015



Abb. 4: Pfropfen aus Reinigungstüchern (l.), Verstopfungen im Anlagenzulauf (r.), Quelle: Fraunhofer UMSICHT

## Fazit

Mit der Schwarzwasseraufbereitungsanlage ist es gelungen, aus Schwarzwasser einen Flüssigdünger herzustellen, der hinsichtlich des Nährstoffgehalts mit konventionellen Düngemitteln vergleichbar ist. Die Gehalte an Spurenstoffen und Schwermetallen unterliegen geringen Schwankungen und bewegen sich auf einem unkritischen Niveau. Besonderes Augenmerk galt den mikrobiologischen Parametern, da die Anwendung des Flüssigdüngers unmittelbar mit der Produktion von Lebensmitteln verknüpft ist. Die im Flüssigdünger ermittelten Konzentrationen für die Hygieneparameter überschreiten zwar die Werte der Trinkwasserverordnung, entsprechen aber denen herkömmlicher Flüssigdünger und sind definitiv nicht gesundheitsschädlich. Mittelfristiges Ziel ist es, den gesamten Schwarzwasserstrom aus Block 6 zu behandeln und so von der Pilotphase in die Praxisphase zu gelangen. Zudem soll der als Rest verbleibende Prozessschlamm energetisch genutzt werden. Zusammen mit der Grauwassernutzung offeriert eine Schwarzwasseraufbereitung einen nahezu vollständigen Wasserkreislaufschluss mit einem Mehrwert durch den Gewinn von Lebensmitteln aus dem hydroponischen Anbau. Die Vision wäre eine flächendeckende Umsetzung des ROOF WATER-FARM-Konzepts in kommunaler Umgebung.

Autor:

Erwin Nolde

Projekt: ROOF WATER-FARM

## D5

# Die getrennte Erfassung von Grauwasser – ein Weg zu mehr Ressourceneffizienz in der Siedlungswasserwirtschaft

Im Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) ist eine klare Hierarchie festgelegt. Demnach genießt die Abfallvermeidung die höchste Priorität, sie steht vor der Vorbereitung zur Wiederverwendung, dem Recycling und der sonstigen Verwertung von Siedlungsabfällen. Die niedrigste Priorität fällt der Abfallbeseitigung zu. Der Erfolg oder Misserfolg dieses Gesetzes hängt ganz wesentlich davon ab, ob und wie gut die getrennte Erfassung der Wertstoffe gelingt, die bereits im Haushalt beginnen muss.

Im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft wird der „Wertstoff“ häusliches Abwasser vielfach sogar noch mit dem Niederschlagswasser vermischt in einer einzigen Abwasserleitung abtransportiert, um anschließend zentral behandelt und beseitigt zu werden. Ein ökologisch sinnvolles Recycling ist unter diesen Umständen nicht mehr möglich. Dieses Vorgehen ist zudem noch energieintensiv. Die heutige Siedlungswasserwirtschaft ist der größte kommunale Stromverbraucher. Die Stadt Berlin (rund 3,5 Mio. Einwohner) benötigt für die Trinkwasserver- und Abwasserentsorgung so viel Elektroenergie wie eine Stadt mit 280.000 Einwohnern an Haushaltsstrom (vgl. BWB 2012).

Häusliches Abwasser ist eine Ressource für Wasser, Energie und Nährstoffe. Die Stofftrennung im Gebäude kann zu deutlich mehr Umweltschutz und gleichzeitig niedrigeren Betriebskosten beitragen. Als Beispiel hierfür sei das Grauwasserrecycling im mehrgeschossigen Wohnungsbau genannt.

Sofern das – im Jahresmittel bis zu 31°C warme – Grauwasser (vgl. Nolde 2013) nicht mit dem Schwarzwasser (etwa 20 bis 30 Volumenprozent) gemeinsam erfasst und stattdessen bereits im Gebäude einer Wärmerückgewinnung (Abkühlung um 14 K auf 17°C) unterzogen wird, kann ihm mit 1.754 Wh pro Person und Tag viel Energie entzogen werden. Dies ist deutlich mehr, als wenn das Gesamtabwasser erst weit entfernt und nach Abkühlung im Erdreich zentral nur noch um 1,5 K abgekühlt werden kann. Nochmals deutlich niedriger als die zentrale Wärmerückgewinnung ist das Energiepotenzial (118 Wh/P/d), welches sich als Biogas aus dem häuslichen Abwasser gewinnen lässt.

		Urin		Faeces		Schwarzwasser		Grauwasser		Gesamtabwasser		
						Faeces + Urin + 30 Liter						
		%		%		%		%		Summe	mg/l	Liter
Menge	L/E/d	1,37	1,0	0,14	0,1	31,5	22,6	108	77	139,5		
CSB	g/E/d	10	8,5	60	51,3	70,0	59,8	47,0	40	117	839	
N	g/E/d	10,4	80,6	1,5	11,6	11,9	92,2	1,0	8	12,9	92,5	
P	L/E/d	1	50,0	0,5	25,0	1,5	75,0	0,5	25	2,0	14,3	g/E/d
K	g/E/d	2,5	59,5	0,7	16,7	3,2	76,2	1,0	24	4,2	30,1	
S	g/E/d	0,7	19,4	0,2	5,6	0,9	25,0	2,9	81	3,8	27,2	
Energiebetrachtung												
Wärme- potenzial	K							14		1,5		
	Wh/E/d							1754		243		
Biogas	Wh/E/d									118		

Tabelle 1: Häusliches Abwasser als eine Ressource für Wasser, Energie und Nährstoffe (grün markiert sind die höchsten Recyclingpotenziale).

Quelle: Untersuchungen von Nolde &amp; Partner sowie Berechnungen, basierend auf Bauhaus-Universität Weimar (2009) S. 13–14

Im Vergleich zum kommunalen Abwasser, bei dem Grau-, Schwarz- und oftmals leider auch noch Regenwasser vermischt werden, zeichnet sich Grauwasser ferner dadurch aus, dass es vergleichsweise wenig Nährstoffe (Stickstoff und Phosphor), Spurenstoffe (Medikamente), Schwermetalle und sonstige Problemstoffe (Textilien usw.) enthält und dadurch gut recycelbar ist. Sofern das Grauwasser neben Dusch- und Badewasser – wie im ROOF WATER-FARM-Projekt – auch die höher belasteten Abwässer aus Waschmaschinen und Küchen enthält, ist die organische Belastung vergleichsweise hoch (rund 850 mg/l Chemischer Sauerstoffbedarf [CSB]) (vgl. Sievers et al. 2014), was bei der Anlagendimensionierung zu beachten ist.

Ziel der Grauwasseraufbereitung ist es, entsprechend der angestrebten Verwendungen (Toiletten spülen, Wäsche waschen, Bewässerung, Raumreinigung usw.) ein Betriebswasser zu erzeugen, welches

- hygienisch einwandfrei ist,
- den Nutzenden weder einen Komfortverlust noch Nutzungsaufgaben abverlangt,
- unter Umweltsichtspunkten den konventionellen Systemen überlegen ist und
- Kostenvorteile für Endnutzer erzeugt.

Alle vier Anforderungen werden seit nunmehr zehn Jahren im Praxisbetrieb mit einem mehrstufigen Wirbelbett-System ohne Zusatz von Chemikalien sicher und vollständig erfüllt.

Im ROOF WATER-FARM-Projekt werden täglich rund 10 m<sup>3</sup> Trinkwasser eingespart, weil von 250 Personen stattdessen hochwertiges Betriebswasser zur Toiletten-spülung und neuerdings auch zur Lebensmittelproduktion verwendet wird. Wichtig ist, dass die Grauwasseraufbereitung so dimensioniert ist, dass auch außergewöhnliche Belastungsstöße (z. B. Einträge durch Wandfarbe, Fette, Öle, Desinfektionsmittel usw.) die Anlagenfunktion nicht beeinträchtigen und der Wartungsaufwand gering ist. Automatisch rückspülende Siebe, Sandfilter und eine internetfähige Steuerung tragen maßgeblich zum Gesamterfolg bei.

Ziel des Anlagenbetreibers ist es, die bereits relativ ehrgeizigen Qualitätsanforderungen an Betriebswasser (vgl. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2007, S. 23) – z. B. den Biochemischen Sauerstoffbedarf in 7 Tagen (BSB<sub>7</sub>) < 5 mg/l, > 50 Prozent Sauerstoffsättigung, E. coli < 1.000/100 ml – sicher zu unterschreiten. Die Trübung unter 1 NTU zu halten (das ist der Grenzwert für Trinkwasser) hat sich aus Sicht des Betreibers in mehrfacher Hinsicht bewährt.

Parameter	Unit	Grauwasser		Kommunale KA	
		Zulauf	Ablauf	Zulauf	Ablauf
TSS	mg L <sup>-1</sup>	110	<0.1	387	5.6
Trübung	NTU	100	<1		
CSB	mg L <sup>-1</sup>	850	25	780	44
DOC	mg L <sup>-1</sup>	100	7–10	54	10
TN	mg L <sup>-1</sup>	10	5	72	11
NH4-N	mg L <sup>-1</sup>	2.7	<0.03	45	0,7
NO3-N	mg L <sup>-1</sup>	0,3	3,5		
TP	mg L <sup>-1</sup>	4.7	2,1	16	0,36
E. coli	1/100 ml	10 <sup>5</sup> –10 <sup>6</sup>	<10 <sup>1</sup>		10 <sup>4</sup> –10 <sup>5</sup>
Acesulfam	µg/l	14	1,29		10–35
Diclofenac	µg/l	3,1	0,67		4,18
Gabapentin	µg/l	0,59	0,28		10–20
Valsartan	µg/l	<0,1	<0,1		4

Tabelle 2: Typische Zulauf- und Ablaufkonzentrationen der Grauwasserrecyclinganlage im Block 6 von ROOF WATER-FARM im Vergleich zu üblichen Konzentrationen von Berliner Großkläranlagen. Quelle: Nolde & Partner

Zum einen gab es in den zehn Jahren keine einzige Beschwerde seitens der Mieterinnen und Mieter, die das hochwertige Betriebswasser kaum vom Trinkwasser unterscheiden können. Zum anderen waren keine Rohrspülungen erforderlich – und der Betriebswasserspeicher musste nur selten ausgespritzt werden, was niedrige Betriebskosten zur Folge hat.

Die Untersuchungsergebnisse zeigten: Diverse Medikamente (Röntgenkontrastmittel, Blutdrucksenker usw.), die im Zu- und Ablauf von kommunalen Kläranlagen in durchaus nennenswerten Konzentrationen auftreten, lagen bereits im Grauwasserzulauf unterhalb der Nachweisgrenze. Bemerkenswert ist auch, dass diverse andere Spurenstoffe im klaren, nahezu partikel- und geruchsfreien sowie hygienisch einwandfreien Betriebswasser in deutlich geringerer Konzentration nachgewiesen wurden als in Berliner Oberflächengewässern. Dies kommt der Lebensmittelqualität der ROOF WATER-FARM-Produkte zugute.

Die Mehrstufigkeit der biologischen Reinigung ist vermutlich die entscheidende Ursache dafür, dass einzelne Spurenstoffe, die sich in Großkläranlagen nicht oder nur in sehr geringem Maße reduzieren lassen, hier so deutlich vermindert werden. Dass beispielsweise der Süßstoff Acesulfam in einer Kläranlage um mehr als 90 Prozent reduziert wird, galt zuvor als äußerst unwahrscheinlich (vgl. Jekel/Dott 2013).

Online-Überwachungen der Betriebswasserqualität (O<sub>2</sub>, Temperatur, SAK und Trübung), die im Rahmen des F&E-Projekts durchgeführt wurden, zeigten: Über mehrere Monate hinweg wurden dauerhaft niedrige Trübungen – in der Regel deutlich unter 1 NTU –, konstant niedrige SAK-Werte und hohe Sauerstoffkonzentrationen gemessen, was die Prozessstabilität der Anlage dokumentiert.

Allerdings ist der Wartungs- und Betriebsaufwand für das Online-Monitoring im Normalbetrieb sehr aufwändig.

Die für den Anlagenbetrieb erforderliche Stellfläche beträgt rund 0,1 m<sup>2</sup> pro Person, was etwa der Größe eines DIN A4-Blatts entspricht.

Für ein zweites Leitungsnetz einschließlich einer hochwertigen Grauwasseraufbereitung wurden für den mehrgeschossigen Wohnungsneubau Mehrkosten in Höhe von etwa 20 Euro pro Quadratmeter Wohnfläche bzw. Betriebswasserkosten in Höhe von rund 3 Euro pro Kubikmeter ermittelt. Neben den niedrigen Trink- und Abwasserkosten werden durch das Grauwasserrecycling gegebenenfalls auch niedrigere Grundgebühren fällig, die sich in der Regel nach dem Nenndurchfluss des Trinkwasserzählers richten.



Abb. 1: Blick auf das „Besucherhaus“ im Block 6 von ROOF WATER-FARM. Es beheimatet die Grauwasserrecyclinganlage und eine Schwarzwasseranlage. Die Produkte Betriebs- und „Goldwasser“ werden im angrenzenden Gewächshaus getestet.  
Quelle: Nolde & Partner

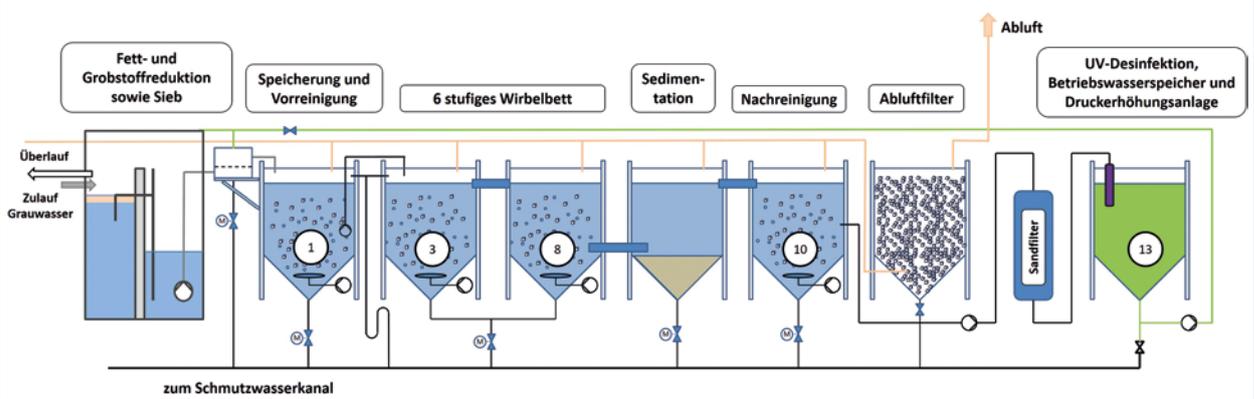


Abb. 2: Mehrstufige Grauwasseranlage im Besucherhaus des Block 6 von ROOF WATER-FARM in Berlin. Quelle: Nolde & Partner



Abb. 3: Blick auf die mehrstufige Grauwasserrecyclinganlage im Block 6. Quelle: Nolde & Partner

## Ausblick

Wasser ist ein regionales Produkt, welches den Kundinnen und Kunden in ausreichender Menge und guter Qualität 24 Stunden am Tag und 365 Tage im Jahr zur Verfügung stehen sollte. Dies gilt natürlich auch für die Betriebswasserversorgung. Neben hochwertiger Technik ist für den zuverlässigen Anlagenbetrieb auch gut ausgebildetes Personal zwingend erforderlich. Ein zentraler Betrieb diverser dezentraler Grauwasserrecyclinganlagen könnte zu einem weiteren Betätigungsfeld fortschrittlicher Wasserver- und Abwasserentsorgungsunternehmen werden.

Energiepositive Grauwasserrecyclinganlagen und solche, die auch die hoch belasteten Grauwasseranteile aufbereiten, werden seit mehreren Jahren erfolgreich und sicher betrieben. Bei Neubauten und Sanierungen sollte deshalb stets geprüft werden, wie sich Grauwasserrecycling und Wärmerückgewinnung am besten integrieren lassen. Durch Wärmerückgewinnung wird etwa zehnmal so viel Wärme gewonnen, als zum Anlagenbetrieb für Grauwasserrecycling und Wärmerückgewinnung an elektrischer Energie benötigt wird.

Insbesondere in Zeiten, in denen die Zinsen extrem niedrig sind, sollte die Ressource Grauwasser als ein Baustein gegen den Klimawandel und gegen hohe Betriebskosten konsequent zur Anwendung kommen.

Dass dem bisher eher nicht so ist, liegt vor allem daran, dass Energie- und Wasserkosten für Vermieter „durchlaufende“ Kosten darstellen, die zu 100 Prozent auf die Mieterschaft umgelegt werden.

Solange die Kosten für Grauwasserrecycling und Wärmerückgewinnung aus Abwasser einseitig vom Immobilieneigentümer zu verbuchen sind, während die Betriebskosteneinsparungen einseitig dem Immobiliennutzer zugutekommen, bleibt der Umweltschutz meist auf der Strecke.

„Das ist die Zukunft der Stadt! (Es wissen nur noch nicht alle!)“ – so lautet der Eintrag der Politikerin Renate Künast am 17.11.2015 in das Gästebuch der ROOF WATER-FARM.

Nun ist der Gesetzgeber gefragt, über finanzielle Anreize oder Verordnungen in geeigneter Weise dafür zu sorgen, dass zukünftig messbare Fortschritte in den Bereichen Ressourceneffizienz und Klimaschutz erzielt werden.

**Literatur:**

Bauhaus-Universität Weimar (2009): Neuartige Sanitärsysteme – Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung – Weiterbildendes Studium „Wasser und Umwelt“, Bauhaus-Universität Weimar.

BWB – Berliner Wasserbetriebe (2012): Nachhaltigkeitsbericht 2012 der Berliner Wasserbetriebe, Berlin, [http://www.bwb.de/content/language1/downloads/BWB\\_Nachhaltigkeitsbericht2012\\_hauptteil\\_web.pdf](http://www.bwb.de/content/language1/downloads/BWB_Nachhaltigkeitsbericht2012_hauptteil_web.pdf) (Letzter Aufruf: 23.09.2016).

Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen vom 24.02.2012 zuletzt geändert 4.4.2016, <https://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/krwg/gesamt.pdf> (letzter Aufruf: 23.09.2016).

Jekel, M., und W. Dott (2013): Leitfaden Polare organische Spurenstoffe als Indikatoren im anthropogen beeinflussten Wasserkreislauf, [http://www.bmbf.riskwa.de/\\_media/RISKWA\\_Leitfaden\\_Indikatorsubstanzen.pdf](http://www.bmbf.riskwa.de/_media/RISKWA_Leitfaden_Indikatorsubstanzen.pdf) (letzter Aufruf: 23.09.2016).

Nolde, E. (2013): Dezentrale Abwasserwärmerückgewinnung in Kombination mit einer Wärmerückgewinnungsanlage, DBU Projekt AZ 28201, <https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-28201.pdf> (letzter Aufruf: 23.09.2016).

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung (2007): Innovative Wasserkonzepte – Betriebswassernutzung in Gebäuden, [http://www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/oekologisches\\_bauen/download/modellvorhaben/betriebswasser\\_deutsch2007.pdf](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/oekologisches_bauen/download/modellvorhaben/betriebswasser_deutsch2007.pdf) (letzter Aufruf: 23.09.2016).

Sievers, J., M. Oldenburg, (M.), A. Albold und J. Londong (2014): IFAT 2014, Characterisation of Greywater, [http://www.kreis-jenfeld.de/publikationen.html?order\\_by=&sort=&per\\_page=&search=ext\\_autor&for=sievers](http://www.kreis-jenfeld.de/publikationen.html?order_by=&sort=&per_page=&search=ext_autor&for=sievers) (letzter Aufruf: 23.09.2016).

#### Autorinnen und Autoren:

Niels Christian Holm,  
Kerstin Wunder,  
Johanna Kruse,  
Peter Roggentin und  
Telse Roggentin

**Projekt:** nidA200

## D6

# Grauwasserbehandlung mit der Algenpilotanlage

Ziel des INIS-Vorhabens „nidA200“ war es, ein dezentrales Abwasserreinigungskonzept zu entwickeln, bei dem durch Einsatz alternativer Sanitärsysteme Gelb-, Grau- und Braunwasser getrennt gesammelt und verwertet werden. Durch Einführung alternativer Sanitärsysteme, Mitbehandlung des Siedlungsbioabfalls und Einsatz von Massenalgenkulturen (MAK) sollte eine weitgehende Abwasserreinigung bei hoher Energieeffizienz und maximaler Nährstoffrückgewinnung erreicht werden.

Für die MAK verwendet nidA200 schnell sedimentierende Algen-Bakterien-Mischkulturen mit hoher Wachstumsrate. Dafür wurden Algen aus natürlichen Quellen entnommen und den Anforderungen entsprechend selektiert. Mithilfe dieser selektierten Algenkultur ermittelt das Projekt wichtige Faktoren (Wachstumsraten, Nährstoffaufnahme, TS-Optimum) für die großtechnische Umsetzung. Die Versuche erfolgten auf zweierlei Maßstabsebenen: erstens mit Photobioreaktoren (PBR) im Labormaßstab für detaillierte Analysen, zweitens mit einem praxisnäheren Röhrensystem im Pilotmaßstab.

Das **Röhren-MAK-Verfahren** (siehe Abbildung 1) wurde im Pilotmaßstab mit einer Größe von 2 m<sup>2</sup> getestet. Das Gesamtvolumen belief sich dabei auf 909 L, wovon 107 L in den Röhren (aktive Fläche) enthalten sind. Die Fließgeschwindigkeit konnte zwischen 0,07 und 0,2 m/s variiert werden. Bei dem Verfahren wird die Algensuspension durch horizontale Röhren (1) gepumpt, die in Südausrichtung installiert sind. Nachdem die Suspension die Röhren durchströmt hat, fließt sie wieder in den Vorlagebehälter (2), wo die Algen sedimentieren. Über Position 3 oder 4 werden die Algen wieder abgezogen. Das klare Wasser läuft über den Ablauf (5) ab. Aufgrund der Strömung sedimentieren die Algen nicht in den Röhren. In dem Vorlagebehälter ist die Strömung jedoch soweit reduziert, dass die Algen sich absetzen. Im Röhrensystem können diverse Online-Messsonden (6) installiert werden. Zur Reinigung der Röhren lässt sich ein Reinigungsschwamm nach Bedarf durch die Röhren fahren (7).

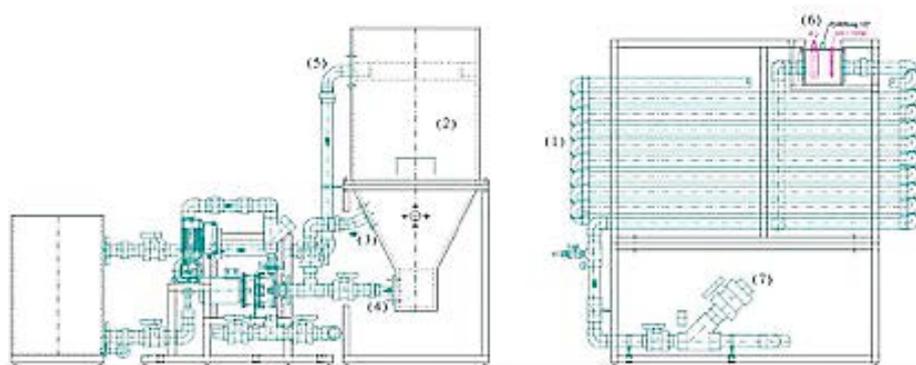


Abb. 1: Verfahrensprinzip des Röhren-MAK-Verfahrens im Pilotmaßstab.  
Quelle: nidA200

In den Photobioreaktoren wurde über 18 Monate der tägliche Zuwachs der Algentrockenmasse (TS) ermittelt. Die Zuwachsraten lagen in den Sommermonaten (April bis September) erwartungsgemäß am höchsten. Bemerkenswert ist allerdings, dass selbst im ertragschwächsten Wintermonat der durchschnittliche Ertrag immer noch rund 20 Prozent des bisher ertragsstärksten Monats betrug. Dies eröffnet die Möglichkeit eines ganzjährigen Betriebes eines MAK-Röhrensystems selbst in Nordeuropa. Durch Betrachtung der einzelnen Tagesverläufe wurde erkennbar, dass die Werte für  $O_2$ , Temperatur und pH im Verlauf des Tages ansteigen. Da die Algen unter Verbrauch von  $CO_2$  mithilfe des Sonnenlichts  $O_2$  produzieren, kann der  $O_2$ -Gehalt auf bis zu 60 mg/l steigen. Dies bietet den Vorteil, dass ein Teil des Klarwasserablaufs in eine vorhandene aerobe Belebungsstufe, die hauptsächlich auf Kohlenstoffabbau ausgelegt ist, zurückgeführt werden kann, um Kosten für die technische Belüftung einzusparen. Der pH-Wert steigt aufgrund des fotosynthetisch bedingten  $CO_2$ -Verbrauchs an. Durch Zugabe von  $CO_2$ -Gas kann diesem Effekt entgegengewirkt werden, wodurch gleichzeitig die Fotosyntheseaktivität der Algen steigt. Die Algen nehmen unter anderem Stickstoff (N) und Phosphat (P) für ihr Wachstum auf. Nach der Zugabe von nährstoffreichem Abwasser zu der Algensuspension erfolgt die Aufnahme des größten Teils von N und P in den ersten Minuten (siehe Abbildung 2). Danach läuft die Aufnahme langsamer ab. Nach Anfangswerten von 0,56 mg P/l und 7,2 mg N/l lagen die N- und P-Gehalte nach 300 Minuten unterhalb des Messbereichs (< 0,01 mg/l). Es konnte in mehreren Versuchen ermittelt werden, dass sich Aufnahmeraten von 0,04 bis 0,14 g P/m<sup>2</sup> · d und 0,3 bis 1,0 g N/m<sup>2</sup> · d erreichen lassen.

Für Enterobacteriaceen und E. coli wurde bestimmt, ob und in welchem Ausmaß diese Bakterien durch MAK reduziert werden können. Es wurden in der Regel Eliminationsraten von ein bis drei Zehnerpotenzen festgestellt. Für Noroviren lagen die Eliminationsraten bei 70 bis 80 Prozent.

Bei der Elimination von Pathogenen handelt es sich um einen sehr schnellen Effekt. Die folgende Abbildung zeigt ein Beispiel für Enterobacteriaceen. Bereits nach weniger als zehn Minuten Aufenthaltszeit in der Algenkultur und anschließender Sedimentation der Algen sind die Enterobacteriaceen im Überstand um 80 Prozent reduziert. Es handelt sich vermutlich um eine Co-Sedimentation der Bakterien mit den Algen.

Für diesen Effekt sind nur relativ geringe Algendichten erforderlich, wie das folgende Beispiel zeigt.

Schon bei einer Algendichte von 0,5 g TS/L Algenmasse lassen sich annähernd 100 Prozent der Enterobacteriaceen eliminieren.

Die Elimination von Pathogenen durch MAK hängt in hohem Maße von den sehr guten Sedimentationseigenschaften der Algen ab. So zeigten Resuspendierungsversuche, bei denen gemessen wurde, wie viele Pathogene nach Sedimentation durch Algen wieder suspendiert werden konnten, eine stark negative Korrelation zwischen der Eliminationsrate und der Resuspendierungsrate. Je höher die Eliminationsrate war, desto weniger Pathogene ließen sich wieder suspendieren.

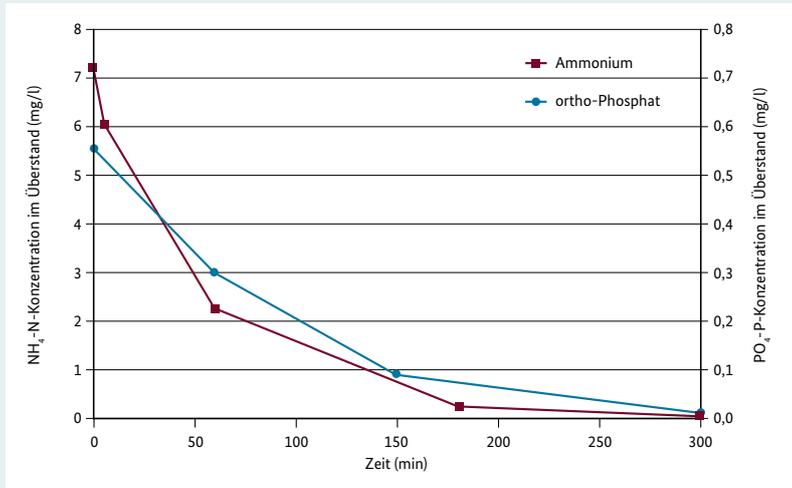


Abb. 2: Aufnahme der Nährstoffe N und P in Abhängigkeit der Aufenthaltszeit.  
Quelle: nidA200.

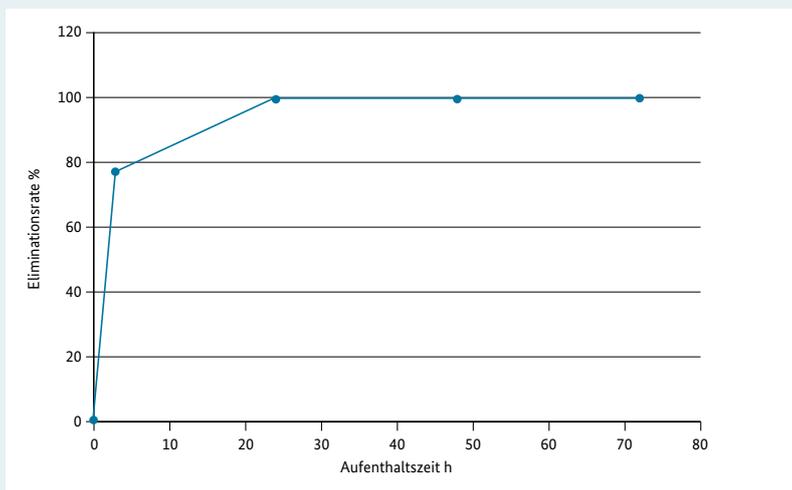


Abb. 3: Eliminationsraten für Enterobacteriaceen in Abhängigkeit von der Aufenthaltszeit. Quelle: P. u. T. Roggentin/Institut für Hygiene und Umwelt, Hamburg

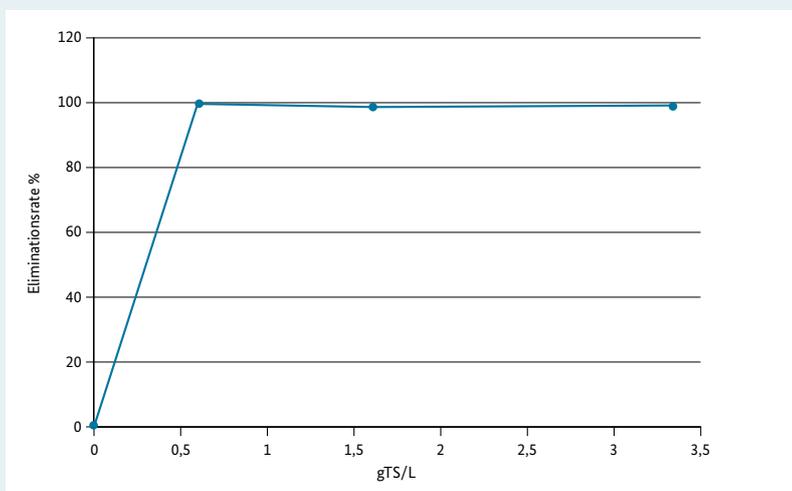


Abb. 4: Eliminationsraten von Enterobacteriaceen in Abhängigkeit von der Algendichte.  
Quelle: P. u. T. Roggentin/Institut für Hygiene und Umwelt, Hamburg

Auch eine erfolgreiche Mikroschadstoffeliminierung im Grauwasser mittels MAK konnte in 48 h-Tests nachgewiesen werden. Zum Beispiel konnte der Mikroschadstoff Ibuprofen um 97 Prozent (von 0,098 µg/l auf 0,016 µg/l) innerhalb der 48 Stunden reduziert werden. Für das Herbizid Terbutryn lag die Eliminationsrate bei 79 Prozent.

Zusammenfassend ist festzustellen: Massenalgenkulturen könnten zukünftig eine wichtige Rolle in der Wasser- und Abwasserbehandlung spielen. Phosphor- und Mikroschadstoffeliminierung durch MAK bieten ein großes Potenzial für den Einsatz als vierte Reinigungsstufe in (kommunalen) Kläranlagen. Grundsätzlich zeigt sich das Verfahren als sehr geeignet, große Mengen an gering belastetem Wasser effektiv zu reinigen. Auch dezentrale, kleine Kläranlagen können von MAK profitieren, da sich hierdurch relativ einfach Nährstoffe zurückgewinnen lassen und durch die Produktion von Sauerstoff die aerobe Biologie stark entlastet werden kann. Die in anderen Projekten oft sehr aufwendige und teure Ernte der Algen ist durch ihre Sedimentationsfähigkeit einfach und kostengünstig. Darüber hinaus kann die Röhren-MAK bei der Seesanieung oder auch der Aquakultur eingesetzt werden. Hier können die nährstoffreichen Abwässer mittels Algenkultur gereinigt und mit großen Mengen Sauerstoff versehen werden. Kostengünstige Verfahrenstechnik und geringe Betriebskosten runden die Beschreibung der Vorteile einer MAK-Anlage ab.

Ausblick: In 2017 sollen 120 m<sup>2</sup> des Röhren-MAK auf der Großbiogasanlage in Tondern (Dänemark) die anfallenden Grau-, Spül- und Oberflächenwässer zu Zwecken der Wiederverwendung (Spülung von Toiletten und Autowäsche von Lkw) reinigen.

#### Literatur:

Sierig, S., K. Wunder und N. C. Holm (2015): nidA200: a sustainable concept for decentralized wastewater treatment based on algae mass cultures. Proceedings of the Cities of the Future Conference – Transitions to the Urban Water-Services of Tomorrow (TRUST), Mülheim an der Ruhr, Germany, 28 – 30 April 2015.

Sierig, S., K. Wunder und N. C. Holm (2015): nidA200 – ein nachhaltiges Konzept für eine dezentralisierte Abwasserbehandlung auf Basis von Massenalgenkulturen, TRUST 2015, IWA Cities of the Future Conferences 4/2015, DVGW energie-wasser-praxis online.

Wunder, K., S. Sierig und N. C. Holm (2015): Algae for wastewater treatment: clean water, nutrient recovery and gaining biomass, Oral presentation, 5th International Symposium “RE-WATER Braunschweig”, 02. – 03.11.2015.

Wunder, K., S. Sierig und N. C. Holm (2015): Kombination mit Zukunft: Massenalgenkulturen und Abwasserreinigung, Modernisierungsreport 2015/16, Sonderausgabe der Fachzeitschrift WWT, S. 26 – 29.

Wunder, K., T. Roggentin, J. Kruse, S. Sierig, P. Roggentin, N. C. Holm: A new kind of fast sedimenting algal-bacteria cultures for the efficient reduction of nutrient and pathogenic microbes for the usage in a fourth treatment stage, in: Water Science and Technology (in Vorbereitung).

Autorin:

Janine Dinske

Projekt: ROOF WATER-FARM

## D7

# Integrierte Systemlösungen: Wenn aus häuslichen und fischereibetrieblichen Abwässern wertvolle städtische Nahrungs- mittel werden

Der Forschungsverbund ROOF WATER-FARM erarbeitet Möglichkeiten einer gebäudeintegrierten Wasseraufbereitung zur Bewässerung und Düngung von Dachgewächshäusern und zur Betriebswassernutzung. Direkt an das Betriebsgebäude der dezentralen Abwasseraufbereitung in Berlin-Kreuzberg ist das ROOF WATER-FARM-Pilotgewächshaus angebunden. Dessen Fokus liegt darin, den Einsatz von aufbereitetem häuslichem Abwasser in der urbanen Fisch- und Pflanzenproduktion zu untersuchen und die erzielten Produktqualitäten zu ermitteln. In dem ROOF WATER-FARM-Pilotgewächshaus sind zwei Teststrecken aufgebaut: die Teststrecke Aquaponik und die Teststrecke Hydroponik.

## Die Teststrecken

### Aquaponik

Der Begriff Aquaponik setzt sich aus den Wörtern Aquakultur und Hydroponik zusammen und bezeichnet die Kopplung der Fisch- und Pflanzenzucht in einem integrierten System. Das verbindende Medium der beiden Produktionsmethoden ist das Wasser. Denn das Aquaponik-Prinzip beruht auf der Tatsache, dass Fische durch ihre Stoffwechsellvorgänge Nährstoffe an das Wasser abgeben, die von den Pflanzen aufgenommen und so aus dem Medium Wasser entfernt werden. Das nährstoffarme Wasser fließt zurück in die Fischbecken, und der Kreislauf ist geschlossen. Dieses geschlossene System ermöglicht die Wiederverwertung von Nährstoffen, Stoffwechselprodukten, CO<sub>2</sub> und Wasser und erreicht so eine ressourcenschonende kombinierte Produktion von Fischen und Pflanzen.

Das Besondere an den Aquaponik-Modulen am Block 6 in Berlin-Kreuzberg: Es wird Betriebswasser aus der Grauwasseraufbereitung genutzt, um Fische und Pflanzen zu produzieren. Somit wird direkt am Ort der Erzeugung von Grauwasser und dessen Aufbereitung zu Betriebswasser eine Wiederverwendung der gebäudebezogenen Wasserströme geschaffen. Durch die Kreislaufführung des Wassers in den Aquaponik-Modulen ist es gelungen, den täglich benötigten Betriebswasserbedarf auf vier Prozent des Anlagenvolumens zu reduzieren. Um die Eignung des Betriebswassers zur gebäudeintegrierten Fisch- und Pflanzenproduktion zu bewerten, werden die Stoffströme in den Aquaponik-Anlagen und die Qualität der Produkte dokumentiert.

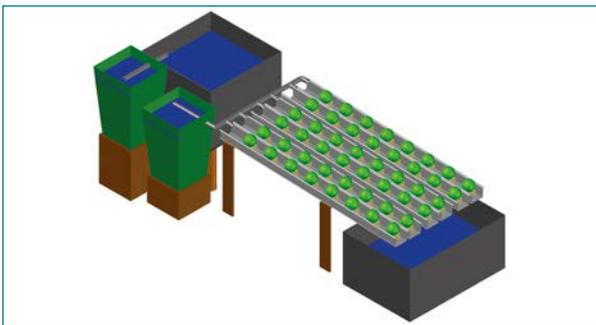


Abb. 1: Schematische Darstellung eines RWF-Aquaponik-Moduls.  
Quelle: Luisa Otto

Bei der Nutzung von Betriebswasser zur Fisch- und Pflanzenproduktion gelten die Untersuchungen von Spuren- bzw. Mikroschadstoffen und deren eventueller Verbleib im Produkt sowie hygienische Verunreinigungen als Untersuchungsschwerpunkt. Im Abgleich mit gesetzlichen Regelungen für Bewässerungswasser, Oberflächenwasser, Lebensmittel und Trinkwasser sowie Empfehlungen für Bewässerungswasser bildet dies die Grundlage zur Bewertung der mit Betriebswasser erzeugten Produkte, um am Ende sowohl deren Qualität als auch Marktfähigkeit abzuschätzen.

## Hydroponik

Hydroponik bezeichnet die erdelose Kultur von Pflanzen. Das Besondere an den Hydroponik-Modulen am Block 6 liegt darin, Flüssigdünger aus der Schwarzwasseraufbereitung zur Produktion von Pflanzen zu nutzen. Somit wird direkt am Ort der Erzeugung von Schwarzwasser und dessen Aufbereitung zu einem Flüssigdünger eine Wiederverwendung der gebäudebezogenen Wasserströme geschaffen. Um die Eignung des Flüssigdüngers zur gebäudeintegrierten Pflanzenproduktion zu bewerten, werden die stofflichen Eigen-

## Ergebnisse

Die ermittelten Daten für Schwermetalle in den einzelnen Modulen halten die Grenzwerte sogar gemäß Trinkwasserverordnung deutlich ein. Bezüglich der Spurenstoffe gilt festzuhalten, dass die Konzentrationen der einzelnen Stoffe, sofern nachweisbar, generell als sehr gering einzustufen sind. Um mögliche Auswirkungen dieser geringen Konzentrationen auf die Produkte Fisch und Pflanze abzuschätzen, wurden zusätzlich biologische Testverfahren durchgeführt. Diese Tests stehen stellvertretend für die unterschiedlichen

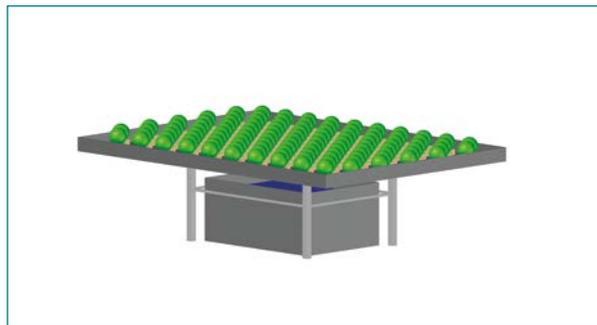


Abb. 2: Schematische Darstellung eines RWF-Hydroponik-Moduls.  
Quelle: Luisa Otto

schaften des Flüssigdüngers in den Hydroponik-Systemen und die Qualität der Produkte dokumentiert.

Bei der Nutzung von Flüssigdünger aus der Schwarzwasseraufbereitung zur Pflanzenproduktion gelten insbesondere die Untersuchungen von Spuren- bzw. Mikroschadstoffen und deren eventueller Verbleib im Produkt sowie hygienische Verunreinigungen als Untersuchungsschwerpunkt. Im Vergleich mit konventionellem Dünger und im Abgleich mit gesetzlichen Regelungen für Bewässerungswasser, Oberflächenwasser, Lebensmittel und Trinkwasser sowie Empfehlungen für Bewässerungswasser bildet dies die Grundlage zur Bewertung der mit Betriebswasser erzeugten Produkte, um am Ende sowohl deren Qualität als auch Marktfähigkeit abzuschätzen.

Als Produkt Fisch wurden im Projekt die Schleie (*Tinca tinca*), ein einheimischer Vertreter, und der Afrikanische Wels, eine produktive gebietsfremde Art, für die Aquakultur der Aquaponik ausgewählt. Bei den Pflanzen entschied sich ROOF WATER-FARM vorwiegend für die Kultur verschiedener Salate im Rahmen der Hydroponik, da diese schnell wachsen und dementsprechend mehrere Kulturzyklen pro Jahr ermöglichen.

trophischen Ebenen eines Ökosystems und zeigen in der Regel eine deutlich unterschiedliche Sensitivität gegenüber möglicherweise toxischen Abwasserinhaltsstoffen. Das Betriebswasser in den Aquaponik-Modulen und die NPK-Düngerlösung in den Hydroponik-Modulen – NPK-Dünger enthält Stickstoff (N), Phosphat (P) und Kalium (K) – entsprechen einer nicht toxischen Klassifizierung. Ebenso sind die Produkte Fisch und Pflanze frei von Spurenstoffen.

Auch die hygienische Klassifizierung des Aquaponik- und Hydroponik-Bewässerungswassers und der Produkte ist als unbedenklich einzustufen. Die Messergebnisse zeigen eindeutig, dass die Produkte die Anforderungen gemäß den Werteangaben der

## Fazit

Es gilt anzumerken, dass es sich bei den einzelnen Modulen der Aquaponik und Hydroponik um Pilotierungsanlagen handelt, die nicht mit etablierten Produktionsanlagen vergleichbar sind. Die dargelegten Ergebnisse des ROOF WATER-FARM-Pilotgewächshauses zeigen aber: Sowohl der Einsatz von Betriebswasser aus der Grauwasseraufbereitung zur aquaponischen Fisch- und Pflanzenproduktion als auch der Einsatz von Flüssigdünger aus der Schwarzwasseraufbereitung zur hydroponischen Pflanzenproduktion in Produktionsanlagen sind geeignet.

Deutschen Gesellschaft für Hygiene und Mikrobiologie und der Verordnung (EG) 2073/2005 über mikrobiologische Kriterien für Lebensmittel selbst im ungewaschenen Zustand sicher einhalten.

Die Verbundpartner sind sich einig: Die Produkte aus der ROOF WATER-FARM schmecken vorzüglich. Häusliche und fischereibetriebliche Abwässer können also nach der Aufbereitung zur Produktion wertvoller städtischer Nahrungsmittel eingesetzt werden.

## Impressionen ROOF WATER-FARM

Quelle: Janine Dinske



Abb. 3: RWF-Pilotgewächshaus



Abb. 4: Aquaponik-Modul



- Abb. 5: Hydroponik-Modul
- Abb. 6: Aquaponik mit Schleie (*Tinca tinca*)
- Abb. 7: Aquaponik-Produkt: Wels
- Abb. 8: Aqua- und Hydroponik mit Erdbeere
- Abb.: 9 Übersicht über die RWF-Farmmodule (vorne: Hydroponik; hinten: Aquaponik)
- Abb. 10: Aqua- und Hydroponik mit Endivie und Pak Choi
- Abb. 11: Aqua- und Hydroponik mit Aubergine
- Abb. 12: Kopfsalat-Ernte von der Aquaponik

#### Autoren und Autorinnen:

Thomas Hillenbrand, Harald Hiessl, Eve Menger-Krug, Kirsten Maier, Jutta Niederste-Hollenberg, Christian Sorge und Jörg Londong

Projekt: TWIST++

#### Literatur:

Maier, K., und J. Londong (2016): Transition of Water Infrastructure Systems. 13th IWA Specialized Conference on Small Water and Wastewater Systems & 5th IWA Specialized Conference on Resources-Oriented Sanitation. Athen, [http://uest.ntua.gr/swws/proceedings/pdf/SWWS2016\\_Maier\\_transition.pdf](http://uest.ntua.gr/swws/proceedings/pdf/SWWS2016_Maier_transition.pdf) (letzter Abruf: 14.10.2016).

Menger-Krug, E., J. Niederste-Hollenberg, U. Feldmann und T. Hillenbrand (2016): Integrated Water-Energy-Transition Concept: i.WET (in Vorbereitung).

Niederste-Hollenberg, J., E. Menger-Krug, U. Feldmann, E. Joel und T. Hillenbrand (2016): Transition von Wasserinfrastruktursystemen in Bestands- und Neuerschließungsgebieten, in: Wasserwirtschaft Wassertechnik, Sonderausgabe Modernisierungsreport 2016/2017, S. 4–9.

Rost, G., K. Maier, M. Böhm und J. Londong (2015): Auswirkungen eines technischen Paradigmenwechsels auf die wasserwirtschaftliche Organisation in strukturschwachen ländlichen Räumen, in: Raumforschung und Raumordnung 73 (5), S. 343–356.

## D8

# Innovative Systemlösungen für unterschiedliche Randbedingungen im Bestand – Ergebnisse des Projekts TWIST++

## Hintergrund

Im Rahmen des Verbundprojekts TWIST++ – „Transitionswege Wasserinfrastruktursysteme: Anpassung an neue Herausforderungen im städtischen und ländlichen Raum“ – wurden innovative Wasserinfrastrukturkonzepte entwickelt. Mit ihnen sollen die Flexibilität der Systeme und die künftige Versorgungssicherheit erhöht, Kreisläufe geschlossen und die im Abwasser enthaltenen Ressourcen genutzt werden. Wesentliches Kennzeichen des Projekts war die Zielsetzung, Konzepte zu entwickeln, die sich auch im Bestand umsetzen lassen. Letzteres ist vor dem Hintergrund der Ausgangssituation in Deutschland – Anschlussgrade an die bestehende, konventionelle Trink- und Abwasserinfrastruktur von 99 Prozent bzw. 97 Prozent – eine wesentliche Voraussetzung, wenn zukünftig eine breitere Umsetzung neuer Konzepte erreicht werden soll. Die wichtigsten Anforderungen an die zu entwickelnden Konzepte waren mit Blick auf die anstehenden Herausforderungen:

- hohe Flexibilität z. B. gegenüber demografischen Veränderungen und den damit verbundenen Konsequenzen für Wasserversorgung und Abwasserentsorgung (etwa auch hinsichtlich unterschiedlicher Entwicklungen in verschiedenen Stadtgebieten),
- Anpassungsfähigkeit gegenüber möglichen Auswirkungen durch Klimaveränderungen,
- Erfüllung höherer ökologischer Anforderungen (Energieeffizienz, Ressourcenrückgewinnung).

Das Projekt entwickelte die Konzepte anhand von drei konkreten Modellgebieten, die beispielhaft für den urbanen Raum, für eine ländliche Region und für eine Konversionsfläche ausgewählt wurden.

## Innovative Systemlösungen für den urbanen Raum

Das im Rahmen von TWIST++ am Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI) entwickelte Konzept i.WET („integriertes Wasser-EnergieTransitions“-Konzept) sieht eine kombinierte Wiederverwertung von Regenwasser und behandeltem Grauwasser mit Wärmerückgewinnung und Produktion von Bioenergie vor. Das Konzept wurde für Stadtquartiere im innerstädtischen Umfeld entwickelt, konkreter Anwendungsfall ist ein Quartier mit mehrgeschossigen Wohnhäusern in der Stadt Lünen. Es besteht aus zwei komplementären Wiederverwertungswegen, dem „blauen“ und dem „grünen“ Weg.

Im „blauen“ Wiederverwertungsweg wird Regenwasser von Dachflächen aufgefangen, zu Betriebswasser aufbereitet und gespeichert. Das Grauwasser aus Dusche und Bad wird zur Wärmerückgewinnung genutzt. Anschließend wird im Bedarfsfall so viel Grauwasser einer technischen Aufbereitung unterzogen, wie für die Deckung des Betriebswasserbedarfs benötigt wird und nicht durch Regenwasser zur Verfügung steht. Unmittelbar vor der Nutzung wird das Betriebswasser hygie-

nisiert und steht beispielsweise für die Toilettenspülung oder die Waschmaschine zur Verfügung.

Der „grüne“ Wiederverwertungsweg sieht eine naturnahe Aufbereitung des überschüssigen Grau- und Regenwassers im Außenbereich vor. Kernstück bildet dabei die sogenannte Energieallee, die aus einem horizontalen Bodenfilter und einer Kurzumtriebsanlage (KUP) mit schnellwachsenden, stauwassertoleranten Gehölzen (z. B. Weiden) besteht. Die Zuleitung zu diesem drainierten und nach unten abgedichteten Modul erfolgt dabei unter der Oberfläche. Die Energieallee kann als grünes Infrastrukturelement entlang von Straßen oder Grundstücksgrenzen eingesetzt werden und erfüllt mehrere Funktionen: Neben der Retention des Oberflächenabflusses und einer hohen Evapotranspiration erfolgen auch eine Schadstoffelimination sowie eine Nährstoffrückgewinnung durch das Erzeugen von Biomasse. Das gefilterte und überschüssige Wasser kann z. B. für die Bewässerung von Nutzpflanzen weitergenutzt, die erzeugte Biomasse zu Pellets oder Holzhäckseln verarbeitet werden. Einsparpotenziale bei der



Abb. 1: Energieallee: Mehrfachnutzung der urbanen Fläche zur Wasseraufbereitung, Wasserspeicherung und Bereitstellung von Ökosystemdienstleistungen. Quelle: Fraunhofer ISI

Nutzung ergeben sich durch Wassereinsparungen und Energierückgewinnung. Aus ökologischer Sicht sind vor allem die hohe Verdunstungsleistung und der damit verbundene positive Einfluss auf das Mikroklima im Quartier (sommerliche Hitzeperioden, Hitzeinseln, Klimaanpassung) sowie weitere Ökosystemdienstleistungen wie die Erhöhung der Biodiversität als Vorteile zu nennen. Das i.WET-Konzept beruht damit auf der innovativen Kombination verfügbarer und erprobter Technologiekomponenten.

Bei einer verbreiteten Umsetzung des i.WET-Konzepts würde sich durch die Auskopplung von Grau- und Regenwasser der Abwasserfluss soweit reduzieren, dass sukzessive die Schwemmkanalisation zu einer Vakuumkanalisation umgebaut werden könnte. Entscheidend für diesen zweiten Transitionsschritt sind die i.WET-Implementierungsrate im Gebiet sowie lokale und strangspezifische Randbedingungen. Durch das höher aufkonzentrierte Restabwasser ergibt sich die Möglichkeit für einen dritten Transitionsschritt: die Aufwertung der Kläranlage zu einem Ressourcen-

zentrum durch die verstärkte anaerobe Behandlung des Abwassers (Nutzung als Co-Substrat) und die Einführung einer Nährstoffrückgewinnung. Besonderer Vorteil der Transitionsschritte ist ihre Flexibilität: Sie ermöglichen einen sukzessiven Umbau der Wasserinfrastruktur mit flexiblen, an die Sanierungszyklen von Gebäuden, Kanalabschnitten und Kläranlagen angepassten Implementierungszeitpunkten. Die technischen Möglichkeiten für eine solche Umgestaltung zu einer Kläranlage der Zukunft sowie mögliche Geschäftsmodelle und Gebührenmodelle wurden im Projekt intensiv untersucht, ebenso die Implikationen für die Trinkwassernetze.

Die ökologische Bewertung des Konzepts zeigt eine positive Energie- und Emissionsbilanz, die Gesamtkosten liegen deutlich unter den Kosten einer Umstellung zu einem Trennkanalsystem. Besondere Vorteile sind die höhere Flexibilität gegenüber Veränderungen der Randbedingungen, wie abnehmende Nutzerzahl, sinkender Wasserverbrauch und vermehrte Starkregenereignisse.

## Innovative Systemlösungen für den ländlichen Raum

Nördlich der kreisfreien Stadt Weimar liegen die beiden Thüringer Gemeinden Wohlsborn und Rohrbach. Sie wurden als Modellgebiet für das Verbundprojekt TWIST++ ausgewählt, da sie viele typische abwassertechnische Merkmale der Situation im ländlichen Raum in den neuen Bundesländern aufzeigen: Es besteht ein hoher Anschlussgrad an die öffentliche Kanalisation, wobei viele Teilortskanäle (TOK) ohne Anschluss an eine Kläranlage existieren. Zudem stellt der demografische Wandel mit dem einhergehenden Rückgang der Bevölkerungszahlen eine große Herausforderung im Gebiet dar. Im Umland beherrschen große landwirtschaftliche Betriebe das Bild.

Im Rahmen von TWIST++ wurde an der Bauhaus-Universität Weimar in Zusammenarbeit mit dem zuständigen Abwasserentsorger, Abwasserzweckverband Nordkreis Weimar (ANW), neben einer Systemlösung auch ein Transitionsweg entworfen. Dieser ermöglicht es, den Bestand über einen längeren Zeitraum in ein zukunftsfähiges, flexibleres System umzubauen.

Die Ziele während der Planungsphase waren, den Stand der Technik umzusetzen, Stoffkreisläufe möglichst regional zu schließen und flexibel auf künftige Anpassungsnotwendigkeiten reagieren zu können. Das Konzept für die Modelldörfer sieht eine Trennung von Schwarz- und Grauwasser vor (vgl. Abbildung 2). Letzteres kann nach einer Reinigung entweder als Betriebswasser genutzt oder der Vorflut zugeführt werden. Das Schwarzwasser soll gemeinsam mit regionalen organischen Reststoffen in einer Biogasanlage Energie erzeugen und aus nachbehandeltem Gärrest Dünger produzieren. Regenwasser wird dezentral versickert oder abgeleitet.

Basierend auf örtlichen Rahmenbedingungen wurden Gelegenheitsfenster für eine Umsetzung gesucht, welche die Realisierung eines Neuartigen Sanitärsystems (NASS) im Bestand unterstützen. Für das Modellgebiet sind dies die geplante Erneuerung der Ortskanalisation und die Teilnahme an der Internationalen Bauausstellung Thüringen (IBA Thüringen), welche als externer Impulsgeber für Innovationen agieren kann.

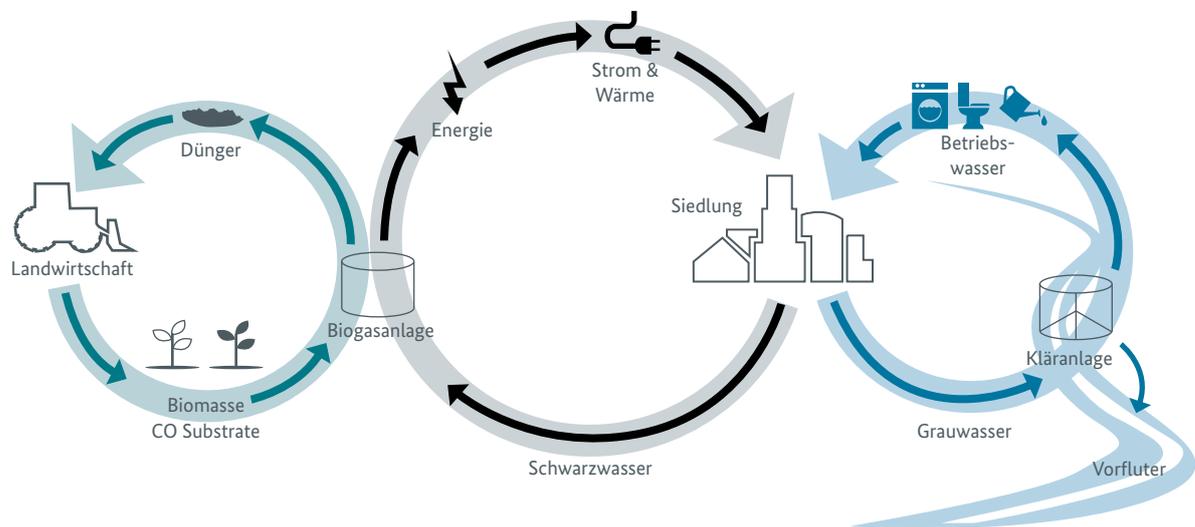


Abb. 2: Schematische Darstellung des Konzepts für den ländlichen Raum.  
Quelle: Bauhaus-Institut für zukunftsweisende Infrastruktursysteme (b.is) 2016

Der Transitionsweg zur schrittweisen Umsetzung und Integration der gewählten NASS-Elemente in den Bestand sieht folgende Schritte vor: Bau einer zentralen Pflanzenkläranlage, Bau einer (Unter-)Druckkanalisation für Schmutzwasser, Trennung der Abwasserteilströme im oder gegebenenfalls am Haus, Schwarzwasserbehandlung in einer Biogasanlage zur Gewinnung von Energie und Dünger sowie Rehabilitation des alten Teilortskanals für das Ableiten von Niederschlagswasser.

Zusätzlich dazu wurden zwei Meilensteine definiert:  
„Kooperation mit einem landwirtschaftlichen Betrieb“

und „Entwicklung einer Technologie zur Trennung von Schwarz- und Grauwasser im Bestand“. Werden diese Meilensteine nicht erreicht, kann der Transitionsweg hier enden, auch wenn nur eines der Ziele „Abwasserentsorgung nach Stand der Technik“ erreicht wurde. Durch die schrittweise Umsetzung des Systems wird eine Flexibilität erlangt, die eine Anpassung an sich ändernde Rahmenbedingungen erlaubt. Änderungen sind sowohl im technischen System als auch bei der Definition der einzelnen Schritte möglich. Jedoch müssen während des Prozesses die zu Beginn definierten Ziele immer im Blick behalten werden.

## Innovative Systemlösungen für Konversionsflächen

Konversionsflächen weisen einige typische Merkmale auf, welche bei Planung innovativer Wasserinfrastrukturen und Systemlösungen relevant sein können. So können Siedlungsdichte und Art der Nutzung (vorher/nachher) der Konversionsfläche stark variieren, Art der Folgenutzung und somit Wasserbedarf und Abwasseraufkommen sind teilweise sehr unsicher. Bestehende Wasserinfrastrukturen auf den Flächen müssen oftmals vollständig erneuert werden, während angren-

zende Wasserinfrastrukturen funktionieren und (weiter-)genutzt werden können.

Generell bieten sich auf Konversionsflächen größere Chancen für die Etablierung innovativer Systemlösungen, da relativ frei geplant werden kann.

Die Systemlösungen für Konversionsflächen können in planerische und technische Konzepte unterschieden werden. Zu den planerischen Konzepten gehören etwa:

- Reduzierung von Planungsunsicherheiten durch etappenweise Erschließung und eine soweit und so lange möglich starke Mitnutzung der angrenzenden Wasserinfrastrukturen,
- Wahrung einer möglichst hohen Flexibilität in allen Planungs- und Umsetzungsphasen (über Szenarien, Was-wäre-wenn-Simulationen mit entsprechenden Planungstools) (vgl. Beitrag F5).

Die genannten Anforderungen an Wasserinfrastrukturen lassen sich, ergänzend zu den Konzepten/Lösungen für den urbanen Raum, vor allem auf Konversionsflächen mit folgenden technischen Konzepten realisieren:

- Grau- und Regenwasser als Ressource für Betriebswasser in der Produktion und für Unterstützungsprozesse (z. B. Reinigung),
- höherwertiges Prozesswasser für eine optimierte Produktion, das über eine „Fit-for-Purpose“-Anlage zur Verfügung gestellt werden kann.

Die Untersuchungen für das in TWIST++ einbezogene Modellgebiet „Neue Zeche Westerholt“ zeigen, dass die genannten innovativen Systemlösungen im Vergleich zu konventionellen Systemen speziell auf Konversionsflächen zu besonderen Vorteilen mit folgendem Nutzen führen:

- mittel- bis langfristig erhöhte Flexibilität und Versorgungssicherheit bei gleichen Baukosten auf der Trinkwasserseite (trotz hoher Unsicherheiten z. B. hinsichtlich Art und Maß der Flächennutzung),
- gleiche oder geringere Betriebskosten auf der Trinkwasserseite,
- Reduzierung von Gesamtbedarf und Bedarfsspitzen beim Wasserverbrauch (Gewerbe) durch Teilstromverwertung,
- Verminderung der abzuleitenden Niederschlagswassermengen durch Weiterverwertung auf dem Gelände und gezielte Evapotranspiration (Flächen und Pflanzen),
- Schaffung von Standortvorteilen für wasserintensive oder ökologisch anspruchsvolle Gewerbe- oder Industriebetriebe.

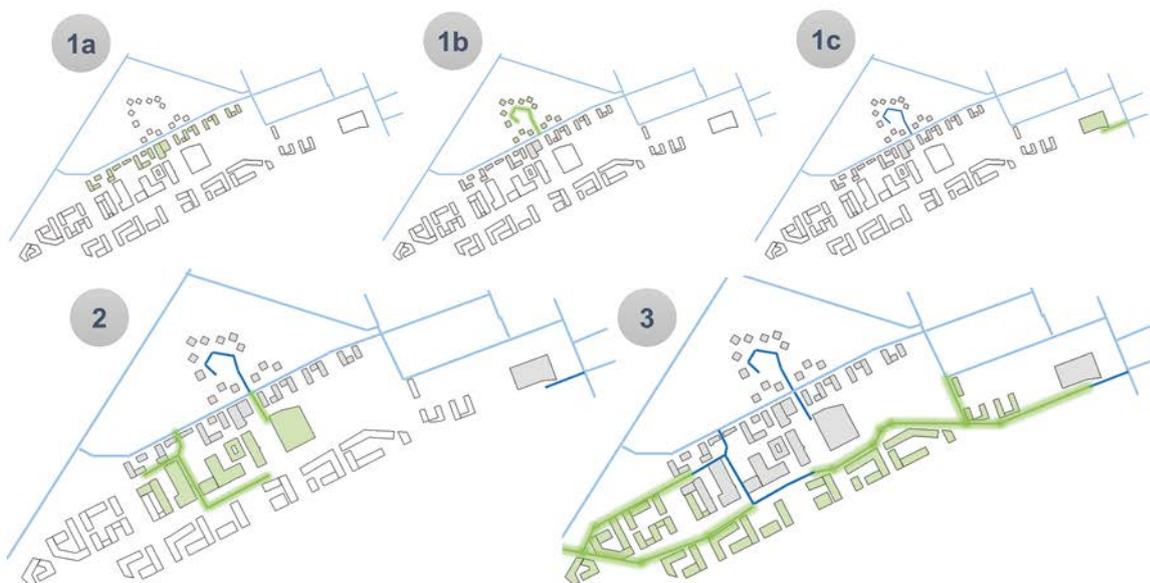


Abb. 3: Etappenweise Erschließung einer Konversionsfläche für die Trinkwasserversorgung (grün = geplante Trinkwasserleitungen, blau = bestehende oder neu errichtete Trinkwasserleitung). Quelle: IWW Zentrum Wasser

## Zusammenfassung und Ausblick

Die Ergebnisse aus TWIST++ zeigen: Die Transition bestehender Wasserinfrastrukturen auf Gebäude- wie auch Quartiersebene ist technisch und organisatorisch möglich und zur Verbesserung der Zukunftsfähigkeit bestehender Systeme sinnvoll und erforderlich. Für die erarbeiteten neuen Konzepte sind zukünftig konkrete Umsetzungsarbeiten vorgesehen:

- Mit i.WET steht ein Konzept zur Verfügung, das es erlaubt, Maßnahmen zur Transition der Trink- und Abwassernetze im urbanen Raum im Rahmen der üblichen Instandhaltungsmaßnahmen schrittweise umzusetzen. Es bietet Lösungen für die großen Herausforderungen der urbanen Wasserinfrastruktur in Deutschland (demografischer Wandel, Klimawandel, Energiewende) und unterstützt einen naturnahen urbanen Wasserhaushalt sowie urbane Ökosystemdienstleistungen. Vorgesehen ist die Demonstration des Konzepts anhand eines Pilotprojekts im untersuchten Modellgebiet.
- Im Modellgebiet für den ländlichen Raum treibt der zuständige Abwasserzweckverband die Umsetzung der während der Projektlaufzeit entwickelten Konzepte derzeit aktiv voran. Zusätzlich konnte für das Vorhaben bei der Internationalen Bauausstellung Thüringen ([www.IBATHueringen.de](http://www.IBATHueringen.de)) der „Kandidatenstatus“ erlangt werden, an dessen Weiterentwicklung nun intensiv gearbeitet wird.
- Für die Konversionsfläche werden die innovativen Lösungsansätze bei der Planung der Wasserinfrastrukturen durch die betroffenen Kommunen und den Grundstückseigentümer berücksichtigt.

Die neuen Konzepte stellen hinsichtlich ihrer Umsetzung auch Anpassungserfordernisse im organisatorischen und institutionellen Bereich. Für eine breitere Umsetzung spielt die Überwindung dieser nicht-technischen Hemmnisse eine wesentliche Rolle (vgl. Beitrag H2).

#### Autorin und Autoren:

Martina Winker, Thomas Giese,  
Jens Libbe, Jörg Londong, Martin  
Oldenburg und Engelbert  
Schramm

Projekt: netWORKS 3, KREIS

## D9

# Probleme und Stolpersteine beim Umsetzen neuartiger Wasserinfrastrukturen: Diskrepanzen zwischen Theorie und Praxis

### Einleitung

Neuartige Wasserinfrastrukturen sind vielen Fachleuten, insbesondere in den an die Siedlungswasserwirtschaft angrenzenden Sektoren, immer noch weitgehend unbekannt. Es fehlt an Wissen nicht nur um die technischen Varianten, sondern auch im Hinblick auf die stadtplanerischen, architektonischen und weiteren Optionen und Möglichkeiten, die sich durch sie bieten; oft mangelt es an eigenen Erfahrungen oder Kenntnissen über die Erfahrungen Dritter bezüglich Planung, Umsetzung und Betrieb. Wenn sich Akteure für die Realisierung solcher Systeme entscheiden, bestehen deshalb neben den üblichen Problemen bei Planung und Bau von Gebäuden und Stadtteilen häufig noch neue und teils unvorhersehbare Herausforderungen.

Dieser Beitrag gibt eine kurze Übersicht, welcher Art solche Umsetzungsschwierigkeiten sein können. Er enthält Hinweise, worauf besonders zu achten ist, und bietet Tipps sowie mögliche Lösungen an. Er richtet sich dabei gleichermaßen an Akteure der Siedlungswasserwirtschaft und der kommunalen Planungspraxis, an Profis aus den Bereichen Architektur, Haustechnik und Wohnungswirtschaft, Vertreterinnen und Vertreter der verschiedenen Verbände und Kammern sowie Ministerien und Genehmigungsbehörden aus Bund und Ländern. Etliche der Hinweise richten sich an mehrere dieser Akteure zugleich.

## Planungsphase

Leitvorstellungen zur Implementierung von neuartigen Wasserinfrastrukturen sollten in den Kommunen entwickelt werden. Insbesondere die Dezernate für Stadtentwicklung und Umwelt können wichtige Impulsgeber für Dritte sein, sich mit dem Thema auseinanderzusetzen.

- Es ist hilfreich, die Realisierung neuartiger Wasserinfrastrukturen zum Gegenstand von Strategien der Klimaanpassung zu machen oder im Rahmen von kommunalen Energiekonzepten zu berücksichtigen.
- Beim Fortschreiben von Abwasserbeseitigungskonzepten sind neuartige Wasserinfrastruktursysteme einzubeziehen, indem etwa die Potenziale von Energie, Wasser und Nährstoffen aufgezeigt werden.

Etliche Akteure aus Stadtplanung und Wohnungswirtschaft verfügen derzeit noch nicht über genügend Kenntnisse zu den neuartigen Konzepten und Systemoptionen.

- Alle Beteiligten sollten die Bereitschaft mitbringen, sich auf neue Themen einzulassen und sich einzuarbeiten; Reallabore und andere Formen der Begleitung ermöglichen ein gemeinsames Lernen in den Planungsprozessen.
- Kooperationen etwa mit bisher vor Ort unbekanntem Planungs- und Architekturbüros, die entsprechende Kenntnisse haben, oder auch mit neuen Akteuren z. B. aus dem Energiebereich sind daher häufig erforderlich.
- Neuartige Infrastrukturen sollten zum Gegenstand von Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen in Planung und Architektur gemacht werden.
- Wissenstransfer ist auch für andere Gewerke zentral. Angesprochen sind die Bereiche Installation, Elektrotechnik und andere. Vorteile für andere Gewerke (z. B. Wärmerückgewinnung) sind bei diesen vielfach unbekannt und müssen im Verlauf erlernt werden. Kammern und Fachverbände können hier durch Informationsangebote unterstützen.

Inhouse-Wissen zur Durchführung einer solchen Planung ist in den kommunalen Verwaltungen selten vorhanden oder liegt nur rudimentär vor.

- Sorgfältige Abstimmungsprozesse sind nötig; gegebenenfalls ist es hilfreich, sich eine in solchen Systemen erfahrene Beratung an die Seite zu holen, um zielgenau zu planen.
- Es kann sehr hilfreich sein, bereits implementierte Systeme zu besichtigen und sich mit den dortigen Akteuren zu deren Erfahrungen auszutauschen.
- Erfahrungen aus den in vielen Kommunen vorhandenen Prozessen der Energieleitplanung oder auch des energetischen Quartiersmanagements lassen sich übertragen; umgekehrt sollten neuartige Wasserinfrastrukturen, wo sinnvoll, in solche Konzepte integriert werden.

Neuartige Wasserinfrastrukturen können zum Bestandteil von städtebaulichen, aber auch anderen öffentlich-rechtlichen oder zivilrechtlichen Verträgen zwischen Kommune und Investor gemacht werden. So kann insbesondere bei der Entwicklung von am Markt nachgefragten städtischen Arealen die Implementierung von neuartigen Wasserinfrastrukturen sichergestellt werden.

Bei Genehmigungsbehörden fehlen Vorlagen und Erfahrungen mit neuartigen Wasserinfrastrukturen. Daher sind die Behörden frühzeitig in die Planung einzubeziehen (Beispiel: Einleitungserlaubnis für behandeltes Grauwasser in einen städtischen Bach).

- Erfahrungsaustausch zwischen den Genehmigungsbehörden anregen.
- Weiterbildung für Genehmigungsbehörden anbieten.

Die bestehenden Betreibermodelle greifen teilweise nicht oder nur schwer. Veränderungen der Betriebsmodelle und -organisationen sind nötig.

- Die spätere Betriebsphase ist stärker im Planungsprozess zu berücksichtigen. Es ist sinnvoll und hilfreich, frühzeitig ein Betreibermodell mit allen Beteiligten abzustimmen.
- Öffentliche Infrastrukturbetreiber sind nicht zwingend erforderlich. Der Betrieb kann an andere übertragen werden.

## Implementierungs- und Bauphase

Ausschreibungen von technischen Systemkomponenten zur Vergabe sind aufwendiger: Es können nämlich nicht mehr die üblichen Textbausteine verwendet werden. Um Fehler zu vermeiden, sind eine sorgfältigere interne Planung und Rückabstimmung nötig.

- Bei einer ersten Implementierung entsprechende Zeitpuffer einplanen.
- Häufig ist es sinnvoll, die Vergabepakete neu aufzuteilen: Konventionelle Bauträger sind nämlich in der Regel nicht bereit, die innovativen Aspekte und Komponenten mit zu leisten.
- Besonderes Augenmerk muss bei neuen Systemen auf die Gewährleistung der Hersteller gelegt werden, insbesondere bei Funktionalausschreibungen.

Investoren bzw. Unternehmen der Energie- und Wasserwirtschaft haben unter Umständen Schwierigkeiten, einen Auftragnehmer für neue Systempakete (wie etwa Grauwasseraufbereitung, Schwarzwasserbehandlung, Wärmerückgewinnung, Steuerungstechnik) zu finden.

- Investoren sollten vorab den Markt sondieren und sich informieren, wer mögliche Auftragnehmer sein könnten. Soweit möglich, die Systempakete entsprechend zuschneiden.
- Bei der Ausschreibung im Blick haben, dass der Wettbewerb bei bestimmten technischen Optionen (z. B. Unterdruckentwässerung im Haus bis zur Behandlung) eventuell eingeschränkt ist.

Auswirkungen auf Finanzierungsmodelle (Gebühren, Gutschriften usw.) sind zu berücksichtigen.

- Auch hier lohnt sich der Erfahrungsaustausch mit Akteuren, die neue Lösungen bereits implementiert haben, um die Vor- und Nachteile verschiedener Lösungswege kennenzulernen.

Komplettvergaben innovativer Pakete funktionieren nicht immer, oder es werden keine Angebote zu einem vertretbaren Preis abgegeben. Grund hierfür ist, dass der Auftrag für den Auftragnehmer Neuland bedeutet und mit höheren wirtschaftlichen Risiken als üblich verbunden ist. Diese Risiken werden eingepreist.

- Der Bauherr selbst bzw. sein Fachplaner muss sich in das Schnittstellenmanagement zwischen den Infrastrukturen „eindenken“ und dieses in der Vergabe der Technik-/Systempakete berücksichtigen. Hierzu kann es sinnvoll sein, beim ersten Mal eine externe Beratung hinzuzuziehen.

In Implementierungen auf Quartiersebene sind oft unterschiedliche Bauherren, Planer und Architekten aktiv, die wenig bis keine Erfahrungen mit der Berücksichtigung neuartiger Systemvarianten in Planung und Bau haben.

- Bauherren frühzeitig auf Hilfen zur Umsetzung hinweisen, wie sie vom DWA-Fachausschuss NASS oder auch im Rahmen des Projektes KREIS entwickelt wurden.
- Bauherren aktive Beratung zu neuartigen Wasserinfrastrukturen zukommen lassen. Dabei eventuell auch Architektenkammern, Handwerkskammern, Fachverbände, Fachplaner und Wohnungswirtschaft adressieren.



## Inbetriebnahme und Betrieb

Die Haustechnik ist bei neuartigen Systemvarianten für die Bewohnerinnen und Bewohner neu und damit ungewohnt. Dies kann Irritationen und Unsicherheiten hervorrufen.

- Darauf achten, dass bei der Nutzung in den Wohngebäuden kein Komfortverlust eintritt, das heißt die gesamte Haustechnik genauso reibungslos funktioniert wie in einem konventionellen System.
- Gute Kommunikation bereits vor Unterschrift des Miet- bzw. Kaufvertrags sicherstellen, damit die Bewohnerinnen und Bewohner wissen, was auf sie zukommt. Dies kann etwa bei der Wohnungsbesichtigung und später durch schriftliche Informationen als Anlage zum Vertrag erfolgen.
- Die Inbetriebnahme selbst offensiv kommunizieren und in dieser Zeit einen direkten Ansprechpartner (telefonisch erreichbar) beim Vermieter bereitstellen.
- Bei der Inbetriebnahme eines Betriebswassersystems durch Demonstrieren der richtigen Installation mittels eines Farbtests das Vertrauen fördern. Damit kann den Bewohnerinnen und Bewohnern sichtbar gemacht werden, dass keine Fehlanlüsse zwischen Trink- und Betriebswassernetz bestehen.
- Bewohnerinnen und Bewohner über den Hintergrund der neuen Technik und deren Vor- und Nachteile informieren. Für Interessierte kann dies z. B. in Form einer Einladung zur Besichtigung der Technik realisiert werden. Dieses Angebot ist dann in regelmäßigen Abständen, z. B. bei Mieterwechseln, zu wiederholen.

Bewohnerinnen und Bewohner wünschen ein möglichst störungsfreies und unauffälliges Funktionieren der Anlagen.

- Fernüberwachung der Anlagen inklusive Betriebsdatenabfrage ist hilfreich und empfehlenswert.
- Fernüberwachung verkürzt die Reaktionszeit bei Störungen und senkt den Zeitaufwand vor Ort.
- Wichtig sind eine klare Kommunikation des Ansprechpartners bei Problemen und eine zeitnahe (idealerweise am selben Tag) Reaktion im Falle von Störungen. Es muss deutlich werden: Hier kümmert sich jemand, der möglichst viel „in einer Hand“ organisiert (Vermeiden der Aufsplitterung von Verantwortlichkeiten).

Im Falle von Betriebsstörungen kann es schwierig sein, die entsprechenden Störungsquellen zu finden: Die Handwerker vor Ort verfügen häufig nicht über das nötige Fachwissen; eventuell sind auch Ersatzteile schwieriger – z. B. nur über den Anlagenhersteller – zu beschaffen.

- Das installierte Netz dokumentieren, damit im Störfall klar ist, was wo wie verbaut ist und nicht nur die ursprüngliche Planung vorliegt. Dadurch lassen sich mögliche Fehlanlüsse im Störfall oder bei Renovierungen vermeiden.
- Die relevanten Handwerker und Mitarbeitenden in die Netztechnik einführen (etwa bei mehrfacher Leitungsführung oder Vakuum), initiiert durch den Betreiber.
- Die Haustechniker/Betreiber und Handwerker vor Ort in die Anlagentechnik durch den Hersteller einführen.
- Eventuell die Teilnahme an diesen Einführungs-/ Fortbildungsmaßnahmen für zukünftige Auftragsvergaben verpflichtend machen.
- Klare Absprachen mit dem Hersteller treffen zur Kommunikation und Hilfestellung bei Störungen. Für den Fall, dass der Standort des Herstellers weit entfernt ist, mögliche Hilfe bei Störfällen über Online-Video-Schnittstellen organisieren.
- Vorab klären, welche Ersatzteile wo zu bekommen sind und welche Module über Wartungsverträge direkt mit dem Hersteller zu regeln sind.

## Umsetzung im Rahmen von Forschungs- und Förderprogrammen

Bauliche Umsetzungen haben ihre eigene Dynamik. Oft ist es schwierig, sie mit den festen zeitlichen Abläufen eines klassischen Forschungsprojektes in Einklang zu bringen. Daher ist es wichtig, genau zu klären, welche Abhängigkeiten zwischen Implementierung und Forschung bestehen und wie im Fall von Verzögerungen verfahren wird. In der Praxis wäre es sinnvoll, wenn notwendige Vorarbeiten in der Forschung vorab durchgeführt werden und andere Teile des Forschungsprojektes erst dann starten, wenn die bauliche Umsetzung die dafür erforderlichen Vorarbeiten sichergestellt hat. Hierzu müssten allerdings die Rahmenbedingungen der Forschungsförderung geändert und Möglichkeiten für die Zwischenfinanzierung des Forschers gefunden werden.

Die Forschungsförderung zu neuartigen Infrastrukturen sollte vermehrt von der Ressortforschung aufgegriffen werden, damit modellhafte Lösungen in die Fläche getragen werden. Dabei sollte darauf geachtet werden, neuartige Wasserinfrastrukturen zum Gegenstand von Förderprogrammen zu machen, etwa im Rahmen der energetischen Stadtsanierung. Die Ressortforschung könnte dabei auch Sorge dafür tragen, dass neutrale Beratungsangebote – etwa für die Genehmigungsbehörden, aber auch für die Kommunalplanung – etabliert werden.

Es bedarf einer gezielten Aus- und Weiterbildung auf allen Ebenen: Ausbildung in Handwerk und Hochschule, Weiterbildung und Erfahrungsaustausch für Facharbeiter, Planer, Architekten und Ingenieure in kommunaler Verwaltung, Unternehmen und Handwerk. So müssen etwa die wissenschaftlich-technischen Fachverbände des Wasserfachs ihr Wissen zu den neuartigen Wasserinfrastruktursystemen auch dem Handwerk frühzeitig zur Verfügung stellen und dieses entsprechend fortbilden (vor allem auch die Lehrkräfte der Berufsschulen). Genauso angesprochen sind Architektenkammern, kommunale Verbände sowie Institutionen der Fort- und Weiterbildung.

### Literatur:

DWA – Deutsche Vereinigung für Wasser, Abwasser und Abfall (2014): Arbeitsblatt DWA A-272, Grundsätze für die Planung und Implementierung Neuartiger Sanitärsysteme (NASS), Deutsche Vereinigung für Wasser, Abwasser und Abfall, Hennef.

Kerber, H., E. Schramm und M. Winker (2016): Transformationsrisiken bearbeiten: Umsetzung differenzierter Wasserinfrastruktursysteme durch Kooperation, netWORKS-Paper 28, Deutsches Institut für Urbanistik, Berlin, <http://edoc.difu.de/edoc.php?id=IR28QLKF> (letzter Abruf: 30.08.2016).

Londong, J., et al. (2015): Neuartige Sanitärsysteme – Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung. Weiterbildendes Studium „Wasser und Umwelt“, Bauhaus-Universität Weimar, Weimar.

Oldenburg, M., R. Rohde, M. Wuttke und W. Kuck (2015): Handbuch Unterdruckentwässerung. Ein Leitfaden für die Installation in Gebäuden. Hamburg Water Cycle®, Jenfelder Au, Hamburg Wasser, Hamburg, [http://www.kreis-jenfeld.de/tl\\_files/content/mitgliederpublikationen%20oeffentlich/HWC\\_Handbuch%20Unterdrucktechnik.pdf](http://www.kreis-jenfeld.de/tl_files/content/mitgliederpublikationen%20oeffentlich/HWC_Handbuch%20Unterdrucktechnik.pdf) (letzter Anruf: 30.08.2016).

Winker, M., J. Trapp mit J. Libbe und E. Schramm: Wasserinfrastruktur: den Wandel gestalten. Technische Varianten, räumliche Potenziale, institutionelle Spielräume, Deutsches Institut für Urbanistik, Berlin (in Vorbereitung).

## Autorinnen und Autoren:

Martina Winker, Jens Libbe,  
Jörg Felmeden, Thomas Giese  
und Sabine Kunkel

Projekt: netWORKS 3

## D10

# Dependenzen und Interdependenzen von Siedlungs- und Baustruktur mit der Wasser- und Energieinfrastruktur

## Dependenzen der Wasserinfrastruktur

Neuartige Wasserinfrastrukturen verändern die bestehenden Modalitäten der Planung und Implementierung von Wasserinfrastruktur innerhalb städtischer Entwicklungsprozesse. In der Planung der Wasserinfrastruktur sind Abhängigkeiten von der Siedlungs- und Baustruktur zu berücksichtigen, hier zusammengefasst als *Dependenzen*.

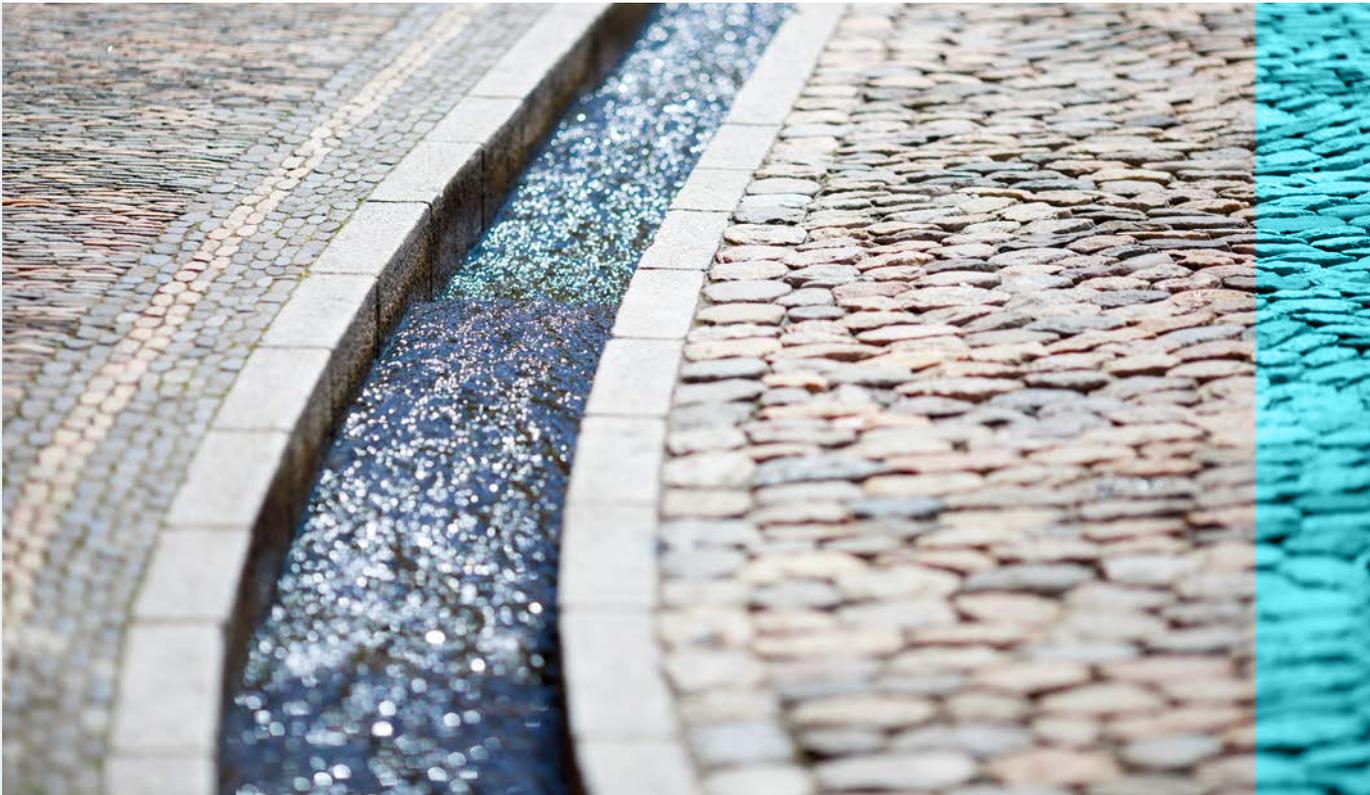
Zunächst bedeuten neuartige Wasserinfrastrukturen häufig eine Differenzierung des Leitungsnetzes, etwa indem Abwasserströme getrennt abgeleitet werden oder Betriebswasser als zweite Wasserqualität neben dem Trinkwasser bereitgestellt wird. Dadurch verändern sich in der bestehenden Infrastruktur die Ansprüche an Platz und Integrierbarkeit. So muss entsprechend Platz im Straßenraum und in den Infrastrukturschächten/-kanälen der Gebäude bereitgestellt werden und sind entsprechende (Haus-)Anschlüsse zu gewährleisten. Zudem ist es schwierig und kostenaufwendig, zusätzliche Leitungen nachträglich in Gebäude einzubringen, auch wenn es erste technische Lösungen über Inliner gibt (vgl. Vesper 2014). Dies bedeutet, dass insbesondere bei der Neuplanung von Konversions- und Entwicklungsgebieten, in denen sich große Flächenanteile in einer – idealerweise der kommunalen – Hand befinden, günstige Voraussetzungen bestehen (siehe hierzu auch Beitrag G7). Im Bestand muss die Suche nach angepassten Lösungen und Transformationswegen noch intensiviert werden.

Neben den Leitungen müssen – je nachdem, ob das neuartige System eine dezentrale oder semizentrale Struktur haben soll – auch entsprechend Platz und Räumlichkeiten für Behandlungsanlagen und/oder den Betrieb von Wärmetauschern aus dem Abwasser eingeplant werden. Bei dezentralen Behandlungsanlagen muss im Gebäude/Block ein Raum im Keller oder einer angrenzenden Tiefgarage bereitgestellt werden. Dieser Raum muss für den Betreiber, der z. B. alle Anlagen im Gebiet regelmäßig wartet, zugänglich sein. Bei semizentraler Behandlung, wie sie etwa im Hamburg Water Cycle® angelegt ist, muss eine Fläche im oder angrenzend an das Quartier zur Verfügung gestellt werden. Es kann sich dabei auch um einen unterirdischen Raum handeln, wobei dadurch höhere Kosten durch Aushub usw. entstehen. Bei einer Behandlungsanlage ist je nach Wahl der Technik die Gebietstypisierung z. B. als Misch- oder Gewerbegebiet wichtig, damit Emissionen der Anlagen entsprechend eingestuft und bewertet werden können.

Auch ist bei der Wahl des Ortes auf weitere Eigenschaften wie Leitungslängen, Geländeneigung, Flächen in kommunalen Besitz usw. zu achten.

Um eine größere Flexibilität in der Planung zu gewinnen, kann es auch sinnvoll sein, Mischformen in der Zentralität der technischen Module (wie etwa Grauwasser, Schwarzwasser, Wärme) zu wählen. So kann z. B. die Abwasserwärme dezentral im Haus – und damit möglichst nah am Ort des Wärmeanfalls und der Wärmenutzung – gewonnen werden, während das Abwasser parallel semizentral auf Gebietsebene aufbereitet und behandelt wird. Auch ist es denkbar, dass nur ein Abwasserteilstrom, etwa das Grauwasser, semizentral aufbereitet und genutzt wird, während das Schwarzwasser über die bestehende Kanalisation zur zentralen Kläranlage abgeleitet wird. Genauso ist der andere Fall denkbar: Schwarzwasser wird semizentral behandelt und Grauwasser abgeleitet. Entscheidungen hierzu hängen immer ab vom jeweiligen Gebiet, der Auslastung und dem Zustand der umliegenden/ableitenden Kanäle und gegebenenfalls auch deren Nutzung zur zusätzlichen Wärmegegewinnung.

Dies bedeutet, dass es aktuell einer Fall-zu-Fall-Prüfung bedarf – auch in Verbindung mit mittelfristigen Entwicklungsplänen in größerem Maßstab. Die zeitliche Komponente der Umsetzung muss dabei mit in den Blick genommen werden. So kann ein erster Schritt darin bestehen, ein differenziertes Leitungsnetz in Gebäuden und der kommunalen Infrastruktur einzubringen, jedoch keine Behandlungsanlage im Gebiet selbst oder dessen direkter Nachbarschaft zu implementieren. Diese ließe sich in einem angrenzenden Quartier vorsehen und dann in einem späteren Implementierungsschritt, wenn eine entsprechende Anzahl kleinerer Gebiete wie beschrieben transformiert wurde, installieren. In einem solchen ersten transformierten Teilgebiet kann es kurzfristig aufgrund der bereits implementierten Leitungstechnik attraktiv sein, dezentrale – eventuell private – Lösungen auf Gebäude-/Blockebene zu wählen, etwa in der Grauwasserbehandlung auf freiwilliger Basis. Solche Lösungen sind in Zeiträumen von zehn bis 15 Jahren abzuschreiben (vgl. Löw 2011). Mittelfristig, mit Erschließung und/oder Transformation der Nachbarflächen, kann dann zu einer semizentralen Lösung übergegangen werden.



## Interdependenzen der Wasserinfrastruktur mit Siedlungs- und Baustruktur sowie Energieinfrastruktur

Zur Abhängigkeit der Wasserinfrastruktur von der Siedlungs- und Baustruktur kommen noch Abhängigkeiten von anderen technischen Infrastrukturen hinzu. Beeinflusst die Wasserinfrastruktur ihrerseits wiederum jene Strukturen, spricht man von Interdependenz, gegenseitiger Abhängigkeit. Ein anschauliches Beispiel bieten hier Niedrigenergie- und Passivhäuser. Diese haben aktuell ihren größten Wärmeverlust über das Abwasser (laut ABGnova, mündliche Auskunft). Dabei könnten, wie Berechnungen zeigen, in diesen Häusertypen rund 30 Prozent der für die Trinkwassererwärmung benötigten Wärme über die Abwasserwärme generiert werden (vgl. Winker et al. 2014). Hintergrund dieser Überlegungen ist, dass durch die Nähe der Wärmerückgewinnung sowohl zum Ort der Entstehung als auch zur anschließenden Nutzung geringere Verluste auftreten. Die daraus resultierende Minderung der Wärmeverluste und das Halten der Wärme im Gebäude machen es interessant, diesen Gebäudetyp und Wärmerückgewinnung aus Abwasser gemeinsam zu „denken“. Ob tatsächlich immer die vollen Potenziale abgeschöpft werden können und es dadurch sinnvoll ist, beides gemeinsam zu implementieren, ist jeweils kritisch zu prüfen.

Diese Diskussion zeigt: Es ist wichtig, die Planung mit den anderen technischen Infrastrukturen, etwa Energie, abzustimmen. Besteht in einem Gebiet beispielsweise bereits eine Fernwärmeversorgung und soll diese dauerhaft aufrechterhalten oder ausgebaut werden, ist es sinnvoll, eine eventuelle punktuelle Wärmerückgewinnung aus Abwasser kritisch zu prüfen. Diese könnte nämlich unter Umständen zu Lasten der Effizienz des bestehenden Versorgungssystems gehen. Zudem ist die Einbindung der Abwasserwärme in bestehende Fernwärmenetze aufgrund von deren hohen Vorlauftemperaturen grundsätzlich schwierig – und wenn überhaupt, dann z. B. nur mittels Großwärmepumpen realisierbar.

Großwärmepumpen erreichen derzeit Vorlauftemperaturen von etwa 80°C, was für die Einbindung in Fernwärmenetze in vielen Fällen zu niedrig ist. In den

Wintermonaten liegen die Vorlauftemperaturen von Fernwärmenetzen häufig über 100°C, so dass der Betrieb einer Großwärmepumpe als nicht geeignet erscheint. In den Sommermonaten mit niedrigeren Vorlauftemperaturen ist der Einsatz von Großwärmepumpen grundsätzlich möglich. Andererseits ist durch die Umsetzung der Energieeinsparverordnung (EnEV) bzw. deren kontinuierliche Verschärfung ein rückläufiger Wärmebedarf insbesondere im Gebäudeneubau zu erwarten, der Anpassungen in Fernwärmenetzen wie z. B. Temperaturabsenkungen zur Folge haben kann. Dadurch verbessern sich die Einsatzbedingungen für Großwärmepumpen erheblich. Änderungen der Netzstruktur, beispielsweise die Entwicklung von Inselnetzen, können sich ebenfalls positiv auf die Einsatzbedingungen von Abwasserwärme auswirken (vgl. AGFW 2013).

Interdependenzen ergeben sich auch für die städtische Freiraumplanung. So kann Betriebswasser neben seiner häuslichen Nutzung auch für andere Zwecke eingesetzt werden: zur Landschaftsgestaltung etwa durch Wasserläufe im Quartier und Wasserflächen oder zum Erhalt und zur Stärkung der lokalen Grünflächen etwa durch Rückspeisung ins lokale Grundwasser oder zur Bewässerung während Hitzeperioden (vgl. Winker et al. 2017). Darüber ergeben sich trotz und explizit auch mit dem Klimawandel neue Möglichkeiten, städtische Grün- und Wasserflächen anders zu planen und zu betreiben. Hierfür ist es auch interessant, öffentliche und private Flächen „zusammenzudenken“.

In diesen Überlegungen ist es wesentlich, das kommunale Gemeinwohl im Blick zu behalten. Entscheidungen sollten nicht als Einzelfallentscheidungen für einzelne (Bau-)Grundstücke getroffen werden. Wichtig ist vielmehr, dass es eine kommunale Entscheidung gibt, welcher dann die gewählte technische Systemvariante folgt. Dies beinhaltet neben technischen (Zwischen-) Lösungen auch ein Konzept für Wartung und Betrieb. Damit ist auch immer für die Betreiber die Zugänglichkeit, gegebenenfalls auf privaten Grund, zu gewährleisten.

## Weiterentwicklung des planerischen Werkzeugs zur Berücksichtigung von Abhängigkeiten und Wechselwirkungen

Das Verhältnis von Wasserinfrastrukturen und baulich-räumlichen Strukturen ist durch verschiedene Abhängigkeiten und Wechselbeziehungen geprägt. Dieser Sachverhalt ist im Kern seit langem bekannt. So kann beispielsweise der spezifische Erschließungsaufwand (etwa als Meter Kanalisation je Einwohner) bei einem Anstieg oder Rückgang der Einwohnerdichte relational zu- oder abnehmen. Dies wirkt sich wiederum auf Kosteneffizienz und Preise aus. Für eine angemessene Dimensionierung von Infrastrukturen und die Erschließung von Baugebieten wurden daher in der Vergangenheit auch städtebauliche Orientierungswerte herangezogen. Je mehr sich jedoch Infrastrukturen und damit auch die kleinräumigen qualitativen und quantitativen Ausstattungsbedarfe ausdifferenzieren, desto weniger kann mit standardisierten Kennzahlen in der Planung gearbeitet werden (vgl. Libbe u. a. 2010). Stattdessen bedarf es einerseits einer räumlich-zeitlichen Priorisierung von Maßnahmen der Implementierung neuartiger Wasserinfrastrukturen und damit einer frühzeitigen Berücksichtigung im Planungsprozess. Andererseits ist eine sorgfältige Projektierung von Fall zu Fall nötig. Es empfiehlt sich, die dabei gemachten Erfahrungen laufend zu dokumentieren, um so sukzessive Planungsempfehlungen und Einzelschritte zu verfeinern.

### Literatur:

AGFW – Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V. (2013): Transformationsstrategien Fernwärme. TRAFO – Ein Gemeinschaftsprojekt von ifeu-Institut, GEF Ingenieur AG und AGFW. Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V., Forschung und Entwicklung, Heft 24, Frankfurt am Main.

DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (2014): Arbeitsblatt DWA A-272, Grundsätze für die Planung und Implementierung Neuartiger Sanitärsysteme (NASS), Hennef.

Libbe, J., H. Köhler und K. J. Beckmann (2010): Infrastruktur und Stadtentwicklung. Technische und soziale Infrastrukturen – Herausforderungen und Handlungsoptionen für Infrastruktur- und Stadtplanung. Herausgegeben vom Deutschen Institut für Urbanistik und der Wüstenrot Stiftung, Berlin (Edition Difu – Stadt Forschung Praxis, Bd. 10).

Löw, Katharina (2011): An innovative greywater treatment system for urban areas – International transferability of a German approach, installed in GIZ's headquarters in Eschborn, Nürtingen (Masterarbeit, HfWU – Nürtingen-Geislingen Universität), [http://www.susana.org/lang-en/library?view=ccbktyp\\_eitem&type=2&id=1469](http://www.susana.org/lang-en/library?view=ccbktyp_eitem&type=2&id=1469) (Letzter Abruf: 02.12.2016).

Veser, Susanne (2014): EVaSENS – Neue Wege der Abwassertrennung, in: BundesBauBlatt 7 – 8/2014. URL: [http://www.bundesbaublatt.de/artikel/bbb\\_EVaSENS\\_Neue\\_Wege\\_der\\_Abwassertrennung\\_2034427.html](http://www.bundesbaublatt.de/artikel/bbb_EVaSENS_Neue_Wege_der_Abwassertrennung_2034427.html) (Letzter Abruf: 31.08.2016).

Winker, M., J. Trapp mit J. Libbe und E. Schramm (2017): Wasserinfrastruktur: den Wandel gestalten. Technische Varianten, räumliche Potenziale, institutionelle Spielräume, Berlin (Edition Difu – Stadt Forschung Praxis).

Winker, M., S. Kunkel, A. Davoudi, J. Felmeden, H. Kerber, E. Schramm und J. H. Trapp (2014): Heat and water recovery from wastewater in a passive house – scaling up from building to district level. Proceeding, IWA World Water Congress & Exhibition, 21. – 26.09.2014, Lisbon, Portugal.

A photograph of a water treatment facility at sunset. The sky is a mix of orange, yellow, and blue. In the foreground, a long, narrow channel of water flows over a series of metal weirs, creating a series of small waterfalls. The water is a deep blue-green color. In the background, there is a large metal structure, possibly a bridge or a walkway, with a blue light fixture on top. The overall scene is industrial and serene.

# Kapitel E

## Inhaltsverzeichnis Kapitel E

---

E	Einleitung: Integrierte Bewertung innovativer Systemlösungen .....	146
E1	Entwicklung und Anwendung einer multikriteriellen Methode zur Nachhaltigkeitsbewertung von Wasserinfrastruktursystemen .....	148
E2	Nachhaltigkeitsrisiken – Gefährdung von Zielen der Siedlungswasserwirtschaft durch vielfältige Herausforderungen .....	154
E3	Bewertungsrahmen und -kriterien für die integrierte Bewertung neuartiger Wasserinfrastrukturen .....	158
E4	Risikoidentifikation – Wirkungspfadkonzept zur systematischen Erfassung von Nachhaltigkeitsrisiken der Siedlungswasserwirtschaft .....	162
E5	Multikriterielle mathematische Optimierung .....	166
E6	Methodische Ansätze zur Datenauswertung und Datenvisualisierung im NaCoSi-Nachhaltigkeitscontrolling .....	170
E7	Vergleich neuartiger und konventioneller Wasserinfrastruktur unter Einbindung von Stakeholdern – Erfahrungen aus den Projekten KREIS und TWIST++ .....	174
E8	Maßnahmen zur Bewältigung von Nachhaltigkeitsrisiken: Entwicklung mithilfe von szenariobasierten Planspielen .....	178
E9	Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung – Umfassende Bewertung als Entscheidungshilfe .....	182

**Autorin:**

Margarethe Langer

**Projekt:** INISnet

# E Einleitung: Integrierte Bewertung innovativer Systemlösungen

Multifunktionale Infrastrukturen zur Wasserversorgung und Abwasserentsorgung sowie Energie- und Nahrungsmittelproduktion bringen vielfältige Wechselwirkungen zwischen Teilsystemen und -prozessen mit sich. Dies erfordert zwingend, Ziele und Wirkungen von Handlungsoptionen übergreifend und integriert zu betrachten. Die hierfür notwendige, umfangreiche Datengrundlage, die komplexen Wirkungszusammenhänge und die möglichen Handlungsoptionen müssen zielgruppengerecht aufbereitet und anschaulich visualisiert werden, um vorhandenes Wissen zugänglich zu machen und in Entscheidungen einfließen zu lassen. Die multikriterielle Bewertung ist zentraler Bestandteil beim Umsetzen multifunktionaler und intelligenter Infrastruktursysteme. Ob es sich um das Management von Zukunftsrisiken, um die Wahl zwischen verschiedenen Systemlösungen und Technikoptionen oder um die Optimierung bzw. Steuerung von Anlagen und Verfahren handelt: Stets gilt es, eine Vielzahl von Faktoren zu erfassen und zwischen ihnen abzuwägen. In den Forschungsvorhaben kommen verschiedene Verfahren zum Einsatz. Oft besteht das Ziel darin, die „nachhaltigste“ Lösung zu finden; zum Teil wird eine Weiterentwicklung der Bewertungsverfahren angestrebt.

## Den Betrachtungshorizont erweitern

Die Funktionen heutiger Wasserinfrastruktursysteme reichen weit über die Erfüllung der originären Aufgaben, nämlich hygienisch einwandfreies Trinkwasser bereitzustellen und Abwasser und Regenwasser schadlos abzuleiten, hinaus. Auflagen mit Blick auf den Schutz der Gewässer, den Klimawandel, die Energiewende, demografische Veränderungen sowie das Streben nach mehr Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz stellen heute deutlich umfangreichere Ansprüche an die Wasserinfrastrukturen. Neben technischen und ökonomischen Aspekten spielen ökologische, soziale und gesundheitliche Faktoren eine immer größere Rolle. Wenn Entscheidungen über neuartige Infrastruktur-

systeme getroffen werden sollen, ist es außerdem unerlässlich, die mögliche Akzeptanz seitens der Nutzer und Betreiber zu berücksichtigen. Die Integrierbarkeit von neuen Systemen oder Komponenten in die herkömmlichen Strukturen sowie die zukünftige Anpassungsfähigkeit sind ebenfalls wichtige Einflussgrößen im Bewertungs- und Entscheidungsprozess. Gleichzeitig ist es erforderlich, die zu vergleichenden Systeme oder Maßnahmen über deren gesamten Lebenszyklus zu bilanzieren. Nur durch entsprechend ganzheitliche Betrachtungen kann gewährleistet werden, dass alle relevanten Effekte berücksichtigt werden.

## Mit den immer komplexeren Entscheidungssituationen angemessen umgehen

Entscheidungsträger der Siedlungswasserwirtschaft stehen vor immer komplexeren Entscheidungssituationen und vor der Herausforderung, ein sehr breites Spektrum an Gesichtspunkten bei der Entscheidungsfindung zu berücksichtigen. Intuitive Entscheidungen auf Basis impliziten Wissens reichen hierfür nicht aus. Es werden standardisierte Bewertungsverfahren benötigt, die die komplexen Zusammenhänge übersichtlich, aber hinreichend genau wiedergeben und die Quantifizierung der verschiedenen Wirkungen ermöglichen. Bevor ein Ergebnis aus der Bewertung hervorgehen kann, müssen zunächst zwei Festlegungen getroffen

werden: Sie betreffen das Ziel, das mit den Systemen oder Einzelmaßnahmen erreicht werden soll, und den Maßstab, mit dem sich die Zielerfüllung messen lässt. Mithilfe mathematischer Zusammenhänge lassen sich schließlich Wirkungen abbilden und quantifizieren. Gelingt der Spagat zwischen Datenmengen und -verfügbarkeit, Handhabbarkeit der Methode und Richtigkeit der Bewertungsergebnisse, bieten integrierte Bewertungsmethoden die Chance, die vielfältigen Wechselwirkungen, die mit einem Eingriff in die wasserwirtschaftlichen Infrastrukturen verbunden sind, in die Entscheidung mit einzubeziehen.

## Entscheidungen transparent gestalten

Die Möglichkeiten der Wasserwirtschaft, auf die neuen Anforderungen zu reagieren, sind vielfältig. Ebenso unterschiedlich sind die Interessen der zahlreichen beteiligten Akteure. Hieraus ergeben sich ein berechtigtes öffentliches Interesse und damit Forderungen nach mehr Transparenz und Nachvollziehbarkeit von Planungsentscheidungen. Eine standardisierte Bewertungsmethode zu befolgen, bietet hier den Vorteil, dass der Weg zur Entscheidung ein ganzes Stück weit dokumentiert und damit zu großen Teilen nachvollziehbar gemacht wird – auch wenn die Gewichtung von Einzelergebnissen für das Ableiten des Gesamtergebnisses sehr subjektiv sein kann.

Abhilfe kann hier schaffen, möglichst viele Beteiligte, Betroffene, Experten und Stakeholder zu berücksichtigen und anzuhören.

Bei weitreichenden Entscheidungsverfahren transparent vorzugehen, kann die Wahrnehmung der Akteure verändern. Damit lässt sich die Bereitschaft der Wasserwirtschaft, neue Wege zu beschreiten, erhöhen – und auch die Akzeptanz neuartiger Systeme und Maßnahmen bei den (potenziellen) Nutzern steigt.

#### Autoren und Autorin:

Christian Sartorius, Ilka Nyga,  
Peter Lévai und Thomas  
Hillenbrand

Projekt: TWIST++

## E1

# Entwicklung und Anwendung einer multikriteriellen Methode zur Nachhaltigkeitsbewertung von Wasserinfrastruktursystemen

## Hintergrund

Sich ändernde Rahmenbedingungen, damit einhergehende neue Herausforderungen für die Wasserwirtschaft sowie die geringe Flexibilität der bestehenden Wasser- und Abwasserinfrastrukturen erfordern es, nicht nur einzelne Komponenten, sondern die gesamten Infrastruktursysteme anzupassen und weiterzuentwickeln. In den vergangenen Jahren wurden in verschiedenen Projekten technische Lösungen hierfür entwickelt (vgl. die in den Kapiteln C und D aufgeführten Beispiele); deren Umsetzung ist jedoch noch nicht weit verbreitet. Eine Ursache hierfür könnte in der Unsicherheit über ihre Vor- und Nachteile bestehen. Diese Unsicherheit ist nicht nur in der Verwendung neuartiger technischer Komponenten begründet, sondern vor allem in deren komplexem Zusammenwirken und der Vielfalt der betroffenen Wirkungskategorien. Um sie zu reduzieren, galt es, im Projekt TWIST++ ein Bewertungsinstrument zu entwickeln, das es ermöglicht, verschiedene integrierte Konzepte der Wasserver- und Abwasserentsorgung mit dem zugehörigen Energie- und Schadstoffmanagement miteinander und mit den heute vorherrschenden konventionellen Alternativen zu vergleichen und dabei sehr unterschiedliche Bewertungsdimensionen einzubeziehen. So sollten nicht nur die üblichen Kriterien wie Umweltverträglichkeit, Wirtschaftlichkeit und gesundheitliche Unbedenklichkeit in die Bewertung eingehen, sondern auch solche, die die Akzeptanz bei den Anwendern, die Anpassungsfähigkeit bei sich verändernden Rahmenbedingungen und die Sicherheit im Störfall betreffen.

## Eine Methode zur umfassenden Bewertung von Wasserinfrastrukturen (MuBeWis)

Um neuartige Wasserinfrastrukturen – untereinander und mit konventionellen Wasserver- und Abwasserentsorgungskonzepten vergleichend – bewerten zu können, müssen sie hinsichtlich einer ganzen Reihe sehr unterschiedlicher Kriterien miteinander verglichen werden. Die DWA listet in ihrem Arbeitsblatt 272 (DWA 2015) entsprechende Kriterien auf. Auf dieser Grundlage – ergänzt um Anforderungen aus dem Bereich der Trinkwasserversorgung und vor dem Hintergrund der im Kontext des Projektes zu bewertenden Modellinfrastrukturen – wurde in TWIST++ ein System von Kriterien entwickelt, welches auf einem mehrstufigen Zielsystem aufbaut, das sich an den Anforderungen an die Infrastruktursysteme orientiert. Ökologische, sicherheitsrelevante, wirtschaftliche, soziale und technische Ziele stellen dabei die oberste Ebene dar, die im weiteren Verlauf den Anforderungen entsprechend weiter heruntergebrochen werden. Auf der Detailebene entsprechen die (Teil-)Ziele den Kriterien, denen zwecks Vergleichbarkeit bzw. Messung jeweils mindestens ein Indikator als quantifizierbare Messgröße zugeordnet werden muss. Bei einigen Kriterien, die aufgrund des derzeitigen Wissensstandes nicht oder zumindest nicht mit vertretbarem Aufwand quantitativ erfasst werden können, kommen Bonus-Malus-Systeme zum Einsatz, um auch qualitative Unterschiede zumindest teilweise zu quantifizieren. Sowohl Kriterien als auch Indikatoren sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Um verschiedene Infrastrukturen auf Basis dieser Vielzahl von Kriterien zu bewerten, kommt in TWIST++ die Nutzwertanalyse zum Einsatz. Unter einer Vielzahl unterschiedlicher Bewertungsverfahren erfüllt diese als multikriterielles Verfahren am besten die an die Bewertung im Projekt gestellten Anforderungen bezüglich Berücksichtigung unterschiedlicher Dimensionen, Transparenz des Vorgehens und Berücksichtigung des notwendigen Aufwandes für das Ermitteln der Eingangsdaten (vgl. Hein et al. 2015).

Im Rahmen der Nutzwertanalyse wird für jedes Kriterium mittels eines oder mehrerer Indikatoren zunächst der Beitrag zur jeweiligen Zielerreichung ermittelt. Daraus werden zum Zwecke der Vergleichbarkeit der Zielerreichungsgrad und mittels Transformationskurven jeweils der normalisierte Teilnutzwert berechnet. Schließlich werden die Teilnutzwerte gewichtet, um ihrer jeweiligen Bedeutung für eine Gesamtbewertung Rechnung zu tragen (vgl. Nyga et al. 2016).

Die Ermittlung der entsprechenden Gewichtungsfaktoren erfolgte mittels AHP-Methode (AHP = Analytical Hierarchy Process) auf der Grundlage einer Befragung von Betroffenen und Fachleuten. Auf der Basis dieser Gewichtungsfaktoren und der jeweiligen Teilnutzwerte können auf verschiedenen Aggregationsniveaus (Teil-) Nutzwerte berechnet werden, die einen direkten Vergleich der bewerteten Infrastrukturen ermöglichen. Zur besseren Einordnung der Bewertungsergebnisse wird jede alternative Wasserinfrastruktur im Vergleich zu einer Referenzinfrastruktur – in der Regel der konventionellen Infrastruktur vor Ort – bewertet. Werden einheitliche Annahmen insbesondere hinsichtlich der Systemgrenzen zugrunde gelegt, sind die Ergebnisse für verschiedene Infrastrukturen auch jenseits der jeweiligen Modellgebiete und Projekte vergleichbar.

Die so charakterisierte Methode zur umfassenden Bewertung von Wasserinfrastrukturen bezeichnen wir im Projekt TWIST++ ihrem Akronym entsprechend als MuBeWis. Die zugrunde liegende Zielhierarchie einschließlich der Kriterien, die verwendeten Indikatoren, die Transformationskurven, die Gewichtung sowie die Herangehensweise bei der Umsetzung der gesamten Bewertung sind im TWIST++-Arbeitspapier „Indikatoren zur Bewertung alternativer Wasserinfrastrukturen im Projekt TWIST++“ (Sartorius et al. 2016b) im Detail dargestellt.

	Kriterium	Indikatoren	Gewichtung (%)	Konventionell	i,WET
<b>1. Ökologische Ziele</b>			<b>22</b>	<b>0,49</b>	<b>0,63</b>
1,1	Nährstoffbelastung	N P	1,29 1,29	0,52 0,69	0,57 0,73
1,2	Ökotoxische Stoffe/Wasser	Cu Zn Diclophenac Terbutryn	0,77 0,77 0,77 0,77	0,2 0,19 0,39 0,17	0,37 0,29 0,39 0,17
1,3	Sauerstoffzehrende Substanzen	CSB	2,62	0,55	0,6
1,4	Ökotoxische Stoffe/ Boden	Cd Pb PAK	0,95 0,95 0,95	1 1 1	1,1 0,99 0,99
1,5	Emission Klimagase	THG-Äquivalente	2,44	0,51	0,98
1,6	Beeinflussung des Mikroklimas		1,91	0,5	0,5
1,7	Ressourcenverbrauch	Energie, Betriebsstoffe	2,52	0,5	0,76
1,8	Ressourcenrückgewinnung	P N H2O C (organisch)	0,02 0,03 2,28 0,05	0 0 0 0	0,01 0,01 0,27 0
1,9	Flächenverbrauch	rF-Wert	1,84	0,5	0,5
<b>2. Sicherheitsrelevante Ziele</b>			<b>26,7</b>	<b>0,9</b>	<b>0,9</b>
2.1a	Verkeimung/Hygiene	Gesamtkeimzahl, Coliforme KbE	22,8	0,9	0,9
2.1b	Geruch/Trübung	TON, NTU	3,92	0,9	0,87
<b>3. Ökonomische Ziele</b>			<b>16,4</b>	<b>0,46</b>	<b>0,52</b>
3,1	(Netto-)Kosten	Investition, Betrieb	8,9	0,42	0,46
3,2	Flexibilität, Systemwechselbereitschaft	Restbuchwert Nutzungsdauer	3,74 3,74	1 0	1 0,19
<b>4. Soziale Ziele</b>			<b>16</b>	<b>0,74</b>	<b>0,77</b>
4,1	Bequemlichkeit (Servicequalität)	Zeitaufwand	5,18	0,9	0,9
4,2	Wirtschaftliche Belastung	Besondere Belastungen	6,28	0,5	0,56
4,3	Belästigung	Anzahl Medien	4,49	0,9	0,9
<b>5. Technische Ziele</b>			<b>18,8</b>	<b>0,66</b>	<b>0,7</b>
5,1	Störungsanfälligkeit	Kapazitätsreserve Schadensanfälligkeit Spezifisches Know-how	1,53 1,53 1,53	0,5 0,5 0,8	0,8 0,6 0,6
5,2	Auswirkungen des Versagenszustandes	Anteil CSB im Gewässer	4,05	0,83	0,93
5,3	Löschwasserbereitstellung	Sicherer Anteil	3,89	1	1
5,4	Flexibilität bezüglich Rahmenbedingungen	Zu-/Rückbaubarkeit	3,65	0,3	0,4
5,5	Abhängigkeit	Anzahl/Intensität	2,61	0,5	0,4
<b>Gesamtbewertung</b>			<b>100</b>	<b>0,67</b>	<b>0,72</b>

Tabelle 1: Bewertung neuartiger Wasserinfrastrukturen am Beispiel des urbanen Modellgebietes in TWIST++.

Quelle: Sartorius et al. 2016a

## Anwendung der Bewertungsmethode MuBeWis in einem Modellgebiet von TWIST++

Um die Anwendbarkeit der Bewertungsmethode nachzuweisen, wurde sie im Projekt TWIST++ auf die dort bearbeiteten drei konkreten Modellgebiete angewendet, die beispielhaft für den urbanen Raum, eine ländliche Region und eine industrielle Konversionsfläche ausgewählt wurden (vgl. Beitrag D8). In der Tabelle sind beispielhaft die Ergebnisse für das urbane Modellgebiet aufgeführt. Kern der dort einzuführenden alternativen Infrastruktur ist das am Fraunhofer ISI entwickelte Konzept i.WET („integriertes WasserEnergieTransitions“-Konzept). Es sieht eine kombinierte (Wieder-) Verwertung von Regenwasser und behandeltem Grauwasser mit Wärmerückgewinnung und die Produktion von Bioenergie vor und wurde für Stadtquartiere im innerstädtischen Umfeld entwickelt (zu Details vgl. Beitrag D8).

Beim Vergleich der Teilnutzwerte zeigt sich, dass die alternative Infrastruktur der konventionellen in fast allen Belangen überlegen ist. Hinsichtlich der ökologischen Ziele kommt insbesondere zum Tragen, dass das Grauwasser mit seinen Verunreinigungen größtenteils in der Energieallee behandelt und damit die kommunale Kläranlage entlastet wird (Umweltschutz); außerdem werden Wasser und Nährstoffe wiederverwertet (Ressourcenschutz). Wirtschaftlich erweist es sich als Vorteil, dass i.WET die Umstellung auf eine konventionelle Trennkanalisation überflüssig macht und aufgrund der niedrigeren Nutzungsdauer eine flexiblere Reaktion auf sich verändernde Rahmenbedingungen erlaubt. Aus der durch die Betriebswassernutzung bedingten Einsparung von Trinkwasser ergibt sich für den Endnutzer, soweit die bisherigen Tarifstrukturen beibehalten werden, eine geringere wirtschaftliche Belastung, die zu einer höheren sozialen Akzeptanz führt. Aus technischer Sicht überwiegen die Vorteile bei Störungsanfälligkeit, Auswirkungen eines Versagens und Flexibilität den kleinen Nachteil seitens der Abhängigkeit von anderen Infrastrukturen. Allein hinsichtlich der Sicherheit schneidet die konventionelle Infrastruktur genauso gut ab wie die alternative, was angesichts der hohen Standards nicht verwundert.<sup>1)</sup>

1) Die aufgeführten Vorteile machen sich für die alternative Infrastruktur schon in dieser ersten Ausbaustufe, bei Einführung von i.WET in einzelnen Wohnblocks, bemerkbar. Weitere Vorteile kommen hinzu, wenn i.WET größere Verbreitung findet und dadurch zunächst die Schwemmkanalisation sukzessive zu einer Vakuumkanalisation umgebaut werden kann. Später ergibt sich durch das höher konzentrierte Restabwasser die Möglichkeit, die Kläranlage durch die verstärkte anaerobe Behandlung des Abwassers (Nutzung als Co-Substrat) und die Einführung einer Nährstoff-Rückgewinnung in ein Ressourcenzentrum zu verwandeln.

## Zusammenfassung und Ausblick

Der Bewertungsansatz MuBeWis ist in der Lage, Vor- und Nachteile verschiedener konventioneller wie alternativer Infrastrukturalternativen im Detail in quantitativer Form darzustellen und durch Normierung und die Einführung eines Gewichtungsfaktors vergleichbar zu machen. Außerdem erlaubt diese Vorgehensweise grundsätzlich die Aggregation zu einer Gesamtbewertung. Nachteil einer solchen Aggregation ist aber immer, dass dadurch wesentliche Detailinformationen verloren gehen. Die Gewichtungsfaktoren wurden im Projekt TWIST++ mittels der Methode des Analytical Hierarchy Process (AHP) auf Basis einer Befragung von Experten und Betroffenen ermittelt. Bei Veränderungen von Rahmenbedingungen oder veränderten Perspektiven und neuen Problemfeldern ist diese Gewichtung jeweils zu diskutieren und gegebenenfalls anzupassen. Dadurch, dass bei der Normierung häufig auf allgemeingültige Größen, z. B. auf deutschlandweite Durchschnittswerte, Bezug genommen wird, ist der Vergleich der Bewertungen im Prinzip nicht auf bestimmte Modellgebiete beschränkt, sondern kann über diese bzw. das Projekt TWIST++ hinaus erfolgen.

Durch Einbeziehen aller relevanten Bewertungskriterien (vgl. DWA-Arbeitspapier A 272) kann die Bewertung als umfassend angesehen werden. Von besonderer Bedeutung ist in diesem Zusammenhang die Bewertung der Anpassungsfähigkeit der Infrastrukturalternativen. Die konventionelle Wasserver- und Abwasserentsorgung weisen in dieser Beziehung aufgrund sehr langer Nutzungsdauern gegenüber neuartigen Alternativen oft Nachteile auf. In MuBeWis kommt dieser Aspekt zum Tragen, da er in der Bewertung explizit berücksichtigt wird.

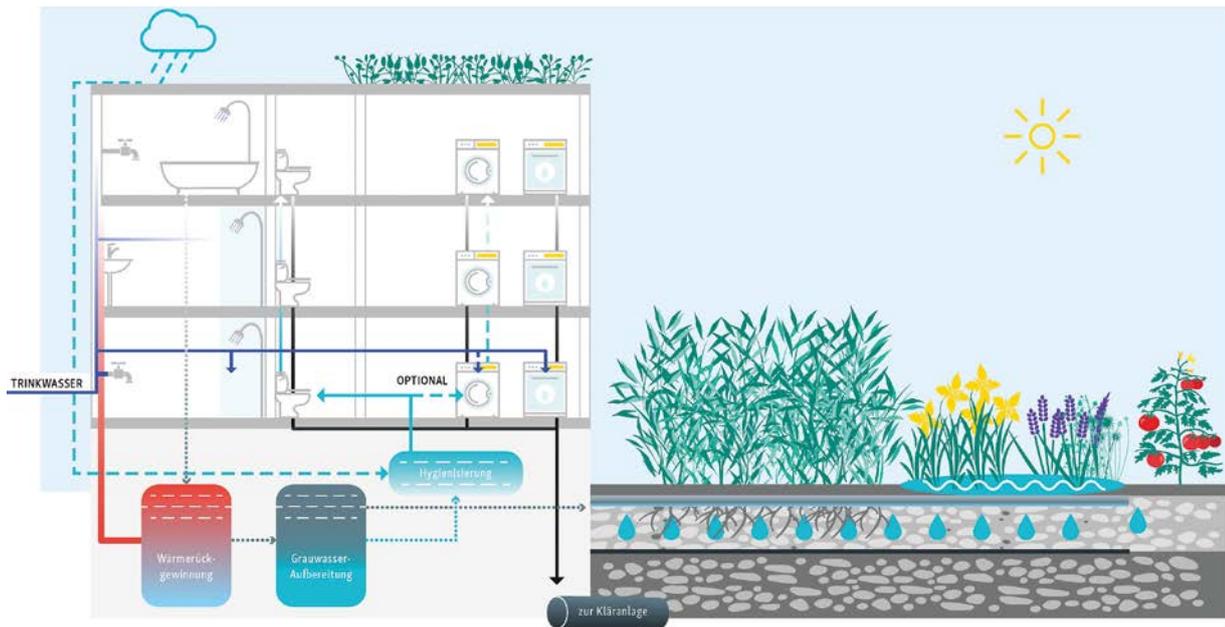


Abb. 1: Kombinierte (Wieder-)Verwertung von Regen- und Grauwasser mit Wärmerückgewinnung und der Produktion von Biomasse in i.WET.  
Quelle: Fraunhofer ISI

Die Systemgrenzen der Bewertung bestimmen sich durch die Art der zu bewertenden Infrastruktur. Sie können einerseits fallweise angepasst werden, so dass der Bewertungsaufwand, insbesondere auch der Aufwand zur Datenbeschaffung, sich reduzieren lässt. Andererseits ist die Einheitlichkeit der Systemgrenzen Voraussetzung dafür, dass Bewertungsergebnisse über Fall- oder Projektgrenzen hinweg miteinander verglichen werden können und damit das Potenzial von MuBeWis voll ausgeschöpft wird. Beide Argumente müssen vor einer Bewertung gegeneinander abgewogen werden.

Die Umstellung auf eine alternative Infrastruktur verläuft häufig entlang eines Transitionspfades, bei dem sich viele Vorteile nicht von Anfang an zeigen oder vorübergehend Nachteile in Kauf zu nehmen sind. In diesen Fällen sollte die Bewertung mit MuBeWis für verschiedene Umsetzungszeitpunkte erfolgen. Der langfristigen Perspektive ist dabei die gleiche Bedeutung beizumessen wie der mittel- und kurzfristigen.

#### Literatur:

DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (2015): Grundsätze für die Planung und Implementierung Neuartiger Sanitärsysteme. Arbeitsblatt 272 der DWA-Arbeitsgruppe KA-1.4 „Systemintegration“ im Fachausschuss „Neuartige Sanitärsysteme“, Hennef.

Hein, A., P. Lévai und K. Wencki (2015): Multikriterielle Bewertungsverfahren – Defizitanalyse und Entscheidungskriterien. Interner TWIST++-Zwischenbericht zu Teil-Arbeitspaket TAP 5.1.

Niederste-Hollenberg, J., E. Menger-Krug, U. Feldmann, E. Joel und T. Hillenbrand (2016): Transition von Wasserinfrastruktursystemen in Bestands- und Neuerschließungsgebieten in: Wasserwirtschaft Wassertechnik, Sonderausgabe Modernisierungsreport 2016/2017, S. 4 – 9.

Nyga, I., C. Sartorius und P. Lévai (2016): Multikriterielle Bewertung. Ergebnispapier Nichttechnische Arbeiten im Projekt TWIST++ – Transitionswege WasserInfraStruktursysteme, [http://www.twistplusplus.de/twist-wAssets/docs/Steckbriefe/nichttechnische\\_Arbeiten/Steckbrief\\_Bewertung\\_20160414\\_end\\_jnh2.pdf](http://www.twistplusplus.de/twist-wAssets/docs/Steckbriefe/nichttechnische_Arbeiten/Steckbrief_Bewertung_20160414_end_jnh2.pdf) (letzter Abruf: 24.10.2016).

Sartorius, C., E. Menger-Krug, J. Niederste-Hollenberg und T. Hillenbrand (2016a): Bewertung der alternativen Wasserinfrastruktur in Lünen (1. Ausbaustufe). Arbeitspapier zu AP 5, [http://www.twistplusplus.de/twist-wAssets/docs/Steckbriefe/nichttechnische\\_Arbeiten/Bewertung\\_Luenen\\_Stufe1\\_2016-11.pdf](http://www.twistplusplus.de/twist-wAssets/docs/Steckbriefe/nichttechnische_Arbeiten/Bewertung_Luenen_Stufe1_2016-11.pdf) (abgerufen am 04.04.2017).

Sartorius, C., T. Hillenbrand, P. Levai, I. Nyga, M. Schulwitz und F. Tettenborn (2016b): Indikatoren zur Bewertung alternativer Wasserinfrastrukturen im Projekt TWIST++. Arbeitspapier zu AP 5, [http://www.twistplusplus.de/twist-wAssets/docs/Steckbriefe/nichttechnische\\_Arbeiten/Indikatoren\\_Bewertung\\_2016-11.pdf](http://www.twistplusplus.de/twist-wAssets/docs/Steckbriefe/nichttechnische_Arbeiten/Indikatoren_Bewertung_2016-11.pdf) (abgerufen am 04.04.2017).

#### Autor und Autorinnen:

Stefan Geyler, Alexandra Lux  
und Gevitha Selvakumar

#### Projekt: NaCoSi

#### Literatur:

Beck, J., M. Eller, S. Geyler,  
M. Hedrich, R. Holländer,  
N. Jansky, H. Kerber, S. Krause,  
A. Lux, K. Möller, A. Sonnenburg,  
C. Tocha und W. Urban (2015):  
Nachhaltigkeitscontrolling in  
der Siedlungswasserwirtschaft,  
in: energie/wasser-praxis (4),  
S. 28 – 30.

Kerber, H., und A. Lux (2016):  
Zum Umgang mit Nachhaltig-  
keitsrisiken. Erste Ansätze für  
Maßnahmen aus dem Projekt  
NaCoSi, ISOE-Materialien Soziale  
Ökologie, 46, Frankfurt am Main.

NaCoSi-Projektverbund (2016):  
Leitfaden NaCoSi – Der Weg zum  
Nachhaltigkeitscontrolling in  
der Siedlungswasserwirtschaft,  
Projektverbund NaCoSi, Darm-  
stadt, Technische Universität  
Darmstadt, urn:nbn:de:  
tuda-tuprints-57112.

NaCoSi-Projektverbund (2014):  
Nachhaltigkeitsziele und Risiken  
für siedlungswasserwirtschaft-  
liche Unternehmen. Erste Bau-  
steine für ein Nachhaltigkeitscon-  
trolling, Projektverbund NaCoSi,  
ISOE-Diskussionspapiere, 37,  
Frankfurt am Main (online ver-  
fügbar unter [www.nacosi.de](http://www.nacosi.de))

## E2

# Nachhaltigkeitsrisiken – Gefährdung von Zielen der Siedlungswasserwirtschaft durch vielfältige Herausforderungen

Die Siedlungswasserwirtschaft musste sich schon immer an neue Rahmenbedingungen anpassen, beispielsweise an die Siedlungsentwicklung und rechtliche Anforderungen. In jüngster Vergangenheit gewannen jedoch einige Rahmenbedingungen an Dynamik, zum Beispiel der demografische Wandel und Klimaveränderungen. Es ist zu erwarten, dass hierdurch und durch weitere Ursachen die Herausforderungen an die Siedlungswasserwirtschaft deutlich zunehmen. Auch wenn die damit verbundenen Konsequenzen noch unsicher sind, stellen sie Risiken für die nachhaltige Entwicklung der Leistungserbringung dar.

Das BMBF-Verbundprojekt „NaCoSi – Nachhaltigkeitscontrolling siedlungswasserwirtschaftlicher Systeme – Risikoprofil und Steuerungsinstrumente“ unterstützte Aufgabenträger darin, derartigen Nachhaltigkeitsrisiken proaktiv zu begegnen – gerade weil sich Anpassungsprozesse in der Siedlungswasserwirtschaft nur langsam vollziehen und strukturelle Fehlentscheidungen langfristig nachwirken.

NaCoSi hat ein praxisnahes Instrument zum Nachhaltigkeitscontrolling entwickelt, mit dessen Hilfe die Unternehmen Risiken identifizieren, analysieren sowie Entwicklungen im Rahmen eines Monitorings nachvollziehen und anschließend Maßnahmen zur Risikominderung erarbeiten können.

Um mögliche zukünftige Fehlentwicklungen schon gegenwärtig als Risiken wahrzunehmen, müssen sich die Aufgabenträger sowohl ihrer Ziele als Trinkwasserversorger und Aufgabenträger der Abwasserbeseitigung bewusst sein als auch der Ursachen solcher Fehlentwicklungen. So wie betriebliche Risiken aus dem Verfehlen unternehmerischer Ziele erwachsen, entstehen Nachhaltigkeitsrisiken aus dem Verfehlen von Nachhaltigkeitszielen und den sich hieraus ergebenden Folgen für die Aufgabenträger.

Im Folgenden wird ein Überblick über diejenigen Ziele und Hauptursachen gegeben, die im unternehmensunabhängigen Analysegerüst für das Nachhaltigkeitscontrolling einbezogen wurden. Ziel des Beitrags ist es, deren Vielfalt zu illustrieren und vor diesem Hintergrund für eine systematische Berücksichtigung zu sensibilisieren.

## Nachhaltigkeitsziele

Siedlungswasserwirtschaftliche Unternehmen verfolgen in ihrer Unternehmensstrategie vielfältige Ziele. Die im Nachhaltigkeitscontrolling berücksichtigten Ziele (die „Nachhaltigkeitsziele“) orientieren sich am „Fünf-Säulen-Modell“ der Wasserwirtschaft sowie an grundlegenden sektoralen Nachhaltigkeitskonzeptionen. Hierbei werden langfristige Perspektiven der Siedlungswasserwirtschaft betont. Dieser Zielkatalog (siehe Abbildung 1) wurde in einer breit angelegten Diskussion von Forschungs- und Praxispartnern innerhalb des Projekts gemeinsam erarbeitet (vgl. NaCoSi-Projektverbund 2014).

Berücksichtigt wurde dabei auch, dass die Siedlungswasserwirtschaft Teil der öffentlichen Daseinsvorsorge ist. Somit werden Wasserdienstleistungen nicht allein im wirtschaftlichen Interesse erbracht, sondern sind auch an gesellschaftliche Vorgaben gebunden.

Zu externen Randbedingungen gehören beispielsweise:

- rechtliche Vorgaben, wie z. B. die Einhaltung von rechtlichen Qualitätsanforderungen in der Abwasserbeseitigung und der Trinkwasserversorgung, sowie die Berücksichtigung des Stands der Technik,
- politische Vorgaben, wie die Erschwinglichkeit von Entgelten.



Abb. 1: Nachhaltigkeitsziele und -kategorien.

Quelle: Projektverbund NaCoSi 2014

Unternehmen setzen sich aber auch interne Ziele, z. B. bezüglich der Unternehmenskultur, der Innovations- und Anpassungsfähigkeit der Betriebe oder des langfristigen Substanzerhalts von Netzen und Leitungen.

Für das Nachhaltigkeitscontrolling werden die Nachhaltigkeitsziele in fünf Kategorien zusammengefasst:

- Umwelt und Ressourcen,
- Organisation und Technik,
- Mitarbeitende,
- gesellschaftliche Verantwortung,
- Entwicklungsfähigkeit.

Die Zielkategorie „Umwelt und Ressourcen“ umfasst zum einen die verbindlichen Aufgaben der Siedlungswasserwirtschaft in Bezug auf den Umweltschutz, zum anderen die von den Unternehmen darüber hinaus verfolgten Bestrebungen zum effizienten Umgang mit Umweltressourcen.

Die Zielkategorie „Organisation und Technik“ vereint solche organisatorischen, technischen und wirtschaftlichen Ziele, welche sich unternehmensintern an die Leistungserbringung stellen. Zugeordnet sind die Ziele Prozessqualität, Wirtschaftlichkeit und Steuerbarkeit des Unternehmens.

## Hauptursachen für Nachhaltigkeitsrisiken

Vielfältige Entwicklungen können – alleine oder im Zusammenwirken mit weiteren Ursachen – dazu führen, dass Nachhaltigkeitsziele nicht erreicht werden und Risiken für den Aufgabenträger entstehen. Übersicht 1 listet relevante Ursachen und Beispiele dazu auf. Unternehmensexterne wie -interne Entwicklungen können Nachhaltigkeitsrisiken begründen.

Die Zielkategorie „Mitarbeitende“ befasst sich mit der Unternehmenskultur und dem Kompetenzpotenzial innerhalb eines Unternehmens. Art und Ausgestaltung des sozialen Miteinanders sowie die Kompetenzen der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter bestimmen hier die Zielerreichung.

Die Zielkategorie „gesellschaftliche Verantwortung“ beinhaltet Ziele, welche auf private und gewerbliche Kunden der Ver- und -entsorgung ausgerichtet sind bzw. die Verankerung des Unternehmens in die regionale Wirtschaft und Entwicklung betreffen. Zentrale Ziele sind die Leistungsqualität (z. B. die unterbrechungsfreie Versorgung mit sauberem Trinkwasser), auf Akzeptanz ausgerichtete Geschäftspraktiken, erschwingliche und gerechte Entgelte sowie schließlich die Einbettung in die regionale Wirtschaft und gesellschaftliche Diskurse.

Die Zielkategorie „Entwicklungsfähigkeit“ fasst Nachhaltigkeitsziele zusammen, welche strategische Entscheidungen mit zukünftigen, zum Teil langfristigen Konsequenzen leiten. Es geht um Fähigkeiten im Umgang mit absehbaren Veränderungen und zugleich um die Vorbereitung des Unternehmens auf unvorhersehbare Entwicklungen. Hierfür umfasst die Kategorie die Nachhaltigkeitsziele Refinanzierbarkeit, Innovations- und Anpassungsfähigkeit sowie Robustheit.

Externe von internen Ursachen trennscharf abzugrenzen, ist nicht immer möglich. Beispielsweise können bei mangelnder Verfügbarkeit von Finanzmitteln unternehmensinterne Ursachen der Vergangenheit zugrunde liegen, aber auch kommunalpolitische Vorgaben im Zuge der Entgeltgestaltung hineinwirken.

	Ursachenkategorie	Beispiele potenzieller Ursachen
Externe Ursachen	Umwelt	Klimawandel, zunehmende Wetterextreme Schadstoffkonzentrationen in der Umwelt (Mikroschadstoffe in Gewässern) Bewirtschaftungsintensität in der Landwirtschaft (Nitrat-, Phosphorbelastung, Rückstände aus der Schädlingsbekämpfung)
	Gesellschaft	Demographischer Wandel Siedlungsstrukturelle Entwicklungen Verändertes Verbraucherverhalten
	Recht	Veränderungen beim Rechtsrahmen (Klärschlamm Entsorgung, 4. Reinigungsstufe, IT-Sicherheit) Politische Richtungswechsel nach Kommunalwahlen
Interne Ursachen	Wirtschaft	Fachkräfteangebot, Arbeitsmarkt Energiepreisentwicklung Kapitalverfügbarkeit (Gewinnrücklagen, Kapitalmarktbedingungen, Bonität) Regionale Kooperationen in der Infrastrukturentwicklung
	Organisation	Outsourcinggrad Auf- und Ausbau von Fachkompetenzen, Mitarbeiterführung u.a.
	Technik	Qualität und Abnutzung der bestehenden technischen Strukturen und Systeme Alter von Aggregaten und Pumpen

Übersicht 1: Hauptursachen für Nachhaltigkeitsrisiken – Beispiele. Quelle: Eigene Darstellung

## Fazit

Vor dem Hintergrund der Vielfalt von Nachhaltigkeitszielen und möglichen Ursachen von Nachhaltigkeitsrisiken ist es für Unternehmen wichtig, sich auf die wesentlichen Risiken zu konzentrieren. Wesentlich sind Risiken hinsichtlich solcher Ziele, deren Verfehlung sich stark negativ auf das Unternehmen auswirkt und die zugleich mit hoher Wahrscheinlichkeit von den dargestellten Ursachen beeinflusst werden (können). Die systematische Suche nach den wesentlichen Nachhaltigkeitsrisiken wird durch das Nachhaltigkeitscontrolling des NaCoSi-Projekts unterstützt.

In der Zusammenarbeit mit den NaCoSi-Praxispartnern zeigte sich: Demografische Faktoren und zu erwartende Änderungen in der Gesetzeslage werden häufig als wichtige externe Ursachen für Nachhaltigkeitsrisiken angesehen. Diese externen Risiken überlagern sich in ihrer Problematik mit dem deutlichen Handlungsbedarf zum Erhalt bestehender Infrastruktur, den die Praxispartner ebenfalls als wichtig einschätzen.

Vor dem Hintergrund von technischen, finanziellen und organisatorischen Restriktionen (z. B. Abnutzungsgrad der Systeme, enge finanzielle Spielräume und

rechtliche Grenzen öffentlich-rechtlicher Leistungserbringung) beeinträchtigen die Ursachenkomplexe gemeinsam auf vielfältige Weise die Ziele der Siedlungswasserwirtschaft (etwa Refinanzierbarkeit, Wirtschaftlichkeit, Leistungsqualität gegenüber Kunden). Zugleich variieren die Ursachen regional zum Teil erheblich – dies sowohl hinsichtlich der Ausprägungen der demografischen Trends und des Handlungsdrucks zum Erhalt der Systeme als auch bezüglich des Ausmaßes, in welchem Aufgabenträger von Gesetzesänderungen (z. B. Regelungen zur Klärschlammverwertung und Einführung der vierten Reinigungsstufe in Kläranlagen) betroffen sind.

Bei Ursachenanalyse, Risikobewertung und den zu ergreifenden Maßnahmen kann daher nicht auf Standardantworten zurückgegriffen werden. Hier setzt das in NaCoSi entwickelte Nachhaltigkeitscontrolling an:

Zum einen ermöglicht die Eintrittswahrscheinlichkeit der Ursachen und das mit einem Eintritt zu erwartende Schadensausmaß eine Analyse der Unterschiede (vgl. Beiträge E6 und E4). Zum anderen wurde ein Verfahren zur unternehmensspezifischen Maßnahmenentwicklung erarbeitet (vgl. E8).

#### Autoren:

Jörg Felmeden, Bernhard Michel und Martin Zimmermann

Projekt: netWORKS 3

#### Literatur:

Felmeden, J., T. Kluge, M. Koziol, J. Libbe, B. Michel und U. Scheele (2010): Öko-Effizienz kommunaler Wasser-Infrastrukturen. Bilanzierung und Bewertung bestehender und alternativer Systeme (netWORKS-Papers Nr. 26), Berlin.

Felmeden, J., B. Michel und M. Zimmermann (2017): Integrierte Bewertung neuartiger Wasserinfrastruktursysteme (netWORKS-Papers Nr. 32), Berlin.

Kluge, T., und J. Libbe (Hrsg.) (2010): Transformationsmanagement für eine nachhaltige Wasserwirtschaft. Handreichung zur Realisierung neuartiger Infrastrukturlösungen im Bereich Wasser und Abwasser, Berlin.

Kluge, T., und E. Schramm (2011): Wassermärkte der Zukunft: Systemische Innovationen – weltweit, München.

Schramm, E., T. Kluge, S. Beck, B. Hansjürgens, H. Hiessl und C. Sartorius (2013): Integrierte Systemlösungen als Strategie für eine nachhaltige und exportstarke Wasserwirtschaft, in: Wasser Abf. 1 – 2 (2013), S. 39 – 44.

## E3

# Bewertungsrahmen und -kriterien für die integrierte Bewertung neuartiger Wasserinfrastrukturen

## Einleitung

Derzeitige Wasserinfrastrukturen bedürfen einer Anpassung bzw. Transformation, um gegen Herausforderungen wie den demografischen Wandel, den Klimawandel oder Mikroverunreinigungen gewappnet zu sein und ihre Energie- und Ressourceneffizienz zu verbessern (vgl. Schramm et al. 2013). Konventionelle Wasserinfrastrukturen scheinen aufgrund ihrer Pfadabhängigkeiten, hohen Investitionen und Abschreibungsperioden angesichts sich wandelnder Rahmenbedingungen weniger anpassungsfähig zu sein. Im Gegensatz dazu haben weniger zentralisierte und damit flexiblere Systeme das Potenzial, sich besser an Veränderungen des Klimas, der Demografie oder auch von Nutzungsmustern anzupassen (vgl. Felmeden et al. 2010). Eine Diversifizierung lokaler Wasserressourcen erlaubt es Städten, ihre Versorgungsvulnerabilität zu reduzieren und ihre Resilienz zu stärken (vgl. Kluge/Libbe 2010). Technologische Innovationen, z. B. die getrennte Ableitung, Behandlung und stofflich-energetische Nutzung verschiedener Abwasserströme, können zur Reduktion des ökologischen Fußabdrucks beitragen (vgl. Kluge/Schramm 2011). Trotz dieser Vorteile wurden derartige Systeme in Deutschland bisher nur in Einzelfällen umgesetzt.

Wie können verschiedene Optionen neuartiger und konventioneller Wasserinfrastruktursysteme bewertet werden, und welche (räumlichen) Randbedingungen sind zu berücksichtigen? Um diese Fragen zu beantworten, wurde ein entsprechender Bewertungsrahmen entwickelt; sein Ziel: aus ausgewählten technischen Optionen diejenige mit den günstigsten Rahmenbedingungen und Auswirkungen für eine Transformation zu identifizieren. Dabei wurde ein umfassendes und mehrdimensionales Verständnis von Nachhaltigkeit angewendet (vgl. Felmeden et al. 2017).

Bewertungsebenen			
	1	2	3
Räumlicher Bezug	Modellgebiete	Modellstädte	Regionstypen
Grundlegende Fragestellung	Welche technische Systemvariante ist im jeweiligen Modellgebiet vergleichsweise am besten geeignet?	Wie sind die Umsetzungsbedingungen der Systemvarianten/-module auf städtischer Ebene zu bewerten?	Welche generellen Transformationspotenziale haben die Systemvarianten/-module auf regionaler Ebene?
Zeitlicher Bezug	kurzfristig	mittelfristig	langfristig
Zielsetzung	Projektierungen	Konzepte	Strategien/Leitbilder
Adressaten	Politische Entscheidungsträger; Stadtverwaltung; Investor/Bauherrn; Ver-/Entsorgungsbetriebe	Politische Entscheidungsträger; Stadtverwaltung; Ver-/Entsorgungsbetriebe	Politische Entscheidungsträger; Fachverwaltungen; Fach- und Kommunalverbände; Wirtschaft; Wissenschaft

Übersicht 1: Bewertungsebenen und räumlicher Bezug.

Quelle: Forschungsverbund netWORKS

## Bewertungsrahmen

Der Rahmen für die Bewertung wird durch das gewählte Bewertungsverfahren und die relevanten Bewertungskriterien sowie durch den räumlichen Bezug der Maßnahmen definiert:

- Bewertungsebene 1: Modellgebiete
- Bewertungsebene 2: Modellstädte
- Bewertungsebene 3: Regionstypen

Adressaten, grundlegende Fragestellungen und Zielsetzungen der Bewertung sind jeweils unterschiedlich (siehe Übersicht 1).

Der Bewertungsrahmen umfasst zudem die Bewertungsaspekte „Auswirkungen der Transformation“ und „Anforderungen an die Transformationsprozesse“ (siehe Übersicht 2). Sie enthalten jeweils mehrere Bewertungskategorien.

Im Rahmen eines Stakeholder-Dialogs wurden insgesamt sieben Bewertungskategorien definiert: Technik, Ökologie, Ökonomie, Soziales, Organisation, Governance und Recht. Diese übergeordneten Kategorien konkretisieren sich in jeweils unterschiedliche Bewertungskriterien und Indikatoren mit entsprechenden Dimensionen. Zum Bewertungsaspekt „Auswirkungen der Transformation“ gehören die Bewertungskategorien Technik, Ökologie, Ökonomie und Soziales mit insgesamt 20 Kriterien (siehe Übersicht 3). Zum Bewertungsaspekt „Anforderungen an den Transformationsprozess“ gehören die Bewertungskategorien

Organisation, Governance und Recht mit insgesamt elf Kriterien (siehe Übersicht 4).

Die beiden Bewertungsaspekte (Auswirkungen und Anforderungen) sind getrennt voneinander zu betrachten, da die Kriterien bezüglich der Anforderungen an den Transformationsprozess innerhalb der Kategorien Organisation, Governance und Recht für technische Systemvarianten, die den Status quo beschreiben, grundsätzlich positiver zu bewerten sind als für neuartige Systemvarianten. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der zu bewertende „Aufwand“ im Status quo (Referenzsystem) generell geringer ist, weil „nur“ Optimierungen des vorhandenen Systems vorgenommen werden und keine systemischen Umbrüche (Transformation der zentral ausgerichteten in semi-/dezentrale Strukturen) stattfinden.

Bewertungskategorien	Bewertungsaspekte
Technik Ökologie Ökonomie Soziales	Auswirkungen der Transformation
Organisation (Technik) Governance (Planung) Recht	Anforderungen an den Transformationsprozess

Übersicht 2: Bewertungsaspekte und zugeordnete

Bewertungskategorien. Quelle: Forschungsverbund netWORKS

Kategorie/Handlungsfelder	Kriterien	Indikatoren	Dimensionen
<b>Technik</b>			
Integrierbarkeit	Auswirkung auf den Bestand	Anpassungsbedarf der bestehenden Wasser-/ Gebäudeinfrastrukturen	gering, mittel, hoch
	Synergiepotenzial	Synergiepotenzial mit anderen Infrastrukturen und bezüglich EE (Abwärme, Gebäudekühlung, Biogas etc.)	hoch, mittel, gering
Anpassungsfähigkeit	Flexibilität	Flexibilitätsgrad hinsichtlich Veränderungen bei Klima, Demografie, Gesetze, Nutzungsmuster etc.	hoch, mittel, gering
Betriebssicherheit/ -robustheit"	Prozessstabilität	Einfluss extremer Ereignisse (z. B. Starkregen, Abwasserreduktion, Stromausfall, Vandalismus)	gering, mittel, hoch
		Auswirkungen bei Versagen einzelner Systemkomponenten (Resilienz)	gering, mittel, hoch
<b>Ökologie</b>			
Ressourcenschutz	Lokale Ökosystemfunktionen	Beitrag zu Erzeugung, Erhalt und Stärkung blauer und grüner Infrastrukturen	hoch, mittel, gering
	Gewässerschutz (Oberflächengewässer)	Verminderung des Eintrags von Nährstoffen (N, P) und ökotoxikologischen Stoffen	hoch, mittel, gering
	Boden-/Grundwasserschutz	Verminderung des Eintrags von ökotoxikologischen Stoffen	hoch, mittel, gering
	Energie und Klimaschutz	Emission klimarelevanter Gase (CO <sub>2</sub> -Äquivalente)	t/a
Ressourcennutzung	Ressourcenbilanz	Trinkwasserbedarf	m <sup>3</sup> /a
		Strombedarf	MWh/a
		Wärmerückgewinnung	MWh/a
<b>Ökonomie</b>			
Ver-/Entsorgungsunternehmen, Investoren	Kosten	Jahreskosten	1.000 €/a
	Einnahmen	potenzielle Einnahmen aus NASS-Produkten	1.000 €/a
	langfristige Wettbewerbsfähigkeit, Innovationsführerschaft	Auswirkungen auf Image und Know-How	hoch, mittel, gering
	Systemwechselfähigkeit (Flexibilität)	Dauer der AfA-Abschreibung	gering, mittel, hoch
Investoren, Bewohner	Wirtschaftlichkeit	Auswirkungen auf spezifi. Kosten (Kalt-/Warmmiete)	gering, mittel, hoch
<b>Soziales</b>			
Exklusion	sozio-ökonomische, kulturelle Barrieren	Exklusionsrisiko	gering, mittel, hoch
Gebrauchsfähigkeit, Alltagstauglichkeit	Handhabbarkeit	Bedienkomfort für Betreiber und Bewohner	hoch, mittel, gering
Umweltbewusstsein	Sensibilisierung bezüglich Ressourcennutzung (Wasser, Energie)	Sensibilisierungspotenzial (Bewohner, Betreiber, Investor, Politik)	hoch, mittel, gering

Übersicht 3: Bewertungsmatrix der Auswirkungen der Transformation.

Quelle: Forschungsverbund netWORKS

Kategorie/Handlungsfelder	Kriterien	Indikatoren	Dimensionen
<b>Organisation (Technik)</b>			
Organisationsform/-strukturen	Anpassung / Neuentwicklung	Anpassungsaufwand Organisation	gering, mittel, hoch
Betrieb	Kompetenz (Arbeitsabläufe, Kundenbetreuung, Technisches Know-how)	Anpassungsaufwand, Qualifikationsbedarf	hoch, mittel, gering
Sektorübergreifende Koordination	Transaktionsaufwand	Abstimmungsaufwand (Trinkwasser, Löschwasser, Energie, Stadtplanung, Verkehr, Abfall, Grünflächenmanagement, Investor etc.)	hoch, mittel, gering
<b>Governance (Planung)</b>			
Leitbilder; Entwicklungskonzepte; Prozesse	Räumliche/infrastrukturelle Leitbilder	Synergiepotenzial (Raumordnung, Regionalplanung, Stadtentwicklung, Energie, Wasser, Abfall etc.)	hoch, mittel, gering
	Einbeziehung relevanter Stakeholder (Politische Entscheidungsträger, fachliche Akteure, Interessengruppen, allgemeine Öffentlichkeit)	Abstimmungsbedarf; Überzeugungsaufwand	gering, mittel, hoch
	Unternehmerisches Wagnis	regulatorisches Risiko	gering, mittel, hoch
<b>Recht</b>			
EU-Recht; Bundesrecht	RL 91/271/EWG; GG; WHG; BauGB; ROG; KWKG; EEWärmeG; TrinkVO; AVBen	Gesetzesänderungsbedarf	gering, mittel, hoch
Landesrecht	LWWaG; GemO; LBauO; KAG	Gesetzesänderungsbedarf	gering, mittel, hoch
Kommunalrecht	FLPl; B-Plan; Satzungen	Anpassungsaufwand	gering, mittel, hoch
Verträge	Städtebaulicher Vertrag; öffentlich-rechtliche / privatrechtliche Verträge	Anpassungsaufwand	gering, mittel, hoch
Stand der Technik	Fachliche Normen und Standards	Anpassungsaufwand	gering, mittel, hoch

Übersicht 4: Bewertungsmatrix der Anforderungen an den Transformationsprozess.

Quelle: Forschungsverbund netWORKS

Die Bewertung von technischen Systemvarianten auf Ebene der Modellstädte Frankfurt am Main und Hamburg (Bewertungsebene 2) beruht auf den Ergebnissen der vergleichenden Bewertung der modellgebiets-spezifischen technischen Systemvarianten (hier mittels Nutzwertanalyse) in diesen Modellstädten. Die Bewertungsergebnisse in den Modellgebieten (Bewertungsebene 1) zeigen generell: Die unterschiedlichen Systemvarianten liegen in ihren Nutzwerten häufig sehr nahe beieinander, und die Systemvarianten mit Komponenten neuartiger Wasserinfrastrukturen schneiden insbesondere bei der Betonung ökologischer und sozialer Kriterien besser ab. Während aufgrund der relativ geringen Auswirkungen der Systemveränderungen in

den Modellgebieten die gesamtstädtischen Auswirkungen weitgehend unberücksichtigt bleiben, ist in der Bewertungsebene 2 von beachtlichen technischen, wirtschaftlichen, ökologischen und sozialen Auswirkungen auf die gesamtstädtische Wasserinfrastruktur in Form von externen Effekten auszugehen.

Die Bewertungsebene 3 (Regionstypen) konzentriert sich auf die Frage des spezifischen Innovationsbedarfs und Transformationspotenzials mit Fokus auf dünnbesiedelte und schrumpfende ländliche Regionen. Dabei werden auch potenzielle Auswirkungen auf die regionale Entwicklung in die Bewertung einbezogen.

Autoren:

Michael Eller und Malte Hedrich

Projekt: NaCoSi

## E4

# Risikoidentifikation – Wirkungspfadkonzept zur systematischen Erfassung von Nachhaltigkeitsrisiken der Siedlungswasserwirtschaft

Siedlungswasserwirtschaftliche Unternehmen stehen vor zunehmenden Risiken, die beispielsweise aus demografischen, klimatischen oder institutionellen Veränderungen resultieren (vgl. auch Beitrag B2). Das im Projekt NaCoSi entwickelte Nachhaltigkeitscontrolling dient dazu, Risiken in Bezug auf eine nachhaltige Entwicklung von Unternehmen der Siedlungswasserwirtschaft abzubilden. Generell entstehen Risiken dort, wo unternehmerische Ziele verfehlt werden. Dementsprechend entstehen Nachhaltigkeitsrisiken aus dem Verfehlen von Nachhaltigkeitszielen und deren Folgen für das Unternehmen. Um diesen Nachhaltigkeitsrisiken begegnen zu können, bietet das Nachhaltigkeitscontrolling eine geeignete Methodik zu deren systematischer Identifikation, Analyse, Bewertung, Überwachung und Kontrolle.

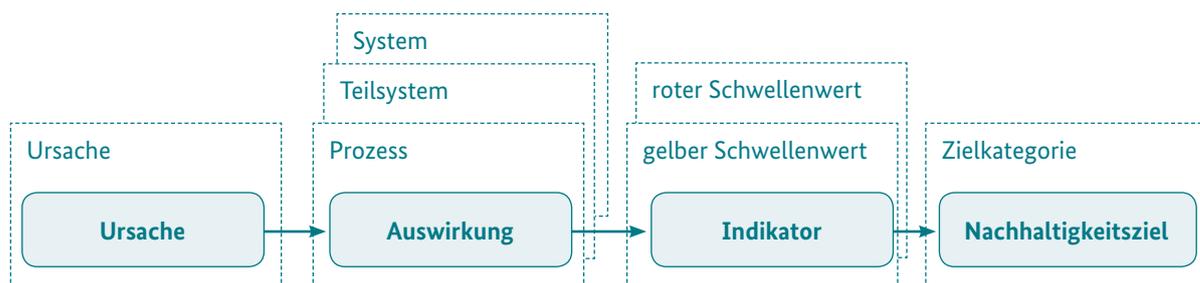


Abb. 1: Struktur der linearen Wirkungspfade.

Quelle: Eigene Darstellung

Die Risikoidentifikation – also das Erfassen von Risiken sowie die Beschreibung ihrer Art, ihrer Ursachen und Auswirkungen – spielt hierbei eine wichtige Rolle, da nur frühzeitig identifizierte Risiken effektiv kontrolliert werden können. Die unternehmerische Risikosituation in der Siedlungswasserwirtschaft wie auch in anderen Infrastrukturbereichen ist sehr komplex. Eine Ursache kann sich nämlich vielfältig auswirken, und eine bestimmte Auswirkung kann vielerlei Ursachen geschuldet sein. Diese Kausalzusammenhänge ergeben ein Wirkungsgeflecht, das nur schwer in Gänze erfasst und analysiert werden kann. Um Risiken zu identifizieren, entwickelte das INIS-Projekt NaCoSi vor dem Hintergrund der komplexen Risikosituation ein Wirkungspfadkonzept. Dieses ermöglicht, die in dem beschriebenen Wirkungsgeflecht enthaltenen, für die Unternehmen relevanten Risiken systematisch zu ermitteln. Die Ursache-Wirkung-Beziehungen werden dabei als einzelne, lineare Wirkungspfade erfasst.

Hierbei wird jeder Ursache genau eine Auswirkung bzw. jeder Auswirkung genau eine Ursache zugeordnet. Hat eine Ursache mehrere Auswirkungen oder vice versa, werden diese in gesonderten Wirkungspfaden erfasst. Jeder Wirkungspfad wird zudem einem Nachhaltigkeitsziel zugeordnet, welches durch diesen Wirkungspfad gefährdet ist. Die Struktur der linearen Wirkungspfade ist in Abbildung 1 dargestellt.

Die **Ursache** eines Nachhaltigkeitsrisikos ist das letzte Ereignis in einer Kausalkette, welches eine Auswirkung im System Siedlungswasserwirtschaft nach sich zieht. Ursachen können systemintern oder -extern sein. Jede Ursache wird einer **Ursachenkategorie** zugeordnet: Umwelt, Gesellschaft, Recht, Wirtschaft, Organisation, Technik. Diese dienen der Systematisierung der Wirkungspfade und erweitern die späteren Auswertemöglichkeiten, z. B. bei der Identifizierung unternehmensspezifischer Risikobereiche. Die zugehörige **Auswirkung** stellt den beobachtbaren Effekt einer Ursache innerhalb des Systems Siedlungswasserwirtschaft dar. Um den Wirkungsort festzulegen, erfolgt eine Zuordnung der Auswirkung zu einer definierten Aufgabe der Siedlungswasserwirtschaft über die hierarchischen Gliederungsebenen **System** und **Teilsystem** bis zur **Prozessebene**. Hierdurch können später besonders gefährdete Prozesse identifiziert werden.

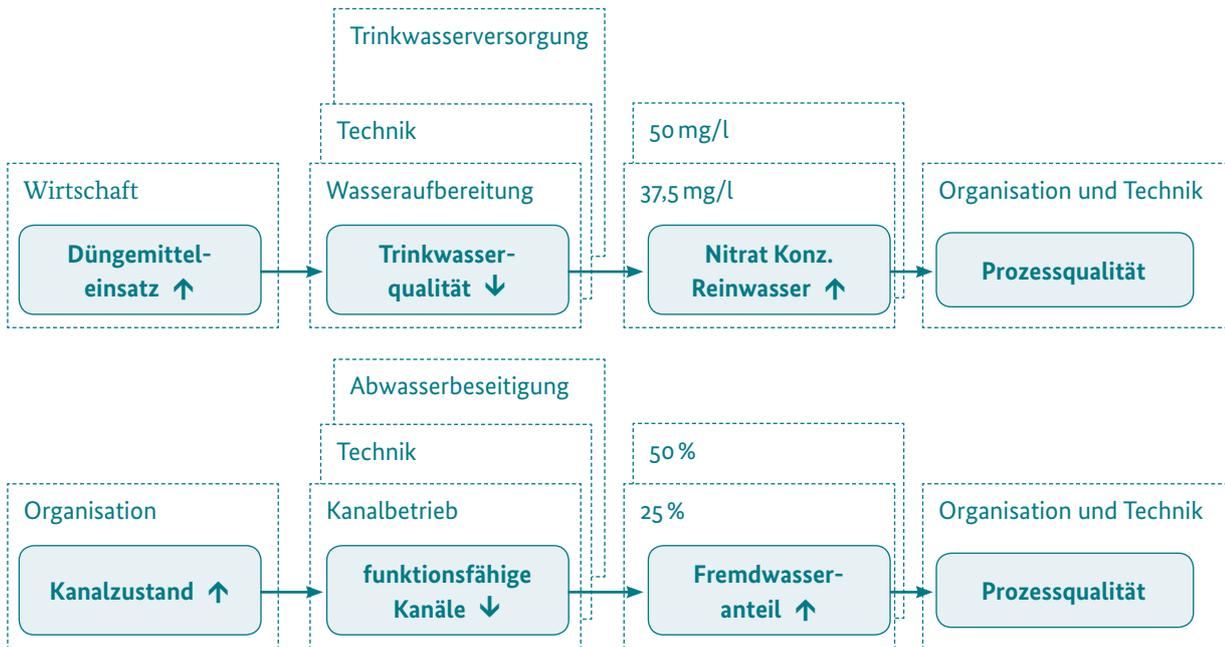


Abb. 2: Beispiele linearer Wirkungspfade aus der Trinkwasserversorgung (oben) und der Abwasserbeseitigung (unten).  
Quelle: Eigene Darstellung

Durch die Auswirkung wird schließlich eines der **Nachhaltigkeitsziele** einer bestimmten Zielkategorie gefährdet. Dabei wird die potenzielle Zielverfehlung mithilfe eines **Indikators** überwacht, welcher anhand von **Schwellenwerten** bewertet wird (vgl. auch Beitrag E6).

Abbildung 2 veranschaulicht die Struktur der Wirkungspfade anhand jeweils eines Beispiels für die Trinkwasserversorgung (oben) und für die Abwasserbeseitigung (unten). So kann beispielsweise im System Trinkwasserversorgung ursächlich ein erhöhter landwirtschaftlicher Düngemittel-einsatz (Pfeil nach oben) zu einer verminderten Trinkwasserqualität führen (Pfeil nach unten), welche dem Prozess Wasseraufbereitung zugeordnet wurde. Diese Auswirkung gefährdet das Nachhaltigkeitsziel Prozessqualität und wird anhand des Indikators Nitratkonzentration im Reinwasser und des roten Schwellenwerts von 50 mg NO<sub>3</sub>/l (Grenzwert aus Trinkwasserverordnung) überwacht.

Die Struktur der Wirkungspfade erlaubt eine einheitliche Risikoidentifikation, egal ob es sich um soziale, technische, wirtschaftliche oder ökologische Risiken handelt. Durch die lineare Struktur lassen sich die Wirkungspfade zudem gut in einer Datenbank verwalten. Die Analyse der Datenbank ermöglicht nun auch die Untersuchung von Wirkungsgeflechten. Es können häufige Ursachen oder Auswirkungen, gefährdete Prozesse oder Nachhaltigkeitsziele bestimmt werden. Somit lassen sich Erkenntnisse für die Risikoverringung oder -vermeidung gewinnen.

Die identifizierten Risiken sind nun einer anschließenden Risikoanalyse, -bewertung und -überwachung zugänglich (vgl. auch hierzu Beitrag E6).



Autor:

Michael Holzhauser

Projekt: SinOptiKom

## E5

# Multikriterielle mathematische Optimierung

## Motivation

Ziel des BMBF-geförderten INIS-Verbundvorhabens SinOptiKom ist es, mögliche Entwicklungen von ländlichen Modellgebieten zu untersuchen und nachhaltige Transformationsstrategien zu entwickeln. Der gewählte Ansatz unterscheidet sich von den in vielen ingenieurwissenschaftlichen Bereichen üblichen Ansätzen: Die Transformationsstrategien werden hier auf Basis eines **mathematischen Optimierungsmodells** berechnet. Dabei wird eine optimale Lösung nicht explizit hergeleitet, sondern durch Variablen, Nebenbedingungen und zu optimierende Zielfunktionen implizit beschrieben. Ein sogenannter Solver kann auf Basis einer solchen Beschreibung dann mit Hilfe mathematischer Techniken optimale Lösungen bestimmen, die alle Nebenbedingungen erfüllen. Durch diesen in der Mathematik weit verbreiteten Ansatz ist es möglich, ein ganzheitliches Modell unter Berücksichtigung aller relevanten Maßnahmen und Einschränkungen zu erstellen, dessen Lösung eine optimale Transformationsstrategie impliziert.

In seiner allgemeinen Form wird ein (einkriterielles) mathematisches Optimierungsmodell durch drei Komponenten beschrieben: Es sind dies die Menge aller Variablen, die den Entscheidungsraum des Modells widerspiegeln, sowie eine Zielfunktion, welche die Güte von Lösungen im Entscheidungsraum mit skalaren Beträgen bewertet. Zusätzlich wird durch die Definition von Nebenbedingungen der Lösungsraum auf eine Teilmenge  $S$  beschränkt. Diese enthält nur gewünschte beziehungsweise realisierbare Lösungen.

Die eingeführte Definition eines mathematischen Optimierungsmodells sieht eine einzelne Zielfunktion vor. Mit deren Hilfe lassen sich die Güte von Lösungsvorschlägen beurteilen und eine optimale Lösung identifizieren. In vielen Anwendungsfällen – wie auch im Fall des Projekts SinOptiKom – ist es jedoch nicht ohne weiteres möglich, sich auf ein einzelnes solches Bewertungskriterium zu beschränken. Vielmehr sind Lösungen auf Basis von mehreren, teils im Konflikt stehenden („antagonistischen“) Bewertungskriterien zu beurteilen. Im Projekt SinOptiKom wurden acht solcher Kriterien entwickelt, die zentrale Aspekte von Transformationsstrategien bewerten. Berücksichtigt man gleichzeitig jedes dieser acht Kriterien als eigenständige Zielfunktion, so erhält man ein **multikriterielles Optimierungsproblem**. Im Vergleich zu traditionellen einkriteriellen Optimierungsproblemen ergeben sich dabei zahlreiche (mathematische) Hindernisse, die es zu bewältigen gilt. Hierzu wurden in der Forschung unterschiedliche Methoden entwickelt, auf die in diesem Beitrag eingegangen wird.

## Formale Definition

Ein multikriterielles (Minimierungs-)Problem mit  $k$  Kriterien ist von der Form

$$(\text{MKP}) \min \{ (z_1(x), z_2(x), \dots, z_k(x))^T : x \in S \},$$

wobei  $S$  die Menge der zulässigen Lösungen ist und jeweils  $z_i: S \rightarrow \mathbb{R}$  reellwertige Funktionen sind, die auf dieser Menge definiert sind. Abbildung 1 zeigt den Lösungsraum eines multikriteriellen Optimierungsproblems mit  $k=2$  Zielfunktionen, der sich aus der Abbildung aller zulässigen Lösungen  $x \in S$  über die Zielfunktionen ergibt.

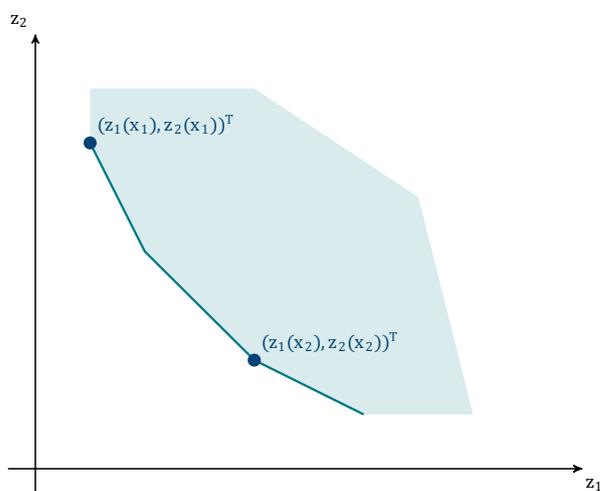


Abb. 1: Lösungsraum eines linearen Optimierungsproblems mit zwei Zielfunktionen, die beide minimiert werden. Quelle: Eigene Darstellung

Bei der Lösung dieser multikriteriellen Probleme entsteht die Schwierigkeit, dass die einzelnen Gütemaße im Allgemeinen antagonistisch sind und somit Kompromisse eingegangen werden müssen. Insbesondere ist der Begriff einer „optimalen Lösung“ nicht eindeutig definiert. In Abbildung 1 ist der Lösungsraum für den Fall von zwei zu minimierenden Zielfunktionen aufgezeigt. Während Lösung  $x_1$  hinsichtlich der Zielfunktion  $z_1$  bessergestellt ist als  $x_2$ , verhält es sich im Bezug auf  $z_2$  umgekehrt. Beide Punkte bezeichnet man gemeinhin als pareto-optimal, da jede andere zulässige Lösung (also jede Lösung innerhalb des markierten Bereichs) hinsichtlich mindestens eines Kriteriums schlechter gestellt ist als  $x_1$  respektive  $x_2$ . Formal gibt es für alle solche pareto-optimalen Punkte  $x$  kein  $y \in S$ , so dass  $z_i(y) \leq z_i(x)$  für alle  $i$  gilt, wobei strikte Ungleichung für

mindestens einen Index  $i$  gilt. Die Menge aller Lösungen  $x$ , die pareto-optimal sind, nennt man die Pareto-Front für das Optimierungsproblem (MKP). Der fett markierte Linienzug in Abbildung 1 beschreibt die Pareto-Front des Beispiels, deren zugrundeliegende Lösungen gleichermaßen im Interesse des Entscheides sein können. Während sich jeder Punkt auf der Pareto-Front als Konvexkombination von Eckpunkten der Front darstellen lässt und es somit genügen würde, sich auf diese zu beschränken, konnte gezeigt werden, dass bereits die Menge aller Eckpunkte auf der Pareto-Front eine exponentielle Kardinalität annehmen kann. Ein Berücksichtigen aller Eckpunkte ist somit aus Komplexitätstheoretischer Sicht nicht möglich, zumal ein Vergleich von exponentiell vielen Lösungsvorschlägen aus Anwendersicht nicht sinnvoll erscheint.

## Lösungsverfahren

Wie bereits erwähnt, ist die Pareto-Front für die meisten Optimierungsprobleme von exponentieller Darstellungsgröße in der Eingabe. Papadimitriou und Yannakakis gelang im Jahr 2000 ein entscheidender Durchbruch. Sie zeigten, dass für speziell strukturierte multikriterielle Probleme eine approximative Pareto-Menge von polynomialer Größe gefunden werden kann, wenn ein bestimmtes einkriterielles sogenanntes Gap-Problem gelöst werden kann. Sind alle Funktionen linear, so ist hierfür hinreichend, dass sich eine einkriterielle exakte Version des Optimierungsproblems in pseudo-polynomialer Zeit lösen lässt. Dieses Resultat konnte in einer theoretischen Ausarbeitung auf ein Teilproblem innerhalb von SinOptiKom angewendet werden.

Ein weiterer Ansatz zum Umgang mit Optimierungsproblemen ist die Reduktion des multikriteriellen Optimierungsmodells auf ein vereinfachtes einkriterielles Problem. Bei der  $\epsilon$ -Constraint-Methode werden  $k-1$  der  $k$  Zielfunktionen durch das Setzen von oberen oder unteren Schranken in Nebenbedingungen überführt, so dass nur eine Zielfunktion verbleibt.

Intuitiv wird dabei zwar nicht mehr über alle  $k$  Zielfunktionen optimiert, allerdings kann man bei dieser Methode immer noch durch geeignete Wahl der Schranken ein Mindestmaß fordern, um welches die Zielfunktionen in einer optimalen Lösung erfüllt sein sollen.

Ein dritter Ansatz, der in Theorie und Praxis weit verbreitet ist, ist das Aggregieren der einzelnen Zielfunktionen in eine gewichtete Zielfunktion. Es ist bekannt, dass man im Fall eines konvexen kontinuierlichen Optimierungsproblems jeden Punkt auf der Pareto-Front finden kann, indem man die verschiedenen Zielfunktionen geeignet gewichtet, aufsummiert und das dadurch entstehende einkriterielle Problem löst. In Abbildung 2 und Abbildung 3 wird verdeutlicht, welche aus den Gewichtungen resultierenden Hyperebenen zu den Lösungen  $x_1$  und  $x_2$  aus Abbildung 1 führen.

## Anwendung im Projekt SinOptiKom

Der Ansatz über eine aggregierte Zielfunktion wird auch im Projekt SinOptiKom verfolgt. Über eine Demonstrator-Software hat der Entscheider die Möglichkeit, eine separate Gewichtung aller acht Zielfunktionen auf einer stufenlosen Skala von „unwichtig“ bis „wichtig“ zu wählen. Diese Gewichte werden anschließend in eine  $[0,1]$ -Skala übersetzt und auf die Summe 1 normiert, so dass sich zusammen mit den Zielfunktionen, welche im Sinne der Vergleichbarkeit ebenfalls auf  $[0,1]$  skaliert sind, ein Zielfunktionswert zwischen 0

(„gut“) und 1 („schlecht“) ergibt. Durch Variationen der Gewichtungen erhält der Endanwender somit Einblick in das Verhalten der Optimallösung unter verschiedenen Zielsetzungen. Dabei lassen sich Rückschlüsse auf Zusammenhänge zwischen den zugrunde gelegten Maßnahmen und den dazu vorteilhaften Maßnahmen ziehen. Somit können basierend auf unterschiedlichen Zukunftsszenarien Erkenntnisse über die Nachhaltigkeit des bestehenden Abwassersystems und über optimale Transformationskonzepte gewonnen werden.

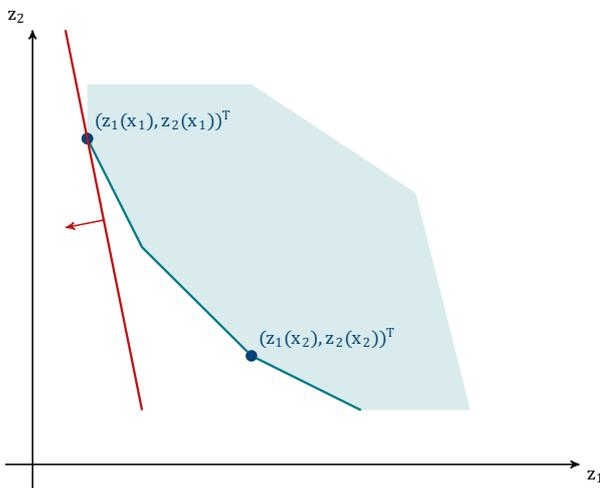


Abb. 2: Gewichtung der Zielfunktionen, die zur Lösung  $x_1$  führt.  
Quelle: Eigene Darstellung

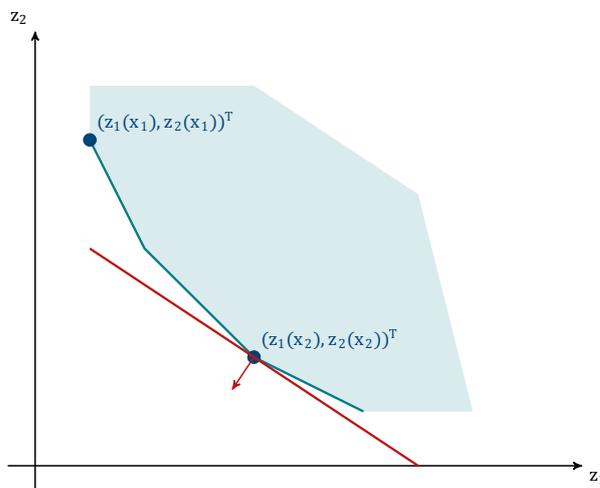


Abb. 3: Gewichtung der Zielfunktionen, die zur Lösung  $x_2$  führt.  
Quelle: Eigene Darstellung

Autorinnen:

Jessica Beck und Christina Tocha

Projekt: NaCoSi

## E6

# Methodische Ansätze zur Datenauswertung und Datenvisualisierung im NaCoSi-Nachhaltigkeitscontrolling

Das im INIS-Projekt NaCoSi entwickelte Nachhaltigkeitscontrolling dient dazu, Risiken in Bezug auf nachhaltige Entwicklung von Unternehmen der Siedlungswasserwirtschaft abzubilden. Generell entstehen Risiken dort, wo unternehmerische Ziele verfehlt werden. Dementsprechend entstehen Nachhaltigkeitsrisiken aus dem Verfehlen von Nachhaltigkeitszielen und deren Folgen für das Unternehmen. Um solche unternehmensspezifischen Nachhaltigkeitsrisiken abzubilden, entwickelte NaCoSi methodische Ansätze zur Datenauswertung und Datenvisualisierung. Sie können von den Unternehmen der Siedlungswasserwirtschaft zur internen und externen Kommunikation genutzt werden.

Die Daten werden über eine Risikoanalyse ausgewertet. Diese besteht aus einem Risikoprofil und Risikomatrizen sowie einem Monitoring zum Vergleich der erhobenen Indikatoren und deren Zeitreihen mit Schwellenwerten. Während die Risikoanalyse zukünftige Nachhaltigkeitsrisiken aufzeigt, werden beim Monitoring Indikatoren anhand des gegenwärtigen Zustands und der Entwicklung in der Vergangenheit bewertet.

Die Verfahren sind in der Anwendung unabhängig voneinander, weisen jedoch Synergien auf. Insgesamt wird ein ganzheitlicher Ansatz verfolgt. Es wird nicht nur eine Momentaufnahme der Unternehmenssituation betrachtet; vielmehr richtet sich der Blick sowohl in die Vergangenheit als auch in die Zukunft des Unternehmens. Hierbei werden sowohl kurz- und mittel- als auch langfristige Risiken berücksichtigt.

## Datenbedarf

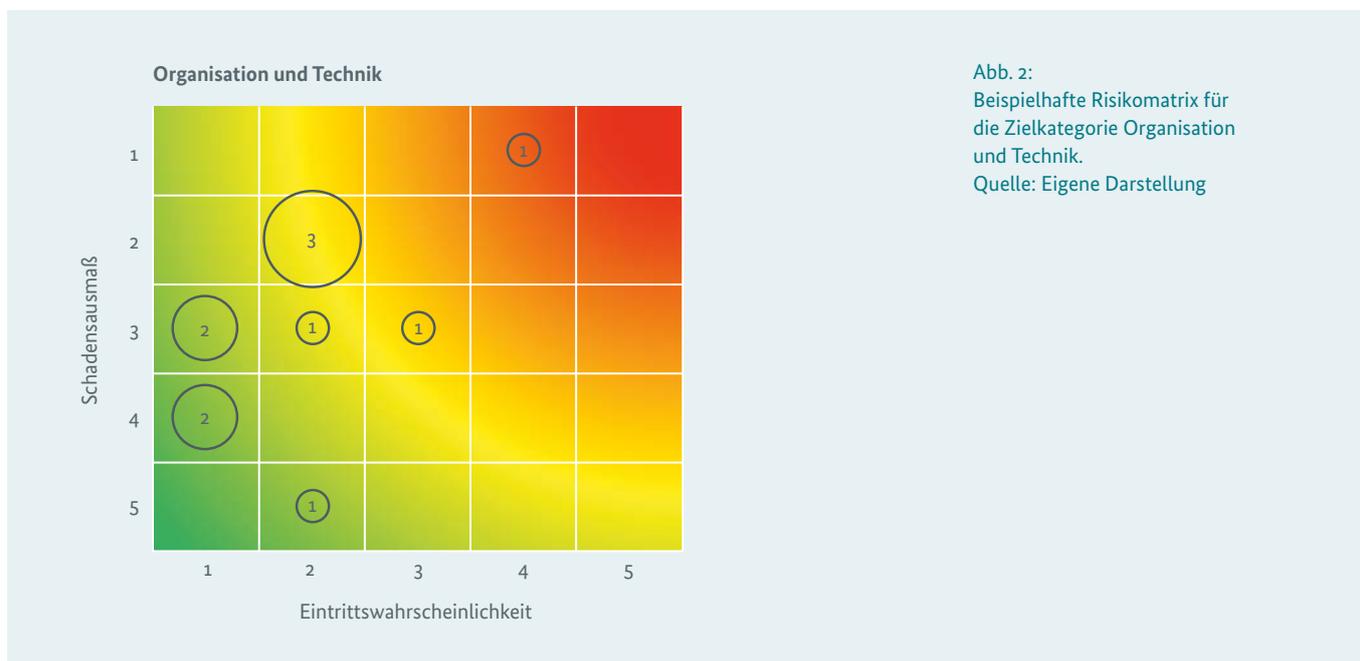
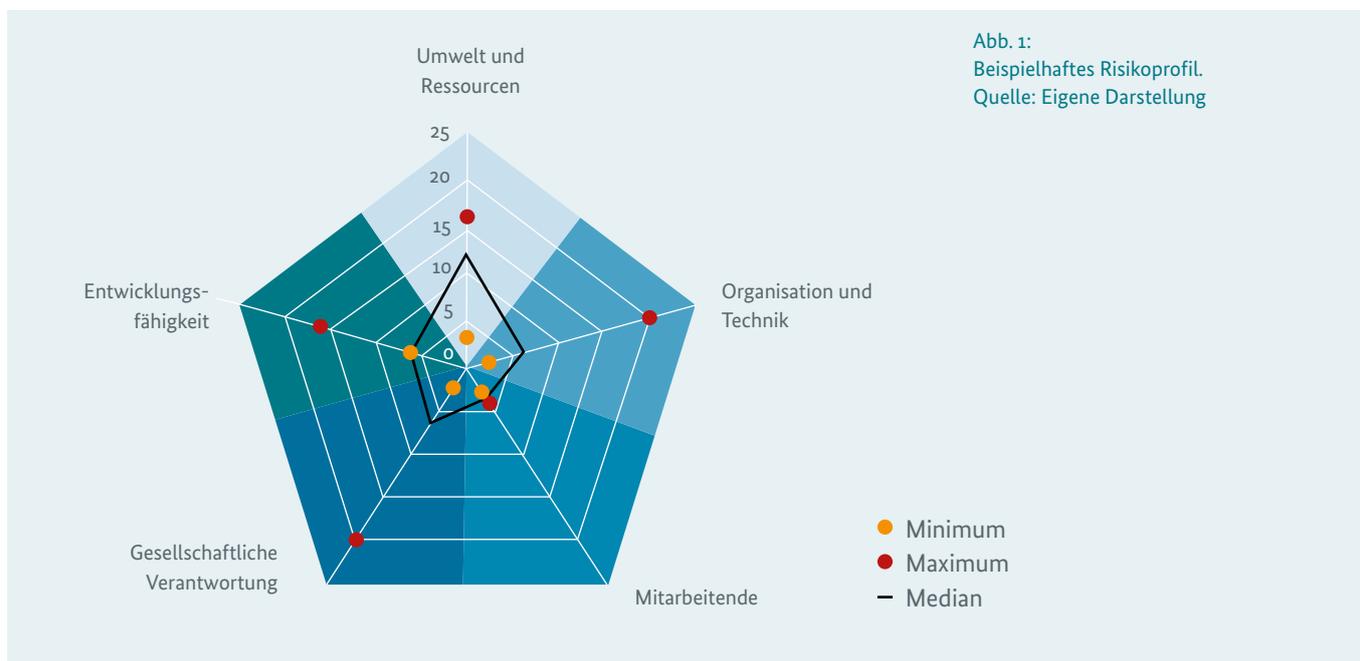
Für die Anwendung der Verfahren sind vom Unternehmen Indikatoren zu erfassen und ein Fragenkatalog zu beantworten. Es werden drei Arten von Daten unterschieden: Eintrittswahrscheinlichkeit, Schadensausmaß und Indikator eines Wirkungspfades.

Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß werden für die Risikoanalyse mithilfe eines festen Musters im Unternehmen erfasst. Die Fragen enthalten Informationen über Ursache, Wirkung, Zeithorizont und gegebenenfalls Indikator des zugrundeliegenden Wirkungspfades. Oftmals ist dem Indikator ein kritischer Schwellenwert zugewiesen. Die Fragen werden über eine feste Skala von 1 bis 5 beantwortet.

Die Normierung schafft eine Vereinheitlichung und verhindert die Suggestion einer falschen Genauigkeit durch exakte Zahlenwerte.

Anhand der Indikatoren werden Zielabweichungen messbar. Für jeden Indikator werden ein roter und ein gelber Schwellenwert festgelegt. Sie ordnen die Lage eines Indikators aus Sicht einer nachhaltigen Entwicklung ein. Der Indikator mit Schwellenwert dient zum

einen zur Abfrage von Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß in der Risikoanalyse. Vor allem aber bildet er die Basis des Monitorings, indem beim Unternehmen die Indikatorwerte mit den Schwellenwerten verglichen werden. Über die Veränderung der Indikatorwerte in der Vergangenheit lässt sich außerdem eine Einschätzung über deren zukünftige Entwicklung ableiten.



## Risikoanalyse

Die Risikoanalyse charakterisiert anhand von Risikohöhen das spezifische Risikoprofil eines Anwenders. Die durch Wirkungspfade beschriebenen potenziellen Risiken werden durch unternehmensspezifische Einschätzungen quantifiziert und nach Nachhaltigkeitszielen und Zielkategorien aggregiert. Dabei werden auffällige und somit besonders relevante Risiken identifiziert und dem Unternehmen aufgezeigt. Die Methode gleicht somit einer klassischen Risikoanalyse nach ISO 31000.

Die Risikoanalyse basiert auf Einschätzungen des Unternehmens zur Eintrittswahrscheinlichkeit und zum Schadensausmaß eines jeden Wirkungspfades je nach seiner Ursache und dem kritischen Schwellenwert innerhalb des vorgegebenen Zeithorizonts. Für jeden Wirkungspfad und somit jedes Risiko wird die Risikohöhe über die Multiplikation von Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß berechnet. Aus dem Produkt ergibt sich eine Risikohöhe zwischen 1 und 25. Anschließend werden die Risiken anhand der gefährdeten Nachhaltigkeitsziele und Zielkategorien aggregiert.

## Monitoring

Ziel des Monitorings ist es, Nachhaltigkeitsziele anhand des Zustandes und der zeitlichen Entwicklung von Indikatorwerten darzustellen. Durch die Bewertung der zeitlichen Entwicklung der Indikatorwerte ist es außerdem möglich, Veränderungen durch Maßnahmen in Form einer Trendumkehr zu erkennen. Eine weitere Aufgabe stellt die Ergänzung der Risikoanalyse dar. Durch die Bewertung der zeitlichen Entwicklung der Indikatorwerte können nicht-nachhaltige Entwicklungen im Unternehmen abgeleitet werden, die möglicherweise bei der Risikoanalyse nicht erkannt werden.

Das Monitoring basiert auf den erhobenen Indikatorwerten. Diese werden mit den entwickelten Schwellenwerten verglichen. Zusätzlich werden die Zeitreihen der Indikatoren in die Beurteilung miteinbezogen, um die zeitliche Entwicklung der Indikatoren zu analysieren. Der rote Schwellenwert beschreibt die Grenze, ab der eine nachhaltige Entwicklung des zugeordneten

Das Risikoprofil in der Darstellung als Netzdiagramm bietet eine Übersicht über alle Zielkategorien. Es zeigt die Minima (gelber Punkt), Maxima (roter Punkt) sowie den Median (schwarze Linie) über die Risikohöhen jeder Zielkategorie (siehe Abbildung 1).

Die Risikomatrizen liefern einen detaillierteren Blick auf Verteilung und Ausprägungen der Risikohöhen innerhalb einer Zielkategorie. Eine Risikomatrix bildet alle Risiken einer Zielkategorie je nach Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß ab (siehe Abbildung 2). Hierbei sind das Schadensausmaß auf der Ordinate und die Eintrittswahrscheinlichkeit auf der Abszisse aufgetragen. Während die Lage der eingetragenen Kreise die Risikohöhe repräsentiert, geben Kreisdurchmesser und die Zahl im Zentrum des Kreises Auskunft über die Anzahl der Wirkungspfade, welche jeweils die entsprechende Eintrittswahrscheinlichkeit bzw. das entsprechende Schadensausmaß aufweisen.

Als Ergebnis der Risikoanalyse können kritische Wirkungspfade anhand von deren Risikohöhen identifiziert und bezüglich betroffener Nachhaltigkeitsziele, Zielkategorien, Treiber usw. weitergehend untersucht werden.

Nachhaltigkeitsziels nicht mehr gegeben ist. Der gelbe Schwellenwert markiert den Punkt, ab dem die nachhaltige Entwicklung gefährdet und eine erhöhte Aufmerksamkeit gefordert ist. Die Schwellenwerte entsprechen gesetzlichen Grenzwerten oder Vorgaben bzw. Empfehlungen aus technischen Normen oder Regelwerken. Wo derartige Werte nicht verfügbar waren, wurden die Schwellenwerte aus Perzentilwerten geeigneter Vergleichsgruppen von Benchmarking-Daten der aquabench GmbH abgeleitet. In Ausnahmefällen wurde bei der Bestimmung der Schwellenwerte auf Expertenmeinungen zurückgegriffen.

Abbildung 3 stellt die Bewertung der Indikatoren bezüglich Zustand und Entwicklung dar. Jeder Strahl repräsentiert einen Indikator. Die Lage des Punktes auf einem Strahl beschreibt den gegenwärtigen Zustand des Indikators. Liegt der Punkt beispielsweise im grünen Bereich, ist der Indikatorwert unterhalb des gelben

und roten Schwellenwertes und kann somit als unkritisch angesehen werden. Befindet sich der Punkt im roten Bereich, liegt der Indikatorwert oberhalb des kritischen Schwellenwertes. Die Färbung der Punkte stellt die Bewertung bezüglich der Entwicklung des Indikatorwertes dar. Liegt ein Wert zum Beispiel im grünen Bereich, hat aber eine rote Füllung, bedeutet dies, dass der Wert sich gegenwärtig noch unterhalb des gelben Schwellenwertes im unkritischen Bereich befindet. Allerdings zeigt die Entwicklung der letzten Jahre einen Trend in Richtung des roten Schwellenwertes und ist somit kritisch zu sehen. Die Punkte von Indikatoren,

für die keine Zeitreihen vorliegen und somit keine Entwicklung bewertet werden kann, sind weiß.

Das Monitoring liefert einen Überblick über die gegenwärtige Situation des Unternehmens anhand kritischer Indikatorwerte und deren zeitlicher Entwicklung und ergänzt somit die Risikoanalyse, indem es kritische Entwicklungen bezüglich der Nachhaltigkeit des Unternehmens aufzeigt. Zusätzlich kann es zur Überwachung der entwickelten Maßnahmen genutzt werden, indem es positive Veränderungen von Indikatoren abbildet.

## Ergebnisvergleich

Im Anschluss an die Auswertung der Daten können die Ergebnisse mit Fokus auf die als kritisch identifizierten Nachhaltigkeitsrisiken der Risikoanalyse denen des Monitorings gegenübergestellt und auf Konsistenz geprüft werden.



Abb. 3: Visualisierung der Bewertung von Zustand und Entwicklung (CSB: Chemischer Sauerstoffbedarf; VZÄ: Vollzeitäquivalent). Quelle: Eigene Darstellung

#### Autorinnen:

Andrea Lück und Ilka Nyga

**Projekt:** KREIS, TWIST++

#### Literatur:

DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (2012): Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen, 8. Auflage, Hennef.

DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (2014): Grundsätze für die Planung und Implementierung Neuartiger Sanitärsysteme (NASS), Arbeitsblatt DWA-A 272, Hennef.

Fürst, D., und F. Scholles (2008): Handbuch Theorien und Methoden der Raum- und Umweltplanung, Dortmund.

Londong, J., et al. (2011): Demografischer Wandel: Anlass und Chance für Innovationen in der Wasserwirtschaft, in: Korrespondenz Abwasser, Abfall (58) Nr. 2, S. 157 f.

Völker, R. (2012): Bewerten und Entscheiden. Grundlagen und Modelle des wertorientierten Managements, Stuttgart.

## E7

# Vergleich neuartiger und konventioneller Wasserinfrastruktur unter Einbindung von Stakeholdern – Erfahrungen aus den Projekten KREIS und TWIST++

### Motivation

Die Verknüpfung der verschiedenen Infrastrukturbereiche und die Zahl der an Entscheidungen Beteiligten tragen insbesondere dazu bei, dass herkömmliche Methoden, die die Vollzugs- und Maßnahmenwirtschaftlichkeit ermitteln, nicht mehr ausreichen. Die derzeit etablierten Verfahren sind daher wenig geeignet, Transformationsprozesse integrativ zu bewerten.

In der Wasserwirtschaft werden Bewertungsverfahren in erster Linie als Instrument der wasserwirtschaftlichen Fachplanung eingesetzt. Darüber hinaus ergänzen sie die Umsetzung von Maßnahmen als begleitende oder abschließende Erfolgskontrolle. Da sie während der gesamten Planung in allen Planungsphasen eingesetzt werden, verschieben sich die Zielsetzungen einzelner Bewertungsschritte. Wird zu Beginn die vorteilhafteste Systemalternative gesucht, richtet sich zu einem späteren Zeitpunkt das Augenmerk eher auf eine Kostenoptimierung von Anlagenteilen oder Betriebsabläufen (vgl. DWA 2012). Die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) hat es sich zur Aufgabe gemacht, praxisgerechte Arbeitsmaterialien zur Durchführung von Wirtschaftlichkeitsberechnungen zu erstellen. Sie hat dies mit den Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien) auch in die Praxis umgesetzt.

Diese vereinfachte Betrachtung wurde vor dem Hintergrund konventioneller Systeme entwickelt. Diesen Systemen ist aufgrund ihrer sektoralen Eingrenzung die methodisch geforderte Nutzengleichheit inhärent. Die mit dem gewählten Bewertungsverfahren zu verfolgende Zielsetzung kann daher auf eine Zielgröße reduziert werden. Die etablierten konventionellen Systeme werden langfristig jedoch nicht zur Bedürfnisbefriedigung genügen, da die globalen Wandelprozesse neue Herangehensweisen in der technischen Umsetzung (vgl. Londong 2011) und innerhalb der Bewertung erfordern. Unterschiedliche Nutzen, die Abbildung von Präferenzen der beteiligten Entscheider, aber auch die Integration von Nutzerinteressen erfordern es, die etablierten Bewertungsinstrumente und das bislang auf die Kostenwirkungen beschränkte Zielsystem zu erweitern (vgl. DWA 2012). Vor diesem Hintergrund sollten innerhalb einer Bewertungssystematik Bewertungskriterien genutzt werden, die möglichst alle Stakeholder-Perspektiven berücksichtigen (vgl. DWA 2014).

Damit dies gelingt, ist es jedoch – gerade im Vorfeld eines anstehenden Bewertungs- oder Entscheidungsprozesses – erforderlich, abzuwägen, welche Stakeholder wie zu beteiligen sind. Dies kann in der Regel durch eine vorangestellte Stakeholder-Analyse geschehen. Ziel sollte es dabei sein, angepasst an den Planungs- und Entscheidungszeitpunkt diejenigen Stakeholder zu beteiligen, deren Entscheidungsspielraum die Ausgestaltung des vorgesehenen Projektes beeinflussen kann. Hierbei geht es vor allem darum, mögliche Konflikte und deren Auswirkungen frühzeitig zu erkennen, diese mittels geeigneter Kommunikationsstrategien aufzugreifen und gegebenenfalls angepasste Lösungen zu entwickeln. Die Auswahl der Stakeholder und deren Beteiligungsgrad sollten daher in Relation zu ihrem Einfluss auf andere Beteiligte, zu ihrer Entscheidungsmacht und zur grundsätzlichen Einstellung dem Projekt gegenüber stehen.

Die Projekte KREIS und TWIST++ griffen folgerichtig die Frage auf, wie sich vielfältige Stakeholder-Perspektiven in Bewertungs- und Entscheidungsprozessen adäquat abbilden lassen. Hierzu wurde in beiden Projekten ein Vorgehen entwickelt, das nachfolgend vorgestellt wird. Dieses Vorgehen wurde parallel zur eigenen Projektarbeit auch innerhalb des INIS-Querschnittsthemas „Multikriterielle Bewertung“ durch die dort beteiligten Projekte bestätigt.

## Methodik einer systematischen Stakeholder-Beteiligung im Rahmen multikriterieller Bewertungen

Eine Bewertung durchzuführen erfordert ein strukturiertes Herangehen. Dies beinhaltet die Gliederung des Bewertungsprozesses in einzelne Arbeitsschritte:

1. Festlegung des Bewertungsziels,
2. Festlegung der Systemgrenzen und des Betrachtungshorizonts,
3. Definition des Zielsystems,
4. Datenerhebung,
5. Bewertung der Einzelergebnisse,
6. Festlegen der Gewichtungsfaktoren,
7. Durchführung von Sensitivitätsbetrachtungen,
8. Zusammenführung und Interpretation der Ergebnisse.

Die Forschungsprojekte KREIS und TWIST++ bezogen außer in Schritt sieben verschiedene Stakeholder-Gruppen anhand unterschiedlicher Methoden ein.

Die Auswahl der verwendeten Methoden verfolgte das Ziel, der Gefahr einer Abbildungsselektivität zu begegnen (vgl. Fürst/Scholles 2008). Daher wurden explorative und deskriptive Erhebungsansätze gewählt. Im Hinblick auf das Endergebnis und die hierfür notwendigen Messgrößen wurden die notwendigen Daten zur Entscheidungsfindung weitestgehend erarbeitet – dies, wo möglich, mit empirischen Daten und unter Einbindung „kollektiver Intelligenz“ (Völker 2012) sowie anhand von reaktiven (u. a. Interviews, Expertengremien, Befragungen) oder nichtreaktiven Verfahren (u. a. Literaturrecherche, Dokumentenanalyse) und deren quantitativer Auswertung untersetzt.

Nachfolgend werden in Abbildung 1 die in den beiden Projekten KREIS und TWIST++ angewendeten Vorgehensweisen zusammenfassend gegenübergestellt. Für die skizzierten acht Arbeitsschritte des Bewertungsprozesses wurden projektspezifisch Stakeholder-Beteiligungsmethoden identifiziert. Der wichtigste Arbeitsschritt zur Integration von möglichst vielfältigen Stakeholder-Perspektiven ist die Definition des Zielsystems (Arbeitsschritt 3). Daher wurde dieser Arbeitsschritt in drei Teilschritte untergliedert; er stellte im Bewertungsprozess einen der umfangreichsten Arbeitsschritte dar.

Methodisch ähneln sich die beiden Projekte, was nicht zuletzt an vergleichbaren Zielsetzungen und ähnlichen technischen Bewertungselementen lag. Im Detail wurden allerdings sehr unterschiedliche Stakeholder beteiligt. Auf die Stakeholder selbst und deren Zusammensetzung im Beteiligungsprozess wird nachfolgend und in der Grafik nicht eingegangen. Vielmehr soll dargestellt werden, dass sich um die eigentlichen Arbeitsschritte des Bewertungsprozesses auch soziale Prozesse legen, die aufgrund des Bewertungsobjektes und der Zielstellungen durch transdisziplinäre Ansätze gekennzeichnet sein müssen. Diese sozialen Prozesse sind dadurch charakterisiert, dass mit und zwischen verschiedenen Stakeholdern empirische Daten erhoben und ausgetauscht, technische Lösungen entwickelt und abgestimmt sowie deren mittelbare Akzeptanz abgeschätzt werden müssen.

## Fazit und Ausblick

Aufgrund der projektspezifischen Betrachtungsweisen innerhalb der sehr komplexen Bewertung von Wasserinfrastruktursystemen fördert ein frühzeitiges Einbeziehen der unterschiedlichen Interessenvertreter und Fachdisziplinen die Qualität der Ergebnisse und die Leistungsfähigkeit der Bewertungsmethodik selbst. Anhand des aufgezeigten Vorgehens und der Nutzung verschiedener Methoden der Stakeholder-Beteiligung innerhalb von KREIS und TWIST++ konnten in beiden Projekten Zielsysteme entwickelt werden, die

- ein positives Feedback der Anwender zeigten,
- zahlreiche Sichtweisen und ein umfangreiches Spektrum an Meinungen berücksichtigen,
- eine höhere Akzeptanz der Ergebnisse erwarten lassen und
- den bewertungsmethoden-immanenten Anforderungen an ein Zielsystem gerecht werden.

Ob sich die bislang vorliegenden (und teilweise noch zu ermittelnden) Ergebnisse übertragen lassen, muss anhand des Bewertungsobjektes, der Zielsetzung(en) sowie der zeitlichen und räumlichen Systemgrenzen kritisch hinterfragt werden. Jedoch sollte das aufgezeigte Vorgehen grundsätzlich auch in anderen Kontexten nutzbar sein.

Methoden Forschungsprojekt KREIS		Arbeitsschritte Bewertungsprozess		Methoden Forschungsprojekt TWIST++
Brainwriting Morphologischer Kasten	1	Festlegung des Bewertungsziels	1	Brainstorming Mindmapping
	2	Festlegung der Systemgrenzen und des Betrachtungshorizontes	2	
Literaturrecherche Expertengremium Schriftliche Befragung	3	Definition Zielsystem und Teilschritte	3	Literaturrecherche Expertengremium
		Sammlung von Zielen und Kriterien		
Literaturrecherche Expertengremium		Strukturierung und Beziehungsanalyse		Literaturrecherche Expertengremium
ABC-Analyse		Klassifizierung		ABC-Analyse
Literaturrecherche Interviews Fragebögen Vor-Ort-Erhebungen	4	Datenerhebung	4	Literaturrecherche Interviews Vor-Ort-Erhebungen
	5	Bewertung der Einzelergebnisse	5	
	6	Festlegen von Gewichtungsfaktoren	6	AHP
	7	Durchführung von Sensitivitätsbetrachtungen	7	
	8	Zusammenführung und Interpretation der Ergebnisse	8	Stakeholderworkshop Expertengremium

Abb. 1: Methoden der Stakeholder-Beteiligung zur Durchführung des Bewertungsprozesses innerhalb der Projekte KREIS und TWIST++.  
Quelle: Lück/Nyga

#### Autorinnen und Autor:

Alexandra Lux, Heide Kerber und Engelbert Schramm

#### Projekt: NaCoSi

#### Literatur:

Kerber, H., und A. Lux (2016): Zum Umgang mit Nachhaltigkeitsrisiken. Erste Ansätze für Maßnahmen aus dem Projekt NaCoSi. ISOE-Materialien Soziale Ökologie, 46. Frankfurt am Main, <http://www.isoe.de/uploads/media/msoe-46-isoe-2016.pdf> (letzter Abruf: 26.10.2016).

NaCoSi-Projektverbund (2016): Leitfaden NaCoSi – Der Weg zum Nachhaltigkeitscontrolling in der Siedlungswasserwirtschaft. TU Prints, TU Darmstadt, <http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/5711/> (letzter Abruf: 27.03.2017).

NaCoSi Projektverbund (2014): Nachhaltigkeitsziele und Risiken für siedlungswasserwirtschaftliche Unternehmen. Erste Bausteine für ein Nachhaltigkeitscontrolling. Projektverbund NaCoSi. ISOE-Diskussionspapiere, 37. Frankfurt am Main, online verfügbar unter [www.nacosi.de](http://www.nacosi.de)

## E8

# Maßnahmen zur Bewältigung von Nachhaltigkeitsrisiken: Entwicklung mithilfe von szenariobasierten Planspielen

Der BMBF-Projektverbund „NaCoSi – Nachhaltigkeitscontrolling siedlungswasserwirtschaftlicher Systeme – Risikoprofil und Steuerungsinstrumente“ richtet sein Augenmerk auf jene Entwicklungen, die die Nachhaltigkeit der Leistungserbringung in der Siedlungswasserwirtschaft gefährden können. Ergebnis ist ein praxisnahes Instrument zum Nachhaltigkeitscontrolling, mit dessen Hilfe siedlungswasserwirtschaftliche Unternehmen solche Risiken identifizieren und analysieren können. Außerdem ist ein Verfahren zur Entwicklung von Maßnahmen der Risikobewältigung integraler Bestandteil des Controlling-Ansatzes. Auf Letzteres, den Umgang mit Nachhaltigkeitsrisiken, konzentriert sich dieser Beitrag.

## Grundkonzeption der Maßnahmenentwicklung

Im Nachhaltigkeitscontrolling (NHC) entsteht ein umfassendes Bild des Status quo. Es ermöglicht Aussagen über potenzielle zukünftige Nachhaltigkeitsrisiken. Bei der Entwicklung von Maßnahmen zum Umgang mit diesen Risiken werden diese Ergebnisse aufgegriffen (vgl. dazu Beiträge E2, E4 und E6) und weiterentwickelt unter der Perspektive: „Was passiert, „wenn eins zum anderen kommt“? Hierfür werden Szenarien und Planspielelemente als Hilfsmittel bei der Maßnahmenentwicklung genutzt.

Beim Entwickeln von Maßnahmen wird eine langfristige Perspektive eingenommen und die Möglichkeit geboten, Handlungsoptionen in fiktiven Entscheidungssituationen durchzuspielen, Nebeneffekte aufzuzeigen sowie die Wirkung einzelner Maßnahmen(bündel) abzuschätzen. Dies geschieht im NHC in einem intensiven Kommunikationsprozess, bei dem auf die analytischen Ergebnisse des NHC zurückgegriffen wird.

Die Grundkonzeption für die Entwicklung von Maßnahmen im Rahmen des NHC umfasst drei Arbeitsphasen: Szenario-Phase, Brainstorming-Phase und Planspiel-Phase. Diese bauen aufeinander auf und sind in eine Abfolge von Workshops eingebunden. Getragen wird der Gesamtprozess der Maßnahmenentwicklung von einer kleineren Arbeitsgruppe, die die jeweiligen Workshop-Ergebnisse zusammenführt und weiter bearbeitet: Sie formuliert die Zukunftsszenarien aus, bündelt die Brainstorming-Ergebnisse, bereitet die Planspiele vor und wertet sie aus. Auf diese Weise entsteht eine Vorlage, die in einen Entscheidungs- und Umsetzungsprozess überführt werden kann. Dieser folgt dann aber den in den Unternehmen etablierten Verfahren und ist nicht mehr Teil des NHC.

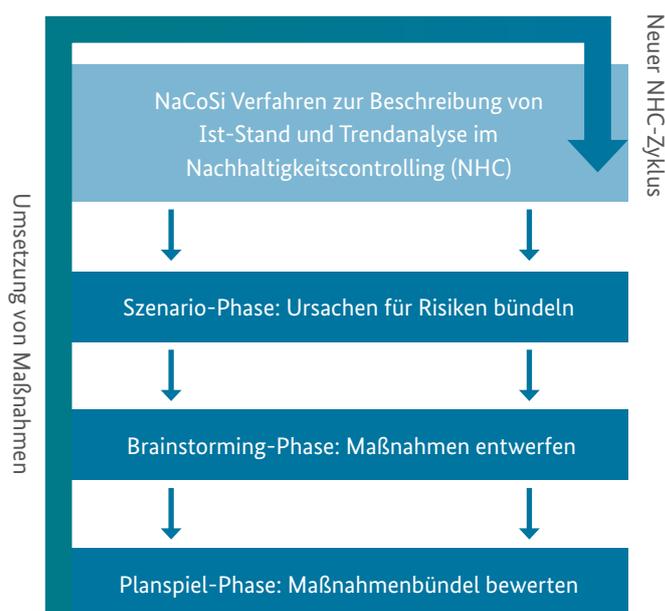


Abb. 1: Einbettung der Maßnahmenentwicklung in den Zyklus des Nachhaltigkeitscontrollings.  
Quelle: Eigene Darstellung

## Arbeitsphasen in der Entwicklung von Maßnahmen

Die **Szenario-Phase** umfasst die Spezifizierung aktueller Veränderungen im Unternehmensumfeld und stellt einen Zusammenhang zwischen der gegenwärtigen Situation der Infrastrukturbetriebe und den sich in der Risikoanalyse abzeichnenden Dynamiken her. Die Ursachen für Nachhaltigkeitsrisiken werden hier in den Mittelpunkt gestellt (z. B. Veränderungen im [kommunal-]politischen Klima, anstehende Generationenwechsel in der Belegschaft oder aufkommende neue Technologien) und in die Zukunft „fortgeschrieben“. Dies geschieht narrativ, das heißt, es wird in Form einer Erzählung ein Blick in die Zukunft entwickelt. Auf diese Weise ist der Aufwand an Datenrecherche und -verarbeitung eher gering, und es kann das im Unternehmen vorhandene Expertenwissen über Rahmenbedingungen und ihre Entwicklung eingebunden werden. Die Szenarien werden abteilungsübergreifend entwickelt. Dies erfolgt in drei Schritten:

1. Identifizieren relevanter Ursachen und Veränderungen in Bezug auf Nachhaltigkeitsrisiken,
2. Aufzeigen möglicher Systemzusammenhänge und Problemfelder,
3. Priorisieren der gesammelten Ursachen.

Aufbauend auf den priorisierten Ursachen und Problemfeldern kann dann die Zukunftssituation skizziert werden. Das heißt, die konkrete Szenario-Erstellung beginnt: In welcher Situation kann sich ein Unternehmen zukünftig befinden? Das entwickelte Szenario soll dann in einem nächsten Schritt allen Beteiligten präsentiert und mit ihnen gemeinsam diskutiert und präzisiert werden. Dabei gilt es, zukünftige Umfeldbedingungen auszuloten, denen ein Unternehmen mittel- bis langfristig ausgesetzt sein könnte.

In der zweiten Phase, der **Brainstorming-Phase**, können erste Handlungsoptionen erörtert werden. Hier sollen möglichst viele alternative Reaktionsmöglichkeiten auf die in der Risikoanalyse identifizierten Risiken und Herausforderungen gesammelt werden. Hier kann ganz kreativ und ohne pragmatische Grenzen zunächst sondiert werden. Ob diese Alternativen machbar, durchsetzbar und sinnvoll sind, wird erst in der nächsten Phase geprüft.

In der dritten Phase, der **Planspiel-Phase**, wird ein „Spielen mit zukünftigen Situationen“ ermöglicht. Maßnahmen aus dem Brainstorming werden zu Strategien verbunden und hinsichtlich ihrer möglichen Wirkungen bewertet. Was soll mit den Maßnahmen erreicht werden? Was sind Nebeneffekte, die das Ergebnis negativ beeinflussen können? Zur Beantwortung dieser Fragen werden möglichst konkrete Umsetzungsschritte für das Maßnahmenbündel im Planspiel erarbeitet. Das heißt, die Handlungsoptionen werden in Form eines Rollenspiels konkretisiert, und es werden verschiedene Argumentationsrichtungen berücksichtigt, die eine Umsetzung der Optionen fördern oder verhindern können. Dabei nehmen die Teilnehmerinnen und Teilnehmer des Planspiels bestimmte Rollen ein, die nicht unbedingt ihren professionellen Rollen im Alltag entsprechen.

## Erste Erfahrungen und Ausblick

Der fiktive und geschützte Diskussionsrahmen in diesem dreiteiligen Prozess ermöglicht den Akteuren, sich ein Stück weit aus ihrer professionellen Rolle zu lösen und auch fremde Positionen zu beziehen. Gerade in der Planspiel-Phase können durch den Rollenwechsel und das Hineinversetzen in den Standpunkt eines anderen neue Perspektiven aufkommen; es entstehen Anregungen, das eigene Verhalten zu überdenken. Neben einer Strategieentwicklung für das Unternehmen ist somit ein weiteres Ergebnis der Planspiele der individuelle Lerneffekt. Ein weiterer positiver Aspekt des Rollenwechsels ist, dass das Verständnis für die Situation und das Handeln des jeweils anderen verbessert wird. Durch den simulierten Entscheidungsprozess ergibt sich die Möglichkeit, mit alternativen Entscheidungen (Handlungsoptionen) zu experimentieren, ohne dass mit realen Konsequenzen zu rechnen ist. Auch können im Planspiel leichter als in der Wirklichkeit vorhandene Systemstrukturen und Wirkungszusammenhänge thematisiert werden. Das Verständnis der Systemstrukturen und -prozesse erleichtert es, Handlungsoptionen hinsichtlich der erwünschten und nicht erwünschten Wirkungen zu bewerten. Ein umfassender, integrativer Blick wird möglich.

Im Rahmen des dreijährigen Verbundprojektes wurde die hier beschriebene Vorgehensweise entwickelt und exemplarisch getestet. Bereits diese erste pilothafte Anwendung zeigte: In dem dialogorientierten Modul der Maßnahmenentwicklung liegt ein Mehrwert gegenüber einem allein auf einem Berichtswesen basierenden Vorgehen. Dabei wurde deutlich, dass der Umgang mit Nachhaltigkeitsrisiken sehr tief in die Organisationsentwicklung eingreifen kann. Durch den integrierten Blick, der in den Nachhaltigkeitszielen angelegt ist (vgl. Beitrag E2), wird es möglich, den Umgang mit Nachhaltigkeitsrisiken über Abteilungen hinweg zu durchdenken. Um die Leistungsfähigkeit eines Unternehmens nachhaltig zu stärken, müssen – wie sich im Projekt zeigte – die technischen und betriebswirtschaftlichen Belange bei der Maßnahmenentwicklung konsequent verbunden und mit ökologischen und sozialen Perspektiven zusammengebracht werden.

**Autor:**

Andreas Matzinger

**Projekt:** KURAS

**Literatur:**

Matzinger, A., R. Riechel, H. Sonnenberg, C. Remy, H. Schwarzmüller, P. Rouault, M. Schmidt, C. Corral, A. Hein, M. Offermann, C. Strehl, D. Nickel, H. Sieker, M. Pallasch, M. Köhler, D. Kaiser, C. Möller, B. Büter, D. Leßmann, R. von Tils, I. Säumel, L. Pille, A. Winkler, B. Heinzmann, K. Joswig und B. Reichmann: Multiple effects of measures for stormwater management in urban areas, in: Urban Water Journal (zur Veröffentlichung eingereicht).

Matzinger, A., R. Riechel, H. Sonnenberg, C. Remy, H. Schwarzmüller, P. Rouault, M. Schmidt, C. Corral, A. Hein, M. Offermann, C. Strehl, D. Nickel, H. Sieker, M. Pallasch, M. Köhler, D. Kaiser, C. Möller, B. Büter, D. Leßmann, R. von Tils, I. Säumel, L. Pille, A. Winkler, B. Heinzmann, K. Joswig und B. Reichmann (2016): Berücksichtigung der vielfältigen Potenziale der Regenwasserbewirtschaftung in der Planung, Aqua Urbanica 2016, Rigi Kaltbad, Schweiz.

[www.kuras-projekt.de/  
downloads/erzeugnisse-  
regenwasserbewirtschaftung/](http://www.kuras-projekt.de/downloads/erzeugnisse-regenwasserbewirtschaftung/)

## E9

# Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung – Umfassende Bewertung als Entscheidungshilfe

## Hintergrund

Unter dem Begriff Regenwasserbewirtschaftung werden hier alle Maßnahmen verstanden, die Regenwasser speichern, verdunsten, versickern oder reinigen, also über eine direkte Ableitung hinausgehen. Diese Maßnahmen finden auf unterschiedlichen Ebenen in der Stadt statt (siehe Abb. 1).

Auf Gebäude- und Grundstücksebene stehen Maßnahmen der Gebäudebegrünung, der Regenwassernutzung oder der lokalen Versickerung im Vordergrund. Auf Quartiersebene sind dagegen teilversiegelte Oberflächen, Versickerung im Straßenraum oder künstliche Gerinne und Teiche wichtige Maßnahmen. Wird Regenwasserbewirtschaftung auf der Ebene von Kanaleinzugsgebieten betrachtet, kommen zentrale Reinigungsmaßnahmen wie z. B. Bodenfilter und Stauraum im Kanal hinzu.

In diesem Beitrag wird von der Hypothese ausgegangen, dass (i) alle diese Maßnahmen ihre Stärken haben und (ii) durch eine skalenübergreifende Kombination dieser Maßnahmen lokale Probleme gezielt verbessert werden können. Dabei liegen die Stärken nicht nur in der wasserwirtschaftlichen Bedeutung der Maßnahmen, sondern auch in ihrem Potenzial, weitere positive Effekte für die Umwelt und die Bewohnerschaft der Stadt zu unterstützen, etwa im Hinblick auf die Biodiversität oder das Stadtklima.

Werden mit der kombinierten Planung solcher Maßnahmen bestimmte Effekte angestrebt, benötigt man als Grundlage für die Maßnahmenwahl Wissen darüber, welche Maßnahmen in welchem Umfang welche Effekte bewirken. Um eine solche Grundlage anzubieten, wurden in KURAS 27 existierende Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung hinsichtlich ihrer positiven Effekte für Bewohner und Umwelt und hinsichtlich ihres Aufwands an Kosten und Ressourcen quantitativ bewertet.

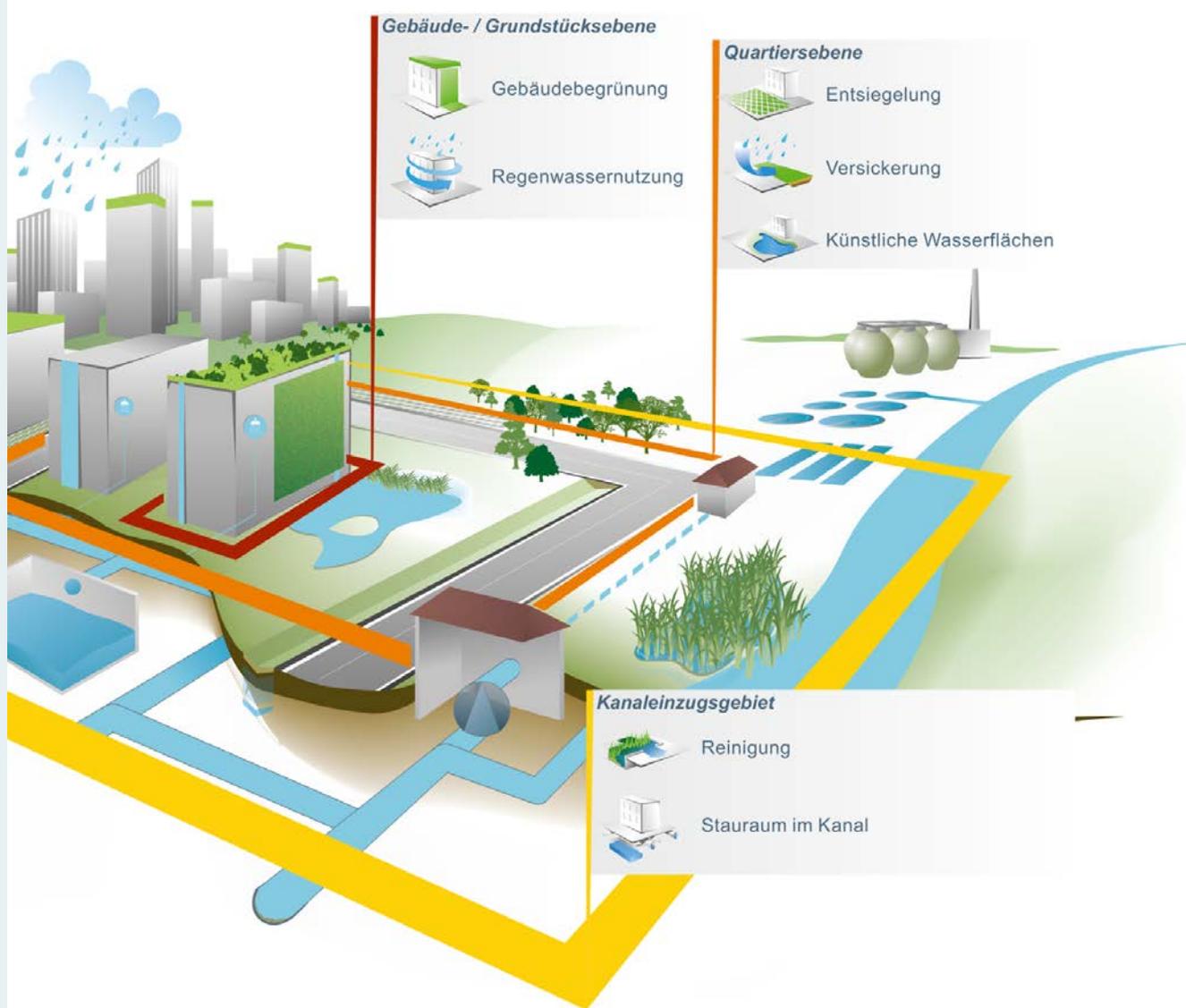


Abb. 1: In KURAS betrachtete Maßnahmenkategorien der Regenwasserbewirtschaftung.

Quelle: Kompetenzzentrum Wasser Berlin

## Vorgehen

Die Maßnahmen wurden für alle positiven und negativen Effekte nach einem festen Schema bewertet:

1. Festlegen von quantitativen Bewertungsindikatoren für jeden Effekt (z. B. Anzahl Tropennächte > 20°C für die Bewertung des Stadtklimas),
2. Quantifizierung dieser Indikatoren für alle 27 Maßnahmen (von der Gebäude- bis zur Einzugsgebiets-ebene) aufgrund von existierender Literatur sowie neuen Studien (z. B. Monitoring des Abflusses von extensiven Gründächern),
3. Visualisierung der Bewertung durch ein Ampelsystem von rot = ungeeignet bis grün = gut geeignet, aus Sicht des entsprechenden Effektes.

Eine solche Bewertung wurde für die folgenden acht Effekte durchgeführt, die vor Projektbeginn durch Berliner Entscheidungsträger als besonders relevant identifiziert worden waren:

- Der Effekt **Nutzen auf Gebäudeebene** berücksichtigt Vorteile für Bewohner, die sich durch Wassereinsparung, durch Kühlung der Gebäude und durch eine Reduktion der Regenwassergebühr ergeben.
- Der Effekt auf **Freiraumqualität** bewertet mittels eines Ansatzes aus der Landschaftsbewertung Aspekte wie Ästhetik, Zugänglichkeit oder Nutzbarkeit.
- Der Effekt auf **Stadtklima** bewertet die Wärmebelastung in der Stadt für die Situation am Tag (Hitzezeiten > 32 °C) und in der Nacht (Tropennächte > 20 °C).
- Der Effekt auf **Biodiversität** wird über das Potenzial der Maßnahmen als Lebensraum und Vernetzungselement für Pflanzen und Tiere in der Stadt bewertet (u. a. über die gesamte Artenzahl, die Anzahl seltener Arten oder die Habitatsvielfalt).
- Der Effekt auf **Grundwasser** bewertet sowohl die Grundwasserneubildung (wobei eine Erhöhung je nach Situation positiv oder negativ sein kann) als auch den Einfluss auf die Grundwasserqualität von Maßnahmen.
- Der Effekt auf **Oberflächengewässer** wird für den Fall der direkten Einleitung von Regenwasserabfluss über die Frachtreduktion (abfiltrierbarer Stoffe und Phosphor) und die Reduktion des Spitzenabflusses bewertet. Im Falle von Mischkanalsystemen wird nur die Reduktion des Spitzenabflusses betrachtet.
- Der Effekt auf **Ressourcennutzung** wird über eine Ökobilanz als Verbrauch fossiler Energie und den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der Maßnahmen ausgedrückt.
- Für den Effekt auf **Kosten** wurden sowohl Investitionskosten als auch Kosten für Wartung und Betrieb berücksichtigt.

Eine Aggregation der Bewertung der Einzeleffekte wurde an dieser Stelle bewusst nicht vorgenommen, um die Auswahl von Maßnahmen transparent zu halten. Eine solche Aggregation ist möglicherweise später im Planungsprozess für einen Variantenvergleich, in enger Abstimmung mit Interessenvertretern, sinnvoll.

## Bewertung der Maßnahmen

Die Bewertung war für alle Effekte und alle Einzelmaßnahmen erfolgreich, allerdings blieben einige Lücken offen. So waren vergleichsweise wenige Bewertungen für die Maßnahme „künstliche Gerinne“ oder für den Indikator „Betriebskosten“ möglich, wobei selbst für diese Aspekte fast die Hälfte aller Relationen bewertet werden konnte.

Das Potenzial der Maßnahmen ist in Abbildung 2 zusammengefasst; dabei wird jeweils die beste Bewertung pro Maßnahmenkategorie und Effekt als Ampelfarbe dargestellt. Es fällt zunächst auf, dass alle Maßnahmenkategorien auch grüne Ampeln enthalten. Damit wird die erste Hypothese, dass alle Maßnahmen ihre Stärken haben, visuell bestätigt.

Zum Zweiten zeigt Abbildung 2, dass alle Effekte durch unterschiedliche Maßnahmenkategorien erzielt wer-

den können. Beispielsweise sind alle Maßnahmenkategorien mittel bis gut geeignet, die Situation der Oberflächengewässer zu verbessern, während sich immerhin fünf von sieben Kategorien positiv auf das Stadtklima auswirken können. Es ist entsprechend davon auszugehen, dass eine integrierte Planung über die Skalen der Stadt hinweg einen gezielten Mehrwert bringen kann. Damit wird auch die zweite Hypothese bestätigt.

Es ist aber wichtig, darauf hinzuweisen, dass durch die Darstellungsart in Abbildung 2 teilweise Ergebnisse für Einzelmaßnahmen und einzelne Bewertungsindikatoren gemischt und dadurch Unterschiede unterschlagen werden. Beispielsweise sind künstliche Teiche eine wirkungsvolle Maßnahme zur Reduktion von Hitzetagen; durch Wärmeabgabe in der Nacht können sie aber gleichzeitig die Anzahl der Tropennächte erhöhen.

Analog zeigt sich beim Effekt auf Oberflächengewässer die Dachbegrünung als sehr wirkungsvoll, um Abflussspitzen zu dämpfen; wenn aber die Stofffracht (im Regenwasserabfluss) reduziert werden soll, ist die Maßnahme schlecht geeignet, da mit dem Dachabfluss ein ohnehin niedrig verschmutzter Teilstrom behandelt wird. In beiden Beispielen zeigt sich, dass je nach lokaler Problemlage eine andere Einzelmaßnahme sinnvoll sein kann. Entsprechend sollte die vollständige Bewertungstabelle als Grundlage für die Auswahl von Maßnahmen verwendet werden (Download unter [www.kuras-projekt.de](http://www.kuras-projekt.de)); Abbildung 2 ist dafür ungeeignet.

Die quantitative Bewertung hat auch teilweise große Unterschiede in der Bewertung innerhalb eines Maßnahmentyps aufgezeigt: Maßnahmen können je nach Umsetzung schöner oder hässlicher (Freiraumqualität), teurer oder billiger (Kosten), mehr oder weniger wirksam (Oberflächengewässer) sein. Dieses Ergebnis mag wenig überraschen, unterstreicht aber, dass der Umsetzung eine große Bedeutung zukommt.

## Potenzial als Entscheidungshilfe

Die ausführliche Bewertung (für Einzelmaßnahmen und mehrere Indikatoren pro Effekt) wurde innerhalb von KURAS in einem Planspiel für zwei Berliner Stadtquartiere eingesetzt. Dabei wurde die Bewertungstabelle verwendet, um geeignete Maßnahmen für lokale Anforderungen und Probleme zu ermitteln.

In einer Feedbackrunde zum Planspiel mit Experten und Interessenvertretern wurde die Bewertungstabelle als geeignetes Instrument, um die Auswahl von Maßnahmen zu unterstützen, evaluiert.

	Bewohner				Umwelt			Ökonomie	
	Nutzen auf Gebäudeebene	Freiraumqualität	Stadtklima / Bioklima	Biodiversität	Grundwasseranreicherung	Grundwasserqualität	Oberflächengewässer	Kosten	Ressourcennutzung
	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	●	●	●	●	●	●	●	●	●

Abb. 2: Zusammenfassende Darstellung der Bewertungsergebnisse. Für jede Maßnahmenkategorie wird die jeweils beste durch eine Einzelmaßnahme erreichte Ampelfarbe dargestellt. Damit zeigt die Darstellung insbesondere das Potenzial der Maßnahmen auf. Für eine Selektion geeigneter Maßnahmen muss hingegen die detaillierte Tabelle verwendet werden (siehe Literatur). Für Maßnahmensymbole siehe Abb. 1. Quelle: Kompetenzzentrum Wasser Berlin



# Kapitel F

## Inhaltsverzeichnis Kapitel F

---

F	Einleitung: Werkzeuge für Planung, Entscheidungsfindung und Visualisierung .....	188
F1	NAWAK-PIT: Ein Planungstool zur Ableitung von Anpassungsstrategien für die Wasserwirtschaft. ....	190
F2	Synthetische Niederschlagsmodellierung für die planerische Anwendung .....	194
F3	Integrierte Simulationswerkzeuge zur Planung intelligenter Abwasserinfrastruktur. ....	200
F4	Integrierte dynamische Modellierung von Grauwasseranfall und Grauwasserbehandlungskonzepten .....	206
F5	Softwareunterstützung für die integrierte Planung innovativer Wasserinfrastruktur – modular und adaptiv. ....	210
F6	Datenstandardisierung als Basis für Interoperabilität von Planungssystemen .....	214
F7	Ganzheitliches Engineering mit Game-Konzepten: Spielsimulation als Entscheidungsunterstützung und Bürgerbeteiligung .....	218
F8	Intelligente Szenario-Generierung zur Visualisierung von optimierten Transformationsprozessen .....	224

**Autorin:**

Darla Nickel

**Projekt:** INISnet

# F Einleitung: Werkzeuge für Planung, Entscheidungsfindung und Visualisierung

Die Akteure der Siedlungswasserwirtschaft – ob in Entscheidungsfindung, Planung oder Betrieb – sehen sich vielschichtigen Herausforderungen gegenübergestellt. Die zukünftigen Entwicklungen in technischer, gesellschaftlicher, rechtlicher und ökologischer Hinsicht, die im Vordergrund von Kapitel B stehen, verändern den heutigen Handlungsrahmen stark und stellen Risiken für die Unternehmen der Wasserwirtschaft dar. Was die Zukunft tatsächlich bringen wird, ist mit erheblichen Ungewissheiten behaftet.

Die möglichen Entwicklungen sind zahlreich, ebenso die infrastrukturellen Handlungs- und Anpassungsoptionen. Die Komplexität von Entscheidungssituationen ist dementsprechend hoch – und nimmt mit der angestrebten Multifunktionalität neuartiger Infrastrukturen weiter zu, indem vielfältige neue Wechselwirkungen und Schnittstellen zwischen Systemen und Prozessen auftreten oder hergestellt werden.

Die Zukunftsfähigkeit der Wasserinfrastrukturen setzt voraus, dass die wachsende Unsicherheit und Komplexität in Planung, Weiterentwicklung und Betrieb der Infrastrukturen der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung berücksichtigt werden. Aus diesem Grund befassten sich nahezu alle INIS-Projekte mit der Entwicklung von Werkzeugen der Planung, Entscheidungsunterstützung und Visualisierung für Kommunen und Infrastrukturbetreiber.

## Zukunftsperspektiven und -risiken in Entscheidungen einbeziehen

Entscheidungen über Infrastrukturen der Wasserversorgung, der Entwässerung und der Abwasserbehandlung sind weitreichend – dies nicht nur, weil die Infrastrukturen kapitalintensiv sind, sondern weil es die Gesundheit der Bürgerinnen und Bürger sowie die Funktionen von Ökosystemen dauerhaft zu sichern gilt. Heute gilt mehr denn je: Die Auseinandersetzung mit möglichen Zukünften und mit Planungsungewissheiten muss zum Standardwerkzeug in der Siedlungswasserwirtschaft gehören.

Szenarien und Simulationen sind eng miteinander verwandte Instrumente, um Zukunft und Zukunftsrisiken zu erkunden. Sie helfen dabei, Entwicklungspfade auszuloten und die Wirkungen bestimmter Entscheidungen oder Maßnahmen abzuschätzen und zu bewerten. Szenarien eröffnen und kontrastieren dabei alternative Zukunftsentwürfe. Beim Entwickeln eines Szenarios steht die Frage im Mittelpunkt, wie die Zukunft aussehen könnte oder welche Zukunft wünschenswert wäre. Simulationen und Modelle ermöglichen es, sich

experimentell mit der Frage „Was passiert, wenn...?“ auseinanderzusetzen; sie basieren meistens auf Modellen. Beide Instrumente kommen in den INIS-Projekten zum Einsatz, oft in Verbindung miteinander. Dabei dominieren quantitative – also mit numerischen Werten unterlegte – Szenarien, die von bestimmten Entwicklungstrends ausgehen und für die Durchführung von Simulationen benötigt werden.

Szenarien, Simulationen und Prognosen sind zudem wichtige Instrumente der Kommunikation mit unterschiedlichen Entscheidungsträgern. Sie helfen dabei, die Aufmerksamkeit auf die Vielfalt von (Lösungs-) Möglichkeiten zu lenken, Wechselwirkungen und Zielkonflikte zu verdeutlichen und so für mögliche Entscheidungsfolgen zu sensibilisieren. Sie lassen sich einsetzen, um die künftige Auslegung von Infrastrukturen zu begründen. Praxispartner frühzeitig in die Entwicklung von Szenarien und Modellen einzubinden, ist besonders wichtig. Auf diese Weise lässt sich auch die notwendige „Robustheit“ der Ergebnisse sichern.

## Entscheidungsunterstützung: Entwicklungsszenarien und Handlungsoptionen anschaulich visualisieren

Es ist zunehmend erforderlich, Ziele und Wirkungen der vielfältigen Handlungsoptionen sektorübergreifend und integriert zu betrachten. Hier geht es allerdings nicht nur um eine möglichst umfassende, ganzheitliche, „multikriterielle“ Bewertung von Handlungsoptionen, wie in Kapitel E erläutert. Die hierfür notwendige umfangreiche Datengrundlage, die komplexen Wirkungszusammenhänge und die möglichen Handlungsoptionen müssen vor allem zielgruppengerecht aufbereitet und anschaulich visualisiert werden, damit die wachsende Komplexität handhabbar, vorhandenes Wissen zugänglich und somit letzten Endes Entscheidungen möglich gemacht werden. Über allem steht schließlich die Frage, wie sich in Entscheidungsverfahren – bei aller Komplexität – Transparenz und Nachvollziehbarkeit gewährleisten lassen.

Zu diesem Zweck entwickelte eine Vielzahl der INIS-Forschungsprojekte Werkzeuge, zu denen softwarebasierte Auswertungstools, Datenbanken, Demonstratoren und Planungsunterstützungsinstrumente zählen, die sich für verschiedene Fragestellungen und Fallkonstellationen eignen. Sogar ein „Serious Game“ zur spielerischen Auseinandersetzung mit den großen Herausforderungen einer zukunftsfähigen Wasserwirtschaft gehört zum Portfolio. Diese Werkzeuge, die in den folgenden Beiträgen vorgestellt werden, stehen nun, am Ende der Fördermaßnahme, den kommunalen Akteuren und der Siedlungswasserwirtschaft zur Verfügung.

## Autorin und Autoren:

Marlene Gelleszun,  
Jürgen Meyerdirks und  
Hans Matthias Schöniger

Projekt: NAWAK

# F1

## NAWAK-PIT: Ein Planungstool zur Ableitung von Anpassungsstrategien für die Wasserwirtschaft

### Zielsetzung, Implementierung, partizipatorische Erfahrungen

#### Zielsetzung

Das Forschungsvorhaben NAWAK verfolgt das Ziel, die Auswirkungen des klimatischen und demografischen Wandels auf die Wasserwirtschaft in ausgewählten Regionen zu untersuchen. Im Mittelpunkt stehen die möglichen zukünftigen Implikationen für das Wasserdargebot und für die Wassernachfrage. Es werden drei Projektregionen mit unterschiedlichen Fragestellungen untersucht. Die Modellregion „Heidewasser“ in Sachsen-Anhalt ist durch den demografischen Wandel geprägt. Zum Erhalt der Versorgungssicherheit bedarf es entsprechender Anpassungsstrategien. Bei den Modellregionen „Sandelermöns“ und „Elbe-Weser-Dreieck“ an der Nordseeküste stehen die möglichen Veränderungen die Süß-/Salzwassergrenze betreffend im Fokus. Basierend auf Klimaszenarien werden mit dem hydrologischen Modellsystem PANTA RHEI die zu erwartenden Entwicklungen der Wasserhaushaltskomponenten quantifiziert. Die Grundwasserneubildung dient dabei als Schnittstelle und somit als obere Randbedingung für das Grundwasserströmungsmodell d<sup>3f++</sup>. Die Strömungssimulation erfolgt dichteabhängig, was die Simulation der Verschiebung der Salz-/Süßwassergrenze ermöglicht. Die Grundwasserfördermengen wurden basierend auf Annahmen zu sozioökonomischen Entwicklungen abgeleitet und in das Grundwasserströmungsmodell integriert. Es wurden drei Klimaszenarien und drei Sozioökonomie-Szenarien berücksichtigt, woraus sich insgesamt neun Kombinationen ergeben. Eine dieser Kombinationen wird im Umsetzungsbeispiel beschrieben. Die Simulationsergebnisse aus den Modellen werden im NAWAK-PIT (NAWAK-Planungsinstrumentarium) aggregiert dargestellt und für die Bewertung verwendet („Zustandsbewertung“, vgl. Abb. 1). Aufgabe des NAWAK-PIT ist es, eine Grundlage zu schaffen zur Entwicklung nachhaltiger Anpassungsstrategien für die Infrastrukturen der Wasserwirtschaft unter den Bedingungen des klimatischen und demografischen Wandels.

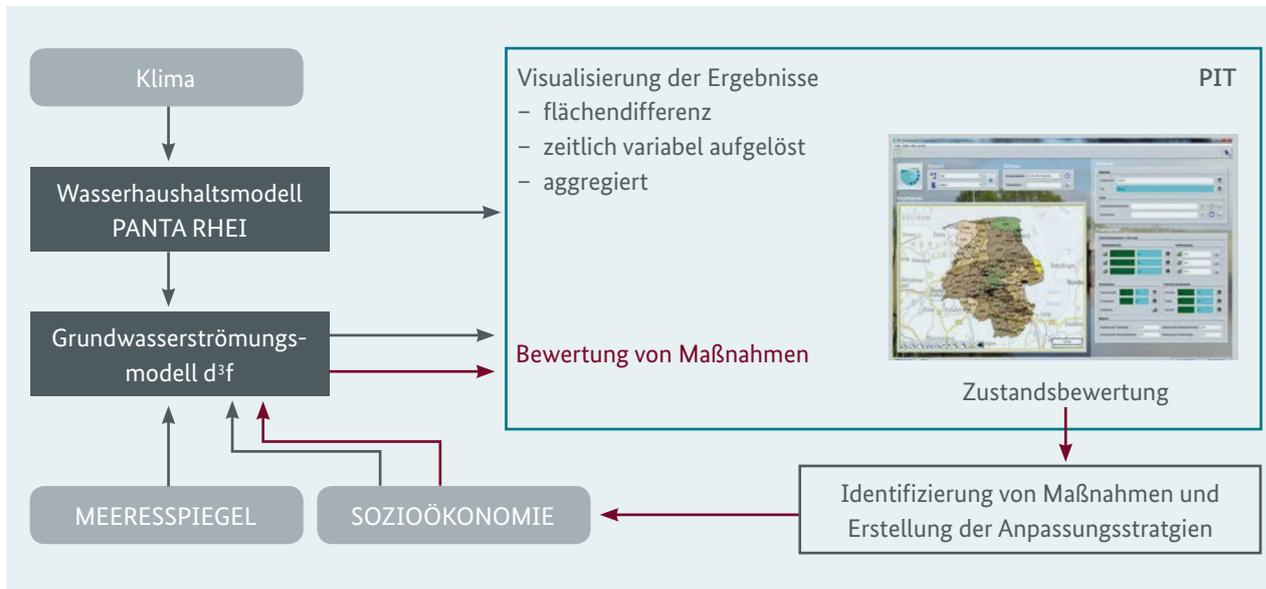


Abb. 1: Schema Zustandsbewertung NAWAK-PIT.

Quelle: Abteilung HYWAG am Leichtweiß-Institut für Wasserbau der TU Braunschweig

Die grauen Pfeile symbolisieren den Informationsfluss basierend auf den Szenarien (Klima-, Sozioökonomie- und Meeresspiegelszenarien). Diese Daten wurden in die Modelle (PANTA RHEI und d<sup>3</sup>f++) integriert. Die Simulationsergebnisse aus den Modellen dienen als Bewertungsgrundlage der jeweiligen Szenario-Kombination.

Auf Grundlage der festgelegten Indikatoren werden alle Szenarien bewertet (vgl. Übers. 1). Diese Zustandsbewertungen stellen die Basis für die Erstellung von Maßnahmen dar. Beispielsweise kann eine mögliche Maßnahme die Veränderung der Förderraten sein. Über neue Simulationen (roter Pfeil als Informationsfluss) können diese Maßnahmen modelltechnisch umgesetzt und mit den Ergebnissen „ohne Maßnahme“ verglichen werden.

## Implementierung

Bei dem NAWAK-PIT handelt sich um eine Softwarelösung, welche die unterschiedlichen Ergebnisse der Simulationen in aggregierter Weise visualisiert und darauf aufbauend die Zustandsbewertungen für jedes zugrunde gelegte Klima- und Sozioökonomie-Szenario darstellt. Aufbereitung, Prüfung und Zusammenführung der Daten aus den unterschiedlichen Modellen sind Bestandteile der PIT-Entwicklung. Für jede Bewertungsgröße gibt es unterschiedliche Indikatoren, welche für die Gesamtbewertung normiert und anschließend gewichtet werden. Die Gewichtungsfaktoren sowie der zu betrachtende Zeitraum können vom Nutzer variabel gewählt werden. Übersicht 1 fasst die berücksichtigten Bewertungsgrößen und die zugehörigen Indikatoren zusammen. Die Kriterien wurden gemeinsam mit den Stakeholdern festgelegt. Grundlage für die quantitative Berechnung der Indikatoren bilden die Simulationsergebnisse aus den Modellen (vgl. Abb. 1). Basierend auf diesen Erkenntnissen werden Anpassungsstrategien für die Wasserwirtschaft und deren Infrastrukturen entwickelt. Die Bewertung einer entsprechenden Maßnahme erfolgt auf Grundlage der Zustandsbewertung vor und nach der Maßnahme.

Bewertungsgröße	Indikator
Chlorid-Konzentration [mg/l]	Lage der Salz-/Süßwassergrenze in drei verschiedenen Tiefen (Isolinien; gemäß Trinkwasserverordnung 250 mg/l)
	Abstand der Salz-/Süßwassergrenze zu Förderbrunnen in drei verschiedenen Tiefen
Grundwasserneubildung [mm/Monat]	Kontinuierlicher Trend der monatlichen Grundwasserneubildung getrennt für die Geest und für die Marsch
Grundwasserflurabstände [m]	Trend der Grundwasserflurabstände für die Geest und die Marsch
	Trend der saisonalen Grundwasserstände (Sommer und Winter)
Klima	Zu- oder Abnahme der Trockentage
Wasserbilanz	Positiver oder negativer Saldo im Projektgebiet/Fördergebiet
Abflussmenge Siele [m³/s]	Zunahme oder Abnahme der Abflüsse an den Siele

Übersicht 1: Bewertungsgrößen und die zugehörigen Indikatoren, die für die Zustandsbewertung der simulierten Szenarien zugrunde gelegt wurden. Quelle: Projekt NAWAK

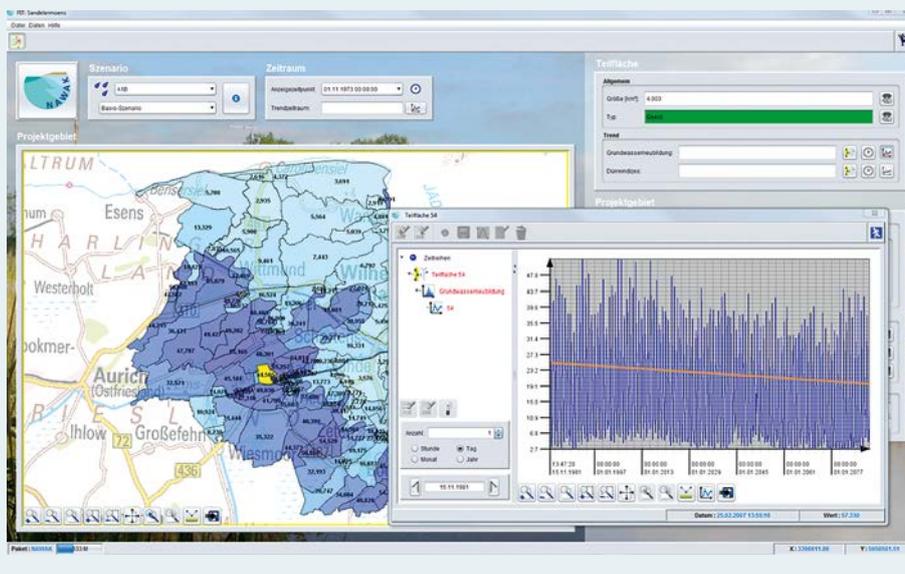


Abb. 2: Benutzeroberfläche des NAWAK-PIT (Screenshot).

Quelle: Abteilung HYWAG am Leichtweiß-Institut für Wasserbau der TU Braunschweig

Die Karte zeigt in diesem Beispiel die monatlichen Grundwasserneubildungen der Bilanzierungsflächen für das Klimaszenario A1B in mm exemplarisch für den Monat November 1973. Dargestellt ist der Mittelwert aus zehn WETTREG-Realisationen.

Die Zeitreihe auf der rechten Seite stellt in diesem Fall die monatlichen Grundwasserneubildungen des gesamten Simulationszeitraums (1971–2100) für die gelb markierte Bilanzierungsfläche, ebenfalls für das Klimaszenario A1B (Mittelwert) dar. Die Trendstärke der dargestellten Trendlinie symbolisiert den Indikator „Kontinuierlicher Trend der monatlichen Grundwasserneubildung“. Für jede Bilanzierungsfläche wird der Trend berechnet und für die Gesamtbewertung flächengewichtet gemittelt, um eine Aussage für das gesamte Untersuchungsgebiet treffen zu können.

## Partizipatorische Einbindung

Die Anwendung des NAWAK-PIT in der anwendungsorientierten und praxistauglichen Entwicklung von Anpassungsstrategien für die Infrastrukturen der Wasserwirtschaft erfordert neben den Modellierungsergebnissen eine Einbindung der betroffenen Akteure. Konzeptionell setzt sich der Partizipationsprozess in den Modellregionen aus drei Phasen zusammen. Die erste Planungsphase umfasst die Identifikation der einzubindenden Stakeholder und die Beschreibung des Status quo im Rahmen einer Situationsanalyse. Ergebnis ist die Formulierung von Anforderungen und bestehenden Defiziten hinsichtlich des jeweiligen Untersuchungsgegenstandes durch die Stakeholder. In der anschließenden Verhandlungsphase werden die Handlungsbedarfe, die sich aus der Diskrepanz der aktuellen Situation und den zukünftig zu erwartenden Bedingungen ergeben, analysiert und gemeinsam mit den Stakeholdern bewertet. Ziel ist die Entwicklung von

Handlungsoptionen und konkreten Maßnahmen, die geeignet sind, die Auswirkungen des klimatischen und demografischen Wandels in den Modellregionen zu vermindern. In diesem Arbeitsschritt werden die zu erwartenden zukünftigen Bedingungen in Form von Szenarien abgebildet, die gespeist durch die Ergebnisse aus Modellierung, Literaturrecherche und Stakeholder-Einbindung ein möglichst abgestimmtes Bild einer Zukunftssituation für die klimatische bzw. demografische Entwicklung zeichnen. In einer abschließenden Evaluierungsphase haben die Stakeholder Gelegenheit, Relevanz und Repräsentativität der erzielten Ergebnisse zu beurteilen. In allen Arbeitsphasen kommen anwendungsorientierte partizipative Methoden wie strukturierte Interviews in Form von Einzel- oder Gruppengesprächen sowie Regionalforen zur transsektoralen Verknüpfung der Ergebnisse zum Einsatz.

## Umsetzungsbeispiel

In diesem Beispiel wird veranschaulicht, wie die Ergebnisse aus den hydrologischen Modellen verwendet werden, um eine Zustandsbewertung der ausgewählten Szenario-Kombination durchzuführen (vgl. Abb. 2):

- Modellregion: Sandelermöns
- Klimaszenario: A1B
- Sozioökonomie-Szenario: Basis-Szenario
- Bewertungsgröße: Grundwasserneubildung in mm pro Monat (vgl. Übers. 1)
- Indikator: Kontinuierlicher Trend der monatlichen Grundwasserneubildung (vgl. Übers. 1)
- Zeitraum der Analysedaten: 1971 bis 2100
- Praxispartner: Interessenvertreter aus Landwirtschaft, Wirtschaftsförderung, Naturschutz und Wasserwirtschaft sowie Behörden auf Landes- und Bundesebene wurden an der Erstellung von Anforderungen und Szenarien beteiligt.

Im Ergebnis liefert das NAWAK-PIT eine Karte der Bilanzierungsflächen, die hier exemplarisch die monatliche Grundwasserneubildung im November 1973 anzeigt (vgl. Abb. 2). Für jede Bilanzierungsfläche sind im NAWAK-PIT Zeitreihen hinterlegt, woraus ein kontinuierlicher Trend des ausgewählten Zeitraums berechnet wird. Ist ein Trend signifikant, gehen die Trendstärken flächengewichtet in die Gesamtbewertung ein. Für die angegebene Szenarien-Kombination geht die monatliche Grundwasserneubildung im Zeitraum von 1971 bis 2100 zurück. Bezogen auf den Zeitraum 1971 bis 2050 ergab der Trendtest hingegen keinen signifikanten Rückgang der Grundwasserneubildung.

Solche Indikatoren als wesentlicher Bestandteil des NAWAK-PIT basieren zum überwiegenden Teil auf den physikalischen Hydrosystemmodellierungen der Oberflächenhydrologie (PANTA RHEI) und der unterirdischen Dichteströmung ( $d^{3f++}$ ) im regionalen Maßstab mit dem Ziel, das verfügbare Grundwasserdargebot zu quantifizieren. Die mit dem Klimawandel einhergehenden räumlichen und zeitlichen Schwankungen des Wasserdargebots werden dem variablen Bedarf an Süßwasser der verschiedenen Verbrauchsformen und -gruppen gegenübergestellt und mit Hilfe des NAWAK-PIT kommuniziert. Das NAWAK-PIT schafft somit den Ansatz für einen Regulierungsmechanismus auf technischer, hydrologischer, ökologischer, politischer und ökologischer Ebene.

### Literatur:

Eley, M., M. Gelleszun, H. M. Schöniger und G. Meon (2015): Nachhaltige Anpassungsstrategien im Küsten- und Ästuarbereich Nordwestdeutschlands. Tag der Hydrologie 2015, Bonn, 19. – 20.03.2015.

Eley, M., M. Howahr, A. Schneider, H. M. Schöniger, A. Ullmann und G. Meon (2014): Potential Consequences of Saltwater Intrusion at the German North Sea Coast for the Water Supply. 23rd Salt Water Intrusion Meeting, Husum, June 16 – 20, 2014.

Gelleszun, M., P. Kreye und G. Meon (2015): Lexikografische Kalibrierungsstrategie für eine effiziente Parameterschätzung in hochaufgelösten Niederschlag-Abfluss-Modellen, in: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 59 (3), S. 84 – 95, DOI: 10.5675/HyWa\_2015,3\_1

KuR – Küste und Raum (2015): Situationsanalyse für die Modellregion „Sandelermöns“. Studie erstellt im Rahmen des NAWAK-Projektes anteilig gefördert mit Mitteln des BMBF-INIS-Programms.

KuR – Küste und Raum (2014): Situationsanalyse für die Modellregion Heidewasser GmbH. Studie erstellt im Rahmen des NAWAK-Projektes anteilig gefördert mit Mitteln des BMBF-INIS-Programms.

KuR – Küste und Raum (2014): Situationsanalyse für die Modellregion „Elbe-Weser-Dreieck“. Studie erstellt im Rahmen des NAWAK-Projektes anteilig gefördert mit Mitteln des BMBF-INIS-Programms.

**Autoren:**

Uwe Haberlandt und  
Hannes Müller

**Projekt:** SYNOPSE

**Literatur:**

Bardossy, A. (1998): Generating precipitation time series using simulated annealing, in: *Water Resources Research* 34 (7), S. 1737 – 1744.

Haberlandt, U. (2016): Ergebnisse eines Expertengesprächs zum Thema „Bemessungsniederschlag“, in: *Korrespondenz Wasserwirtschaft*, 6, S. 340 – 341.

Haberlandt, U., A.-D. Ebner von Eschenbach und I. Buchwald (2008): A space-time hybrid hourly rainfall model for derived flood frequency analysis, in: *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 12, S. 1353 – 1367.

Serinaldi, F. (2009): A multisite daily rainfall generator driven by bivariate copula-based mixed distributions, in: *Journal of Geophysical Research*, 114, D10103.

## F2

# Synthetische Niederschlagsmodellierung für die planerische Anwendung

## Einführung und Zielstellung

Planung und Optimierung von Stadtentwässerungssystemen erfolgen hauptsächlich über Modelle zur Simulation des Niederschlags-Abflussgeschehens (N-A-Modelle) an der Oberfläche und im Kanalnetz. Für eine ganzheitliche Betrachtung großer Kanalnetze (Überstaunachweise, Schmutzfrachtberechnung, Kanalnetzbewirtschaftung) werden lange, kontinuierliche Zeitreihen des Niederschlags mehrerer Stationen mit einer hohen zeitlichen Auflösung als Eingangsdaten benötigt. Da derartige Beobachtungsdaten oft nicht flächendeckend vorliegen, stellen synthetische Zeitreihen eine Lösung des Problems dar. Im Projekt SYNOPSE wurden drei Niederschlagsmodelle untersucht und mittels Entwässerungssystemen der Städte Hamburg, Freiburg i. Br. und Braunschweig validiert. Ziel des Projekts ist es, ein Verfahren auszuwählen, mit welchem synthetische Niederschlagsdaten konsistent für Deutschland bereitgestellt werden können. Dadurch soll eine multifunktionale Bemessung von Stadtentwässerungssystemen ermöglicht werden, um unwirtschaftliche bzw. suboptimale Planungen zu vermeiden.

Gebietscharakteristik	Hamburg	Braunschweig	Freiburg
Klima	Maritim	Maritim-kontinental	Zentraleuropäisches Übergangsklima
Mittlerer Jahresniederschlag [mm]	770	642	908
Entwässerungssystemart	Mischsystem	Mischsystem	Misch- und Trennsystem
Anzahl Schächte [-]	24 464	6 303	22 664
Versiegelte Fläche [ha]	4 135	379	1 546
Höhendifferenz im Kanalnetz [m]	45	27	284

Tabelle 1: Kurzdarstellung der Untersuchungsgebiete.  
Quelle: Eigene Darstellung

## Daten und Gebiete

Die Untersuchungsgebiete befinden sich in Hamburg, Niedersachsen (Braunschweig) und Baden-Württemberg (Freiburg i. Br.). Dadurch können die Niederschlagsmodelle für verschiedene klimatische und topographische Regionen getestet werden (siehe Tabelle 1). Die Unterschiede zwischen den betrachteten Entwässerungssystemen bilden die Grundlage für weitere Validierungsmöglichkeiten.

Da die Niederschlagsmodelle auf verschiedenen Annahmen aufbauen, unterscheiden sie sich hinsichtlich der benötigten Eingangsdaten. Generell werden beobachtete Niederschlagszeitreihen mit der angestrebten Auflösung von fünf Minuten benötigt, wobei teilweise zusätzliche Zeitreihen mit Tages- und Stundenwertauflösung verwendet werden können. Die in Abschnitt 5 genannten Referenzzeitreihen werden nicht für die Niederschlagsgenerierung genutzt.

## Niederschlagsmodelle

Die verwendeten Niederschlagsmodelle werden im Folgenden nur kurz charakterisiert. Die Universität Hannover (wawi) wendet ein parametrisches Modell an, wobei die Parameterschätzung an beobachteten Punktniederschlägen erfolgt (vgl. Haberlandt et al. 2008). Die Regionalisierung erfolgt parameterabhängig nach verschiedenen Methoden. Für die räumliche Modellierung der Punktzeitreihen wird sowohl ein einstufiges Verfahren (direkte Ereignisgenerierung an mehreren Stationen) als auch ein zweistufiges Verfahren (unabhängige Zeitreihengenerierung an mehreren Stationen mit anschließendem Resampling zur Erzeugung räumlicher Konsistenz) verwendet.

Die Universität Stuttgart (LHG) wendet eine zweistufige Methodik an, mit welcher zuerst stündliche Ausgangszeitreihen generiert und diese anschließend auf fünfminütiger Basis optimiert werden (vgl. Bárdossy 1998). Die Optimierung erfolgt für unterschiedliche Statisti-

ken, die die zeitliche Struktur abbilden. Die räumliche Übertragung der Punktzeitreihen erfolgt mittels einer neu entwickelten copula-basierten Simulationsmethode. Mittels eines Monte-Carlo-Ansatzes ist es möglich, Advektion und unterschiedliche Niederschlagstypen zu berücksichtigen.

Durch die Universität Augsburg (IGUA) werden meteorologische Felder in Stundenauflösung dynamisch modelliert. Nach einer Bias-Korrektur der Niederschläge werden diese zeitlich auf Fünf-Minuten-Werte disaggregiert. Hierzu werden Zeitreihen mit einem stochastischen Copula-Ansatz (angelehnt an Serinaldi 2009) simuliert, aus denen einzelne Zeitabschnitte ausgewählt werden, um die Stundenwerte zu disaggregieren. Aufgrund der räumlichen Eingangsdaten ist es möglich, zusätzlich räumlich und zeitlich korrelierte Niederschlagswerte zu generieren.

Extremwerte verschiedener Dauerstufen

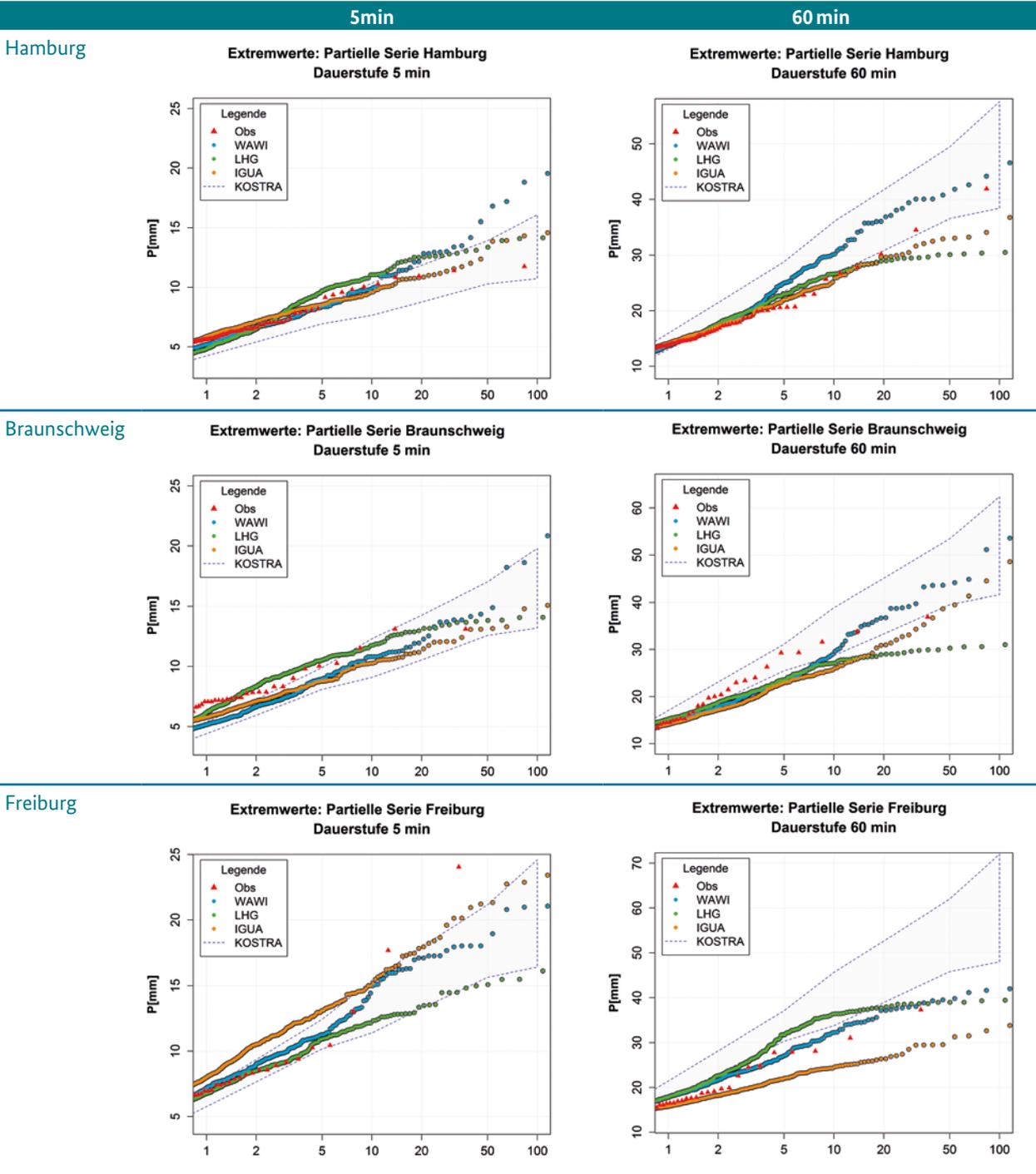


Abb. 1: Extremwerte der synthetischen Niederschläge (partielle Serie) und der Beobachtungsdaten (Obs) im Vergleich zu KOSTRA für Braunschweig, Hamburg und Freiburg. Quelle: Eigene Darstellung

## Ergebnisse der Niederschlagsmodellierung

Niederschlagszeitreihen bestehen aus Niederschlagsereignissen, deren Höhe, Dauer und zeitlicher Verlauf die Auswirkungen innerhalb des urbanen Kanalnetzes bestimmen. Für die Niederschlagsmodelle ist es daher wichtig, Ereignischarakteristiken innerhalb der synthetischen Zeitreihen zu schaffen, welche mit denen der beobachteten Zeitreihe vergleichbar sind. Die Abbildung der Extremereignisse ist besonders bedeutend, da diese für die Bemessung von Kanalnetzen herangezogen werden und Auskunft darüber geben, mit welcher Häufigkeit mit einer Überlastung des Systems zu rechnen ist.

Abbildung 1 zeigt die partiellen Serien der Extremwerte für zwei verschiedene Dauerstufen (5 min und 60 min). Zusätzlich sind die entsprechenden Werte des KOSTRA-Atlases (Koordinierte Starkniederschlagsregionalisierung – Auswertung) inklusive Unsicherheitsbandbreite

dargestellt, die aktuell in der Praxis oft für die Bemessung herangezogen werden. Bei der Dauerstufe 5 min befinden sich die Beobachtungswerte innerhalb der von KOSTRA aufgespannten Unsicherheitsbandbreite bzw. werden leicht unterschätzt (Braunschweig). Bei 60 min ist für die Untersuchungsgebiete Freiburg und Hamburg eine Tendenz zur Überschätzung der Beobachtungsdaten durch KOSTRA zu erkennen. Die Mehrzahl der synthetischen Niederschläge zeigt im Vergleich geringere Extremwerte für diese Dauerstufe und liegt damit dichter an den Beobachtungswerten. Da längere Dauerstufen (ab 1 h) in den betrachteten Kanalnetzen den überwiegenden Teil der relevanten Ereignisse ausmachen (> 80 Prozent), erscheint die Nutzung der synthetischen Niederschläge sinnvoll. Dadurch würden effektiv eine Überdimensionierung verhindert und eine ökonomischere Planung ermöglicht werden.

## Ergebnisse der Kanalnetzmodellierung

Um die Verwendbarkeit und den Nutzen synthetischer Niederschlagsdaten für die Kanalnetzplanung zu bewerten, wurden diese in N-A-Modellen getestet. N-A-Modelle bilden vereinfacht alle wichtigen hydrologischen Abflussvorgänge ab, die während eines Regenereignisses auf der Oberfläche und im Kanalnetz wirken. Ihr Einsatz für verschiedene Anwendungsfelder der Entwässerungsplanung ist Stand der Technik. Die Güte der abflusseitigen Simulationsergebnisse hängt direkt von der Qualität der Niederschlagsdaten ab. Sie sind die maßgebende Belastungsgröße und haben letztlich entscheidenden Einfluss auf die Dimensionierung der Kanalnetze.

Für die Bewertung der synthetischen Niederschlagsdaten und die resultierenden Ergebnisse der N-A-Modellierung wurden diese mit dem Referenzverhalten für verschiedene Zielgrößen verglichen. Das Referenzverhalten entspricht der N-A-Simulation auf Grundlage gemessener Niederschlagsdaten. Da auch gemessene Regendaten Unsicherheiten beinhalten, wurden diese

quantifiziert und als grauer Validierungsbereich in den Graphiken dargestellt. Die Diagramme zeigen exemplarisch die Ergebnisse für die Zielgröße Überstauwiederkehrzeit bei gleichmäßiger Überregnung (siehe Abbildung 2). Die Überstauwiederkehrzeit gibt an, wie oft aus einem Schachtdeckel Wasser austritt:  $T = 2$  bedeutet z. B. alle zwei Jahre. Die Diagramme zeigen unter anderem den Anteil der untersuchten Schächte, für die die Simulation mit synthetischen Regendaten zu vergleichbaren Ergebnissen kommt wie die Simulation auf Grundlage ortsspezifisch gemessener Referenzdaten.

In der Praxis ist die nächstgelegene Station des Deutschen Wetterdienstes (DWD) häufig die einzig verfügbare Datengrundlage. Diese Zeitreihen sind aber selten länger als zehn Jahre, und die Stationen liegen oft mehr als 20 km entfernt. Die Ergebnisse aus SYNOPSE zeigen: Die Verwendung benachbarter DWD-Stationen führt zu größeren Unsicherheiten. Die synthetischen Zeitreihen sind für viele der untersuchten Zielgrößen die bessere Planungsgrundlage.

## Überstauwiederkehrzeit

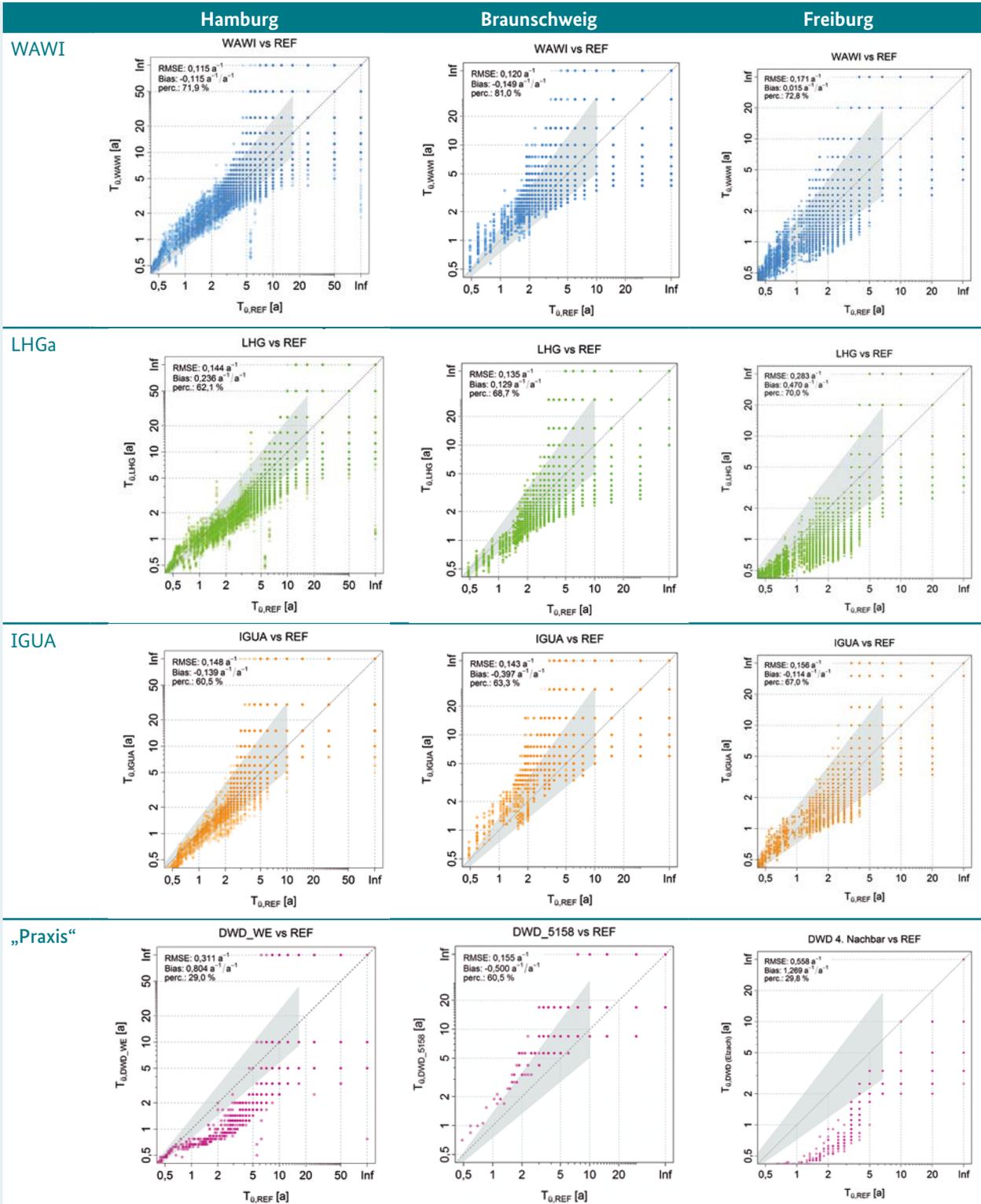


Abb. 2: Überstauwiederkehrzeiten der synthetischen Niederschläge und des Praxisfalls im Vergleich zu den Beobachtungsdaten für Braunschweig, Hamburg und Freiburg. Quelle: Eigene Darstellung

## Schlussfolgerungen und Ausblick

Das Ziel des Projekts SYNOPSE ist es, synthetische Niederschlagszeitreihen für die optimale Planung und den Betrieb von Stadtentwässerungssystemen bereitzustellen. Die Kanalnetzmodellierungen zeigen, dass diese bei ganzheitlicher Betrachtung zu besseren Ergebnissen führen als das Praxiszenario. Hierbei ist jedoch keines der Niederschlagsmodelle eindeutiger Favorit. Je nach betrachtetem Ergebnis der Kanalnetzmodellierung, dem Untersuchungsgebiet oder der Niederschlagscharakteristik variieren die Rangfolgen der N-Modelle.

Es wurden sowohl Validierungen der generierten Zeitreihen anhand beobachteter Niederschlagszeitreihen durchgeführt, als auch die Auswirkungen innerhalb des Kanalnetzes untersucht. Für die Kanalnetzbetrachtungen wurde ein zusätzliches Praxiszenario entwickelt, bei welchem die Zeitreihe einer DWD-Station in typischer Entfernung zum Untersuchungsgebiet verwendet wird.

Aufgrund der guten Eignung der synthetischen Niederschläge erscheint es sinnvoll, diese als Alternative zu bisherigen Bemessungsverfahren in Erwägung zu ziehen. Der Transfer der Projektergebnisse wird als wesentlich erachtet und erfolgt über mehrere Wege, z. B. über die DWA-AG Niederschlag und Expertengespräche (vgl. Haberlandt 2016). Das Modell NiedSim, welches sich bereits in Baden-Württemberg, Bayern, Hessen und Rheinland-Pfalz als Praxismodell zur Erzeugung synthetischer Niederschlagszeitreihen etabliert hat, wurde durch das Projekt und die damit verbundenen Ergebnisse weiterentwickelt. Wünschenswert wären die Regionalisierung und Bereitstellung von Niederschlagszeitreihen für ganz Deutschland, ein Vorhaben, das in einem Folgeprojekt durchgeführt werden könnte.

#### Autoren:

Jens Alex und Tobias Morck

Projekt: NoNitriNox

#### Literatur:

Alex, J., T. Morck und U. Zetl (2015): Modelltechnische Überprüfung energieeffizienter Luftverteilerregelungen bei Druckbelüftung. DWA-GMA-Gemeinschaftstagung „Mess- und Regelungstechnik in abwassertechnischen Anlagen“, Kassel.

Alex, J., L. Rieger und O. Schraa (2016): Comparison of Advanced Fine-Bubble Aeration Control Concepts with Respect to Energy Efficiency and Robustness. WEFTEC 2016, Proceedings.

Schraa, O., L. Rieger und J. Alex (2015): A Comprehensive Aeration System Model for WRRF Design and Control. WEFTEC, 28.–30.09.2015, Chicago, USA.

## F3

# Integrierte Simulationswerkzeuge zur Planung intelligenter Abwasserinfrastruktur

## Einleitung

Viele Kläranlagen weisen teils deutliche Energieeinsparpotenziale auf, die mittels Energieanalysen aufgedeckt werden können. Die Werkzeuge dynamische Modellierung und Simulation von abwassertechnischen Anlagen sind Stand der Technik und eignen sich hervorragend zur Unterstützung von Energieanalysen. Der Vorteil der Nutzung der dynamischen Simulation zur Unterstützung von Energieanalysen und Optimierungsaufgaben liegt in der dynamischen Abbildung aller relevanten verfahrenstechnischen Prozesse. Neben den biologischen Reinigungsprozessen und der Funktionalität von Belüftungssystemen können variierende Randbedingungen, Betriebsführungsstrategien, Automatisierungskonzepte wie auch Emissionen umweltgefährdender Stoffe integral bewertet werden. Bei unsachgemäßer energetischer Optimierung der Belüftung von Kläranlagen besteht die Gefahr unerwünschter Nebenwirkungen wie erhöhte Emissionen von Ammonium, Nitrit und Distickstoffmonoxid (Lachgas).

International steht eine Anzahl von Simulationsumgebungen zur Verfügung, die es erlauben, sowohl die verfahrens- und maschinen- als auch die regelungstechnischen Optionen zu simulieren. Im Projekt NoNitriNox wurde das Simulationswerkzeug SIMBA# (vgl. Alex 2015) des Projektpartners ifak verwendet und um wichtige Komponenten ergänzt. Eine Besonderheit des Werkzeuges liegt in der Verknüpfung zugeschnittener verfahrenstechnischer Modellierung (u. a. Biologische Kläranlagen, Schlammfäulung) mit maschinentechnischen Komponenten wie dem Belüftungssystem sowie vielfältigen Optionen zur Beschreibung automatisierungstechnischer Funktionen.

Darüber hinaus wurden Ergebnisse der Hochschulgruppe „Simulation“ (HSGSim) zur Realisierung einer aufwandsarmen und zur Planungspraxis (DWA A131 2016) konformen Durchführung von Simulationsstudien umgesetzt.

## Prozessmodell

Die Auswirkung der unterschiedlichen betrieblichen Maßnahmen auf die Funktion (u. a. Ablaufwerte) der Anlage ist mit einfachen stationären Überlegungen meist nicht zu quantifizieren. Hier muss in der Regel mit dem Werkzeug der dynamischen Simulation gearbeitet werden, alternativ bleibt nur die Methode „Trial and Error“ an der realen Anlage.

Für die Abbildung der biologischen Abbauprozesse liegen verlässliche und seit vielen Jahren bewährte Belebtschlammmodelle vor. Für die vereinfachte Anwendung existieren aktuelle Hinweise, die in der Hochschulgruppe „Simulation“ entwickelt wurden. Zur Beschreibung der Prozesse zum Abbau von Kohlenstoffverbindungen und Stickstoff (Nitrifikation und Denitrifikation) liegt mit dem ASM<sub>3</sub> (Activated Sludge

Model No. 3) eine verlässliche Modellgrundlage vor. Dieses einfache Modell sollte für die meisten Fragen, die im Zuge der automatisierungs- und verfahrenstechnischen Optimierung auftreten, verlässliche Antworten liefern. Ergänzt werden die Belebtschlammmodelle durch Modelle der Vorklärung, Nachklärung, Abwasser-verteiler, Faulung usw., um die verfahrenstechnische Seite einer Kläranlage vollständig beschreiben zu können.

Im Projekt NoNitriNox wurde darüber hinaus ein erweitertes Belebtschlammmodell entwickelt, das zusätzlich wichtige Zwischenprodukte der Abwasserreinigung (Nitrit, Lachgas) beschreibt und potenzielle Emissionen von Lachgas abschätzt (Details siehe Kapitel C7).

## Ausrüstung

Bei Belebungsanlagen wird der Sauerstoff meist über eine feinblasige Belüftung eingebracht. Bei größeren Anlagen werden die einzelnen Beckenabschnitte mit Stichleitungen versorgt, für die die eingebrachte Luftmenge mittels Regelarmaturen verstellbar werden kann. Die Stichleitungen werden über eine Luftsammelschiene versorgt. Die Luft auf der Sammelschiene wird durch mehrere Drehkolbengebläse oder Turboverdichter bereitgestellt. Die eingebrachte Luftmenge in die einzelnen Beckenabschnitte muss an den momentanen Sauerstoffbedarf angepasst werden.

Zur Simulation des Verhaltens von Belüftungssystemen wurden die erforderlichen Modelle in SIMBA# implementiert und getestet. Die neue Modellbibliothek beinhaltet Komponenten zur Beschreibung von

- Gebläsen und Gebläsesteuerungen,
- Rohrleitungen mit typischen Einbauten,
- Regelarmaturen (konventionell und Neuentwicklungen) und
- Belüfterelementen (Einrichtungen zum feinblasigen Eintrag von Luft in Belebungsbecken),

die untereinander oder aber in Verbindung mit einem verfahrenstechnischen Kläranlagenmodell verschaltet werden können. Selbstverständlich kann auch die Funktion der Automatisierungstechnik bis ins Detail berücksichtigt werden. Mit dieser Erweiterung können nun

- Belüftungssysteme energieeffizienter gestaltet werden,
- häufige Planungsfehler, die zu ungünstigem Betriebsverhalten führen, vermieden werden,
- künftig steigende Anforderungen an starke Lastschwankungen bei Extremregenerereignissen (Anpassung an Klimawandel) besser erfüllt werden,
- Energiebezüge flexibler gestaltet werden (Energie-  
management, Teilnahme am Energiemarkt),
- in der Planung Analysen durchgeführt werden, wie Kläranlagen intelligenter reagieren (Industrie 4.0-Konzepte).

## Modelle für Belüfter

Belüfter sind Einrichtungen zum feinblasigen Eintrag von Luft in Belebungsbecken (u. a. Membranbelüfter, Tellerbelüfter, Rohrbelüfter, Keramikkerzen). Die betrachteten Modelle realisieren die

- Beschreibung des Druckabfalls bei unterschiedlicher Beaufschlagung,
- Beschreibung der Effizienz des Sauerstoffeintrages, abhängig von Modelltyp, Beaufschlagung, Belegungsdichte, Betriebsbedingungen, Aufstellungshöhe usw. und
- anwenderfreundliche Unterstützung von europäischen und US-Einheiten.

In Abbildung 1 ist der Parametrierungsdialog dieses Modells dargestellt.

Zur Anpassung an den jeweiligen Ausrüster können jeweils vier Punkte der

- Kennlinie zur Beschreibung der Belüftungseffizienz (g Sauerstoffeintrag je Normkubikmeter Luft und Meter Einblastiefe) als Funktion der Beaufschlagung ( $\text{Nm}_3/\text{h}$  Luft je Belüfter oder je m Belüfterlänge) und der
- Kennlinie zur Beschreibung des Druckabfalls in mbar als Funktion der Beaufschlagung

vorgegeben werden.

Ebenfalls in Abbildung 1 ist die aus den vier vorgegebenen Punkten resultierende Effizienzkurve für ein Beispiel dargestellt. Das Modell des Sauerstoffeintrags berücksichtigt weiterhin Belegungsdichte, Salzgehalt, Temperatur, Luftdruck, Alpha-Wert, Wasserstand und aktuelle Sauerstoffkonzentration im Becken. Die aktuelle Beaufschlagung und damit die gerade erzielte Effektivität sind in dem Bild als vertikale orange Linie dargestellt. Für die Analyse des Energiebedarfs ist hier die detaillierte Berücksichtigung des Sauerstofftrags aus der eingetragenen Luft relevant.

## Modelle für Rohrleitungen

Die Rohrleitungsmodelle beschreiben unter Nutzung von Gasgleichungen, der Luftfeuchte und der Temperatur den

- Druckabfall in Rohrleitungen (Reibungsverluste) und den
- Einfluss von Einbauten (Bögen, Armaturen usw.).

## Modelle für Regelarmaturen

Um die Anpassung der Luftverteilung in verschiedene Stränge abzubilden, müssen unterschiedliche Bauformen von Regelarmaturen abgebildet werden können. Das Modell erlaubt zurzeit die folgenden Kennlinienformen:

- gleichprozentige Kennlinie,
- lineare und quadratische Kennlinie,
- spezielle Kennlinien (e. g. Jet).

## Modelle für Gebläse

Zur Bereitstellung verdichteter Luft werden vorrangig Turboverdichter oder Drehkolbengebläse eingesetzt. Die erforderlichen Modelle beschreiben Regelbereich, Wirkungsgrade, Energieverbrauch, Anlaufverhalten und kritische Betriebspunkte dieser Aggregate.

### Staffelsteuerung

Um die Koordinierung einer Staffel von Gebläsen (bzw. auch einer Pumpenstaffel für die Abwasserförderung) zu beschreiben, wurde ein optimierter Staffelregler entwickelt:

- universeller Block zur Koordinierung einer Gebläsestaffel,

- Konfiguration in Excel,
- Optimierung des Wirkungsgrads,
- stetiger Regelbereich,
- Hysterese bei Konfigurationsumschaltung.

Mit dem Prototyp dieser Erweiterung wurden bereits einige Studien durchgeführt.

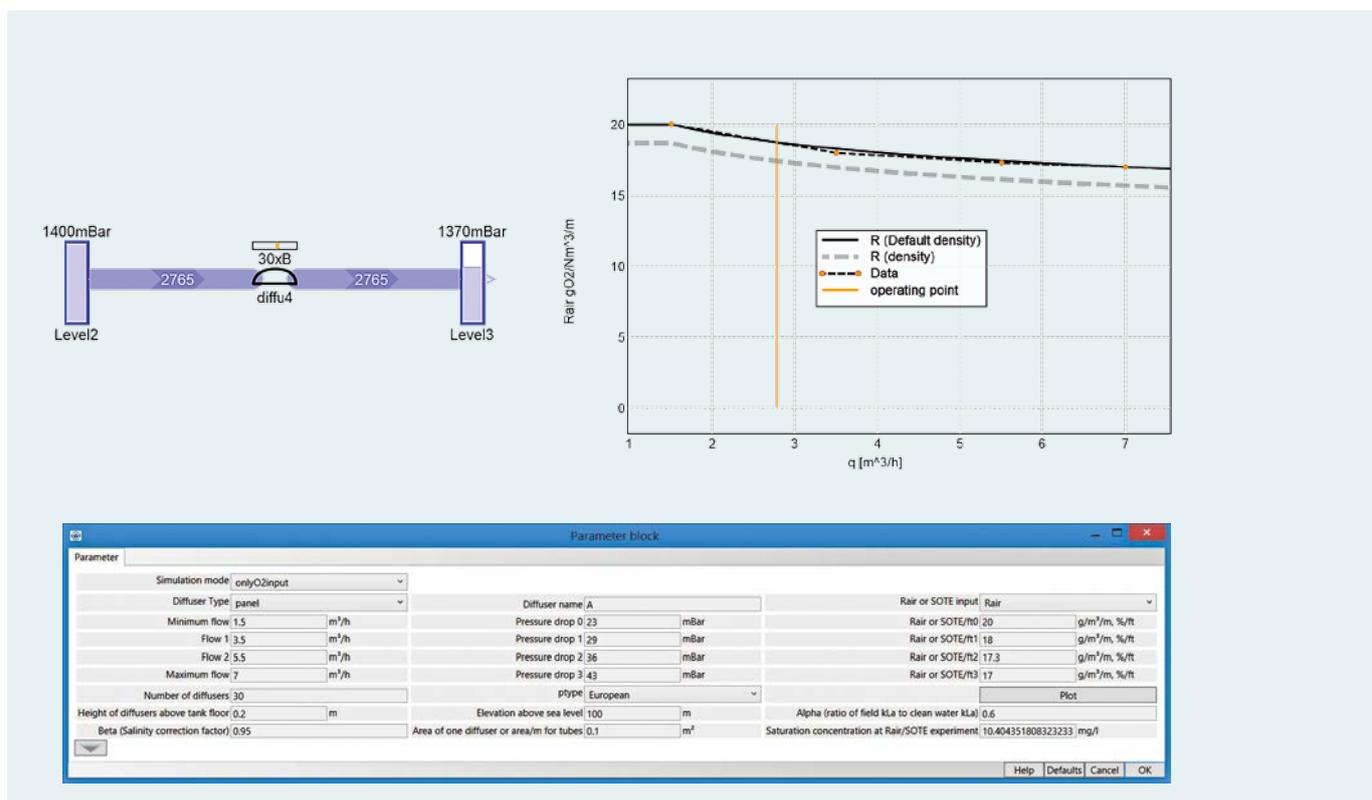


Abb. 1: Parametrierung Belüftermodell, Kennlinie Belüftungseffizienz.  
Quelle: ifak 2016

## Modelle für Funktionen der Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik (MSR)

Um die Auswirkung regelungstechnischer Maßnahmen in der Simulation beschreiben zu können, müssen automatisierungstechnische Funktionen abgebildet werden. Für viele Anwendungen ist die Beschreibung der regelungstechnischen Funktionen als Funktionsblockdiagramm sinnvoll. Eine Standardbibliothek grundlegender Funktionsblöcke liegt in SIMBA# vor. Es sind Blöcke für grundlegende mathematische Funktionen, Signalverarbeitung, dynamische Funktionen wie allgemeine Übertragungsfunktionen, Kennlinienblöcke sowie Standardregler vorhanden.

Dieser funktionsblock-orientierte Ansatz ist insbesondere für kontinuierliche Steuerungen/Regelungen und einfache logische Operationen zielführend. Für die Beschreibung von Ablaufsteuerungen sind jedoch andere Beschreibungsformen sinnvoll. Im beschriebenen Planungswerkzeug wird ein Petri-Netz-basierter Ansatz verfolgt.

Um den einfachen Transfer von Steuerungsalgorithmen, die simulativ entwickelt und erprobt wurden, in praktische Anwendungen zu ermöglichen, ist in SIMBA# ein spezieller Block entwickelt worden, dessen Funktion über eine der standardisierten SPS-Programmiersprachen (IEC61131 ST – Strukturierter Text [IEC 61131-3 2002]) definiert werden kann. Der entwickelte und getestete Funktionsblock kann später als Quellcode den implementierenden Ingenieuren übergeben werden und dient dann als eindeutige Funktionsbeschreibung, oder der Code wird direkt in die SPS-Programmierung kopiert.

### Verfahrensregler

Um den Betrieb von Kläranlagen simulieren zu können, müssen auch typische und weitergehende Automatisierungskonzepte im Planungswerkzeug zur Verfügung stehen. Neben grundlegenden regelungstechnischen Funktionen (PID-Regler) wurden im Rahmen von NoNitriNox Regelungen zur Verbesserung der Ablaufwerte und des Energiebedarfs analysiert, Einstellvorschriften erarbeitet und die entsprechenden Regler als Simulationsbausteine bereitgestellt.

### Belüftungsregler

Ein besonderer Schwerpunkt lag auf der Analyse von Regelungen zur Bereitstellung und Verteilung von Druckluft zur Belüftung der Becken. Hier besteht in der Planung ein signifikantes Optimierungspotenzial bezüglich der Energieeffizienz, das mit geeigneten Regelungen ohne jede Gefahr von erhöhten Lachgasemissionen umgesetzt werden kann. In Alex et al. (2015; 2016) werden Standardvarianten für diese Aufgabe analysiert, einfache Einstellregeln abgeleitet und drei ausgewählte Vorschläge für alternative Konzepte untersucht.

### Ammoniumregler

Für eine Ammoniumregelung ist generell ein angepasster PID-Block geeignet. Für sie muss die Ammoniumkonzentration (bzw.  $\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3\text{-N}$ ) im Ablauf des Nitrifikationsbeckens gemessen werden. Auf Grund der angestrebten niedrigen Ablaufkonzentrationen muss ein Analyser eingesetzt werden. Die Stellgröße des Ammoniumreglers ist typischerweise der Sollwert der Sauerstoffkonzentration.

### Schlammalterregler

Ein weiterer Regler zur Verbesserung von Performance (N-Elimination) und Energieeinsatz ist die Regelung des Schlammalters. Für diese ist es zunächst erforderlich, das Schlammalter zu kennen. Es werden unterschiedliche Varianten implementiert. Wird der Überschussschlamm aus der Rücklaufschlammleitung abgezogen und ist keine TS-Messung (TS = Trockensubstanz) an dieser Stelle installiert, muss zusätzlich der TS-Gehalt im Rücklaufschlamm bzw. im Überschussschlamm abgeschätzt werden.

Zur Vorgabe der Überschussschlammmenge sind unterschiedliche Konzepte vorstellbar.

Für alle Regelungen kann ausreichend schnelles und schwingungsarmes Verhalten erreicht werden. Die SRT-Steuerung (Abzug aus dem Belebungsbecken) stellt dabei das gewünschte Schlammalter deutlich langsamer ein als eine Schlammalterregelung. Alle

Variante	
TS-Regler	Eine konventionelle Methode ist eine Regelung der TS-Konzentration im Belebungsbecken bei manueller Vorgabe des TS-Sollwertes. Der TS-Gehalt im Belebungsbecken wird gemessen und gefiltert (exponentielles Vergessen, $T = 1d$ ), Block PT1
SRT-Regler	Als alternative Variante kann das Schlammalter auf einen vorgegebenen Sollwert geregelt werden. (SRT = sludge retention time)
SRT-Steuerung	Eine Untervariante hiervon ist eine konstante Überschussschlammabnahme aus dem Belebungsbecken.
Sauerstoff-SRT-Regler	Eine neue Variante ist ein Regler, der bei vorhandener Ammoniumregelung den mittleren Sauerstoffgehalt auf einen vorgegebenen Sollwert regelt und das hierfür erforderliche Schlammalter einstellt.

Übersicht 1: Varianten zur Vorgabe der Überschussschlammmenge. Quelle: Eigene Darstellung

beschriebenen Reglervarianten bieten Energieeinsparpotenzial. Mit einer Ammonium-Regelung sind deutliche Verbesserungen bezüglich Energiebedarf

und Faulgasproduktion erreichbar. Mit einer Schlammalterregelung lässt sich dann die Faulgasausbeute noch weiter steigern.

## Zusammenfassung

Die dargestellten Beispiele zeigen für jeweils ausgewählte Aspekte, dass mit dem Werkzeug dynamische Simulation alle relevanten Details einer Kläranlage beschrieben werden können, die zur Abschätzung der verfahrenstechnischen Funktion und des hierfür erforderlichen Energiebedarfs notwendig sind.

Potenzial zur Minimierung des Energiebedarfs steckt in vielen Details von Verfahrensgestaltung, Betriebsführung, Ausrüstung und Automatisierung:

- optimale  $O_2$ -Profile, variable Anpassung des  $O_2$ -Niveaus der Anlage,
- maximale Denitrifikation,
- angepasste Belegungsdichte der Belüfter, Anpassung an typische Betriebspunkte,
- Dimensionierung der Gebläse, Auslegung Staffeln,
- Regelungskonzept Luftbereitstellung (z. B. Gleitdruck),
- Einsatz optimierter Stelleinrichtungen (Regelarmaturen) usw.

Für alle diese Fragestellungen erweist sich die Nutzung von Simulationsmodellen als leistungsfähiges Ingenieurwerkzeug. Die Nutzung der Simulation ist für einen einzelnen, isolierten Aspekt vermutlich nicht kosteneffektiv, aber die gemeinsame Beantwortung einer Vielzahl von Fragestellungen in Kombination mit der verfahrenstechnischen Optimierung ist sehr häufig angezeigt. Mit den aktuellen Hinweisen zur aufwandsarmen Realisierung von Simulationsstudien kann eingeschätzt werden, dass aus den Betriebsdaten einer Kläranlage schnell die Datenbasis für ein Simulationsmodell generiert werden kann. Mit diesem lassen sich neben verfahrenstechnischen Fragestellungen auch eine geeignete Automatisierung, die Ausrüstung und der Energiebedarf analysieren.

Dass geplante MSR-Konzepte dann in der Praxis auch funktionieren, kann nicht als selbstverständlich betrachtet werden. Es gibt viele Details, die sinnvoll gestaltet werden müssen, um am Ende einen optimalen automatischen Betrieb zu gewährleisten. Mit dem Werkzeug der dynamischen Simulation ist ein Ingenieurwerkzeug für diese Aufgabe verfügbar. Als einzige Alternative hierzu kann nur die aufwändige Erprobung unter Betriebsbedingungen gesehen werden.

Bei einer energetischen Optimierung sollten Maßnahmen bevorzugt werden, mit denen die Lachgasemissionen entweder nicht verändert oder aber nachweisbar nicht drastisch verschlechtert werden. Das entwickelte Modell kann hier Anhaltspunkte liefern.

#### Autoren:

Michael Ogurek und Jens Alex

Projekt: nidA200

#### Literatur:

Henke, R. M. (2014):  
Modellierung und Simulation  
neuartiger Sanitärsysteme mit  
Fokus auf die Grauwasserbe-  
handlung, Bachelorarbeit  
(Universität Magdeburg,  
Fakultät für Elektrotechnik und  
Informationstechnik, 07.08.2014).

Ogurek, M., und J. Alex (2015):  
Incorporating LCA into Process  
Simulators. WEFTEC 2015,  
Workshop on Knowledge  
Development Forum: The Future  
of Modeling at Water Resource  
Recovery Facilities, 27.09.2015,  
Chicago, USA.

Ogurek, M., J. Alex, L. Rieger,  
O. Schraa und M. Schütze (2015):  
A Novel Integrated Approach  
for Designing, Testing and  
Implementing WRRF Process  
Control Solutions. WEFTEC,  
28.–30.09.2015, Chicago, USA.

Robleto, G., R. Henke, U. Jumar  
und W. Halang (2015):  
Integrierte Materialflussanalyse  
und Prozessmodellierung als  
Planungshilfe im Wasser-  
und Energiesektor, in: at –  
Automatisierungstechnik 63 (7),  
S. 518 – 534.

## F4

# Integrierte dynamische Modellierung von Grauwasseranfall und Grauwasserbehandlungs- konzepten

## Einleitung

Ziel des Vorhabens „nidA200“ war die Entwicklung eines dezentralen Abwasserreinigungskonzepts, bei dem durch den Einsatz alternativer Sanitärsysteme Gelb-, Grau- und Braunwasser getrennt gesammelt und verwertet werden. Durch die Einführung alternativer Sanitärsysteme, die Mitbehandlung des Siedlungsbioabfalls und den Einsatz von Massenalgenkulturen (MAK) sollte eine weitgehende Abwasserreinigung bei hoher Energieeffizienz und maximaler Nährstoffrückgewinnung erreicht werden. Für das entwickelte dezentrale Abwasserreinigungskonzept wurde ein dynamisches Anlagenmodell erstellt, um verfahrenstechnische Details modellbasiert zu bewerten. Dazu gehörten auch Aspekte zur Kostenberechnung und Bewertung ökologischer Kenngrößen. Hierfür wurde das Simulationssystem SIMBA# eingesetzt. SIMBA# ist eine Software, mit der Kanalnetze, Kläranlagen, Biogasanlagen und Fließgewässer modelliert und dynamisch simuliert werden können. Im Rahmen des Vorhabens wurde das Simulationssystem um neue Module (z. B. Schlammwäsche) und Konzepte zur Beschreibung von Kosten und Ressourcenströmen ergänzt. Grundlage und von besonderem Interesse waren die Modellierung des Abwasseraufkommens und die Modellierung der biochemischen Prozesse in der nidA200-Anlage. Die Ergebnisse des Vorhabens zur integrierten dynamischen Modellierung von Grauwasseranfall und Grauwasserbehandlungskonzepten werden in Zukunft auch für die Bewertung anderer alternativer Sanitärkonzepte nutzbar sein.

## Modellierung des Abwasseraufkommens

Einen zentralen Baustein für die Modellierung des Gesamtsystems stellte die Beschreibung der Abwasserströme dar. Die Güte dieser Daten bestimmt die Güte der Simulationsergebnisse und determiniert letztlich die Belastbarkeit der mit dem Modell generierten Schlussfolgerungen für das Gesamtkonzept. Beim Modellieren der einzelnen Abwasserarten ist hinsichtlich der Schmutzfrachtquellen zu unterscheiden. Übersicht 1 zeigt Beispiele für häusliche Schmutzfrachtquellen („Interfaces“) und resultierende Abwasserarten.

In kleinen Einzugsgebieten mit wenigen hundert Einwohnern (EW) fallen hinsichtlich des Abwasseranfalls die Bevölkerungsstruktur und die verwendeten Sanitärtechnologien stark ins Gewicht. Beim Modellieren von Kläranlagen typischerweise verwendete Konzepte zur Modellierung von Abwasserzusammensetzung und -dynamik sind in diesem Fall nur bedingt anwendbar. Der im Rahmen des Projekts entwickelte Ansatz erlaubt die quantitative und qualitative Beschreibung von variierenden Abwasserzusammensetzungen und -dynamiken auf Grundlage frei definierbarer Zusammensetzungen der Bevölkerung („Population“) und Aktivitätsmuster einzelner Bevölkerungsgruppen („Humans“).

Für die in Abbildung 1 dargestellte Beispielkonfiguration zu Bevölkerungszusammensetzung und Aktivitätsmustern ergeben sich die in Abbildung 2 dargestellten Verläufe von Volumenströmen und CSB-Frachten (CSB = Chemischer Sauerstoffbedarf) als gestapelte Flächen. Die Nutzung einzelner Abwasserquellen wird durch normalverteilte Zufallszahlen ermittelt. Erwartungswerte dieser Normalverteilungen sind die häufigsten Einleitungszeiten der jeweiligen Abwasserquelle für einzelne Bevölkerungsgruppen (Kinder, berufstätige Erwachsene, Senioren).

	Abwasserquelle	Abwasserart
Toiletten, Urinale	Spültoilette	Schwarzwasser
	Spültoilette (Urinseparation)	Braunwasser/Gelbwasser
	Urinal	Gelbwasser
Küche	Handspülbecken	Grauwasser (stark belastet)
	Spülmaschine	Grauwasser (stark belastet)
Bad	Wanne	Grauwasser (schwach belastet)
	Waschbecken	Grauwasser (schwach belastet)

Übersicht 1: Beispiele für häusliche Abwasserquellen (nicht vollständig)

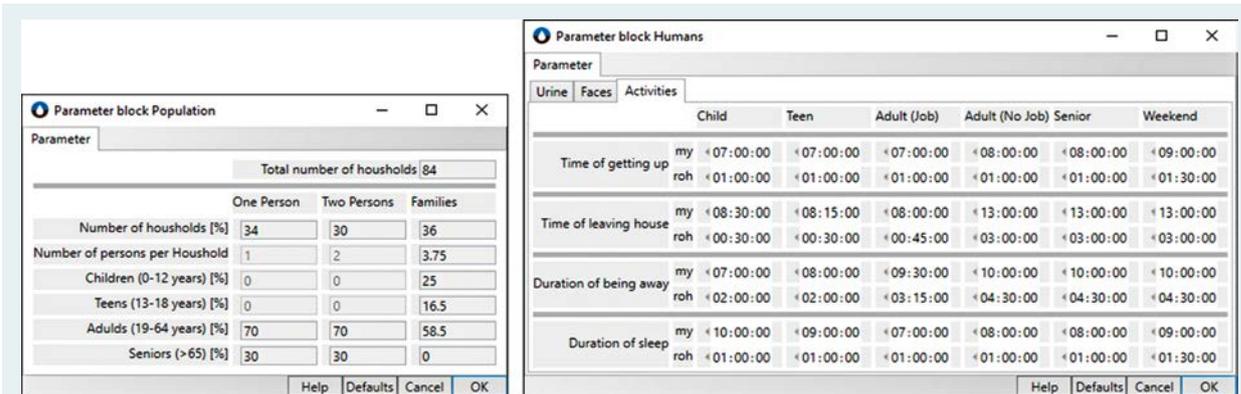


Abb. 1: Dialoge der Module „Population“ (200 EW) und „Humans“. Quelle: Projekt nidA200

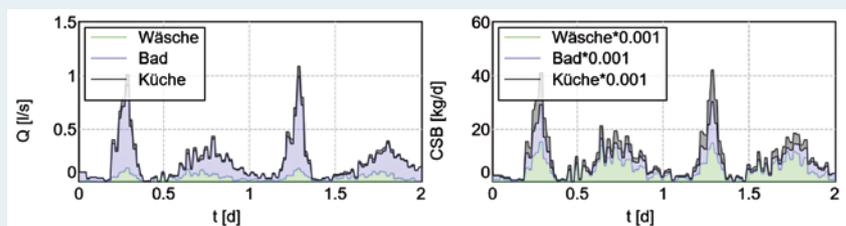


Abb. 2: Zeitverläufe und Anteile für Grauwasserstrom und CSB-Fracht. Quelle: Projekt nidA200

## Modellierung biochemischer Prozesse

Für die nidA200-Anlage werden die Verfahren Abwasserreinigung, Schlammfäulung und Algenkultivierung kombiniert. Damit muss ein größeres Spektrum an biochemischen Prozessen als in typischen Kläranlagenmodellen berücksichtigt werden. Für jedes Teilsystem (z. B. Abwasserreinigung) bestehen spezialisierte und erprobte mathematische Modellansätze zur Beschreibung des biochemischen Milieus. Diese Modellansätze basieren auf Stoffstromvektoren, die explizit so aufgebaut sind, dass das jeweils betrachtete System stofflich hinreichend abgebildet ist. In der nidA200-Anlage sind die einzelnen Prozessschritte über Schlamm- und Abwasserströme miteinander gekoppelt.

Die Stoffstromvektoren der einzelnen mathematischen Modellgrundlagen sind untereinander durchaus ähnlich – jedoch nicht gleich – aufgebaut. Folglich führen der parallele Betrieb von unterschiedlichen Modellansätzen und deren stoffliche Verschaltung über Abwasser- und Schlammströme zu Problemen bei der integrierten Modellierung, für die es keine standardisierte Lösung gibt. Prinzipiell bestehen zwei Ansätze.

- **Schnittstellen-Ansatz:** Die Kopplung der Modellansätze erfolgt hier über explizite Schnittstellenmodelle. Der wesentliche Vorteil dieser Vorgehensweise ist, dass einzelne Prozesse mittels etablierter Ansätze modelliert werden können. Der Nachteil ist der mit der Nutzung von Schnittstellenmodellen verbundene (zwangsläufig resultierende) Informationsverlust.
- **Supermodell-Ansatz:** Bei diesem Vorgehen wird ein systemweit einsetzbarer mathematischer Modellansatz angewandt. Der Vorteil ist, dass Schnittstellenmodelle entfallen und Massebilanzen sowie einzelne prozessspezifische Information erhalten bleiben. Ein nicht zu vernachlässigender Nachteil ist die Komplexität solcher Modellansätze, welche die Interpretation von Simulationsergebnissen erschweren kann.

Aus diesem Grund wurde im Rahmen des Projekts an einem integrierten biochemischen Modellansatz gearbeitet. In diesem sollen etablierte mathematische Modellgrundlagen für die Teilsysteme Abwasserreinigung, Schlammfäulung und Algenkulturen vereint werden.

Organismengruppe (Prozess)	Aerob	Anoxisch	Anaerob
Autotrophe Biomasse (Nitrifikation)	X		
Heterotrophe Biomasse (Denitrifikation)	X	X	
Phosphor akkumulierende Biomasse (biolog. Phosphorelimination)	X	X	X
Phototrophe Biomasse (Algen)	X	X	
Acidogene Biomasse (Fermentation)			X
Acetogene Biomasse (Essigsäurebildung)			X
Acetotrophe Biomasse (Methanbildung)			X
Hydrogenotrophe Biomasse (Methanbildung)			X

Übersicht 2: Organismengruppen des integrierten biochemischen Modellansatzes. Quelle: Eigene Darstellung.

Übersicht 2 führt die in einem solchen Modellansatz zu berücksichtigenden Organismengruppen auf.

Aus dem integrierten biochemischen Modellansatz ergeben sich für die Anlagenmodellierung und den Anwender wichtige Vorteile. Zu diesen zählen:

- Die aufwendige und fehleranfällige Konvertierung durch Schnittstellenmodelle zwischen den einzelnen Modellgrundlagen entfällt.
- Einzelne prozessspezifische Informationen bleiben über die einzelnen Behandlungsstufen/Milieus erhalten.
- Es können Seiteneffekte, die durch Milieuwechsel hervorgerufen werden (z. B. Verhalten von Algen im anaeroben Milieu), untersucht werden.
- Mit klassischen Methoden nur schwer nachvollziehbare Zusammenhänge zwischen einzelnen Anlagenteilen können untersucht werden und in die Bewertung einer Anlage eingehen.

## Modellierung der nidA200-Anlage

Die Modellierung der nidA200-Anlage basiert auf dem Simulationssystem SIMBA#. Abbildung 3 zeigt die finale Version des Modells der nidA200-Anlage mit den Komponenten Abwasserreinigung (SBR), Algenanlage und Schlammbehandlung sowie deren Verschaltung über diverse Abwasser- und Schlammströme. Das Anlagenmodell wurde mit Daten aus der Dimensionierung parametrisiert und entsprechend verschaltet. Die Modellierung des Abwasseraufkommens basiert auf dem oben genannten Konzept. Aus der nidA200-Anlage wurden noch zwei reduzierte Anlagenkonzepte abgeleitet und ebenfalls modelliert.

Die dynamische Modellierung und Simulation bestätigt soweit zum einen die Reinigungsleistung der im Projekt entwickelten Anlagenkonzepte. Sie erlaubt zum anderen deren Testung durch die dynamische Modellierung des Grauwasseranfalls auf Grundlage variierender Bevölkerungsstrukturen und Verbrauchsverhalten, die in kleinen Einzugsgebieten einen sehr viel größeren Einfluss auf die Anlagenperformance haben können.

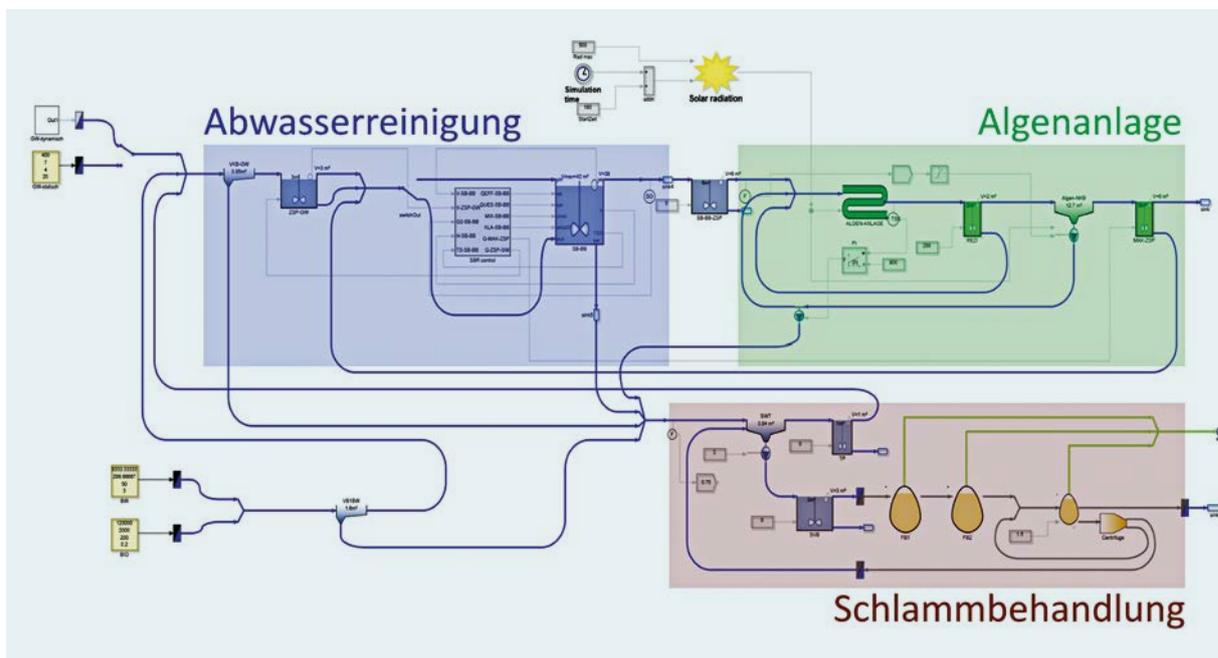


Abb. 3: Modell der nidA200-Anlage. Quelle: Projekt nidA200

#### Autoren:

Gerald Angermair, Ingo Kropp  
und Heinrich Söbke

Projekt: TWIST++

#### Literatur:

Miethke, A., und K.-H. Spies  
(2017): Datenstandardisierung  
als Basis für Interoperabilität  
von Planungssystemen, Berlin  
(vgl. Beitrag F6).

Schwarz, D. et al. (2016): SOA  
Applied: Engineering Software  
as Processing Unit of a Serious  
Game, in R. Bottino, J. Jeuring, &  
R. C. Veltkamp (Eds.): Games and  
Learning Alliance 5th International  
Conference, GALA 2016, Ut-  
recht, Netherlands, LNCS 10056  
(pp. 177 – 186), [http://doi.org/10.1007/978-3-319-50182-6\\_16](http://doi.org/10.1007/978-3-319-50182-6_16) (letzter Abruf: 04.04.2017).

Söbke, H., D. Schwarz und  
L. Schnatmann (2017):  
Ganzheitliches Engineering mit  
Gamekonzepten: Spielsimulation  
als Entscheidungsunterstützung  
und Bürgerbeteiligung, Berlin  
(vgl. Beitrag F7).

Söbke, H., et al.: Software-  
TWISTing: Integrierte Systeme  
für die Planung zukunftsfähiger  
kommunaler Wasserinfrastruktur,  
in: KA Korrespondenz Abwasser  
Abfall (im Erscheinen).

## F5

# Softwareunterstützung für die integrierte Planung innovativer Wasserinfrastruktur – modular und adaptiv

## Software als Grundlage für effiziente Planung

Mithilfe von Software werden in der heutigen Zeit viele Aufgaben der Planung effizient erledigt. Sinnvolle und effiziente Planung ohne Softwareunterstützung ist nicht mehr denkbar. Zu derartigen Aufgaben gehören beispielsweise die hydraulische Dimensionierung eines Kanal- oder Leitungsnetzes oder die Erneuerungsplanung eines solchen Netzes. Mit dem Fortschritt der softwaretechnischen Möglichkeiten und Rechenkapazitäten steigt auch der Leistungsumfang der Software. Dem gegenüber stehen auch zusätzliche Anforderungen an die Software, die durch verschiedene Entwicklungen forciert werden. Der technologische und konzeptionelle Fortschritt auf dem Gebiet der Wasserinfrastruktur (Abwasserentsorgung und Wasserversorgung) ist ein wesentlicher Treiber, der die Berücksichtigung von neuen Objekten, Daten und Kennzahlen notwendig macht.

## Beispiele neuer Herausforderungen

### Planungsparadigma Ressourcenkreisläufe

Die Betrachtung von Stoffströmen als Ressource macht im Vergleich zu ihrer bisherigen Behandlung als Abfall eine Anpassung der Softwarestruktur notwendig. Zum einen ist eine größere Vielfalt von Stoffströmen zu betrachten, wie das Beispiel Energiegewinnung in modernen Wasserinfrastrukturen zeigt. Zum anderen ist es erforderlich, Ausgangsströme einer Komponente mit den Eingangsströmen einer anderen Komponente zu verknüpfen. Diese Eigenschaft ist beispielsweise eine Voraussetzung, um die Wirksamkeit eines Grauwasserfilters mit Wärmerückgewinnung modellieren zu können.

### Neue technische Optionen

Unterdruckentwässerung ist ein Beispiel für eine Technologie, die in etablierten Planungssystemen kaum unterstützt wird. Zum Entwurf eines Transitionsweges für ein Wasserinfrastruktursystem ist diese Technologie in vielen Fällen eine effiziente Alternative.

### Ganzheitliche Bewertung

Zeitgemäße Bewertungssysteme betrachten neben den ökonomischen Größen einer Wasserinfrastruktur im Sinne eines nachhaltigen Systementwurfs weitere Ziele. Zu diesen zählen außer ökologischen und technischen Parametern auch Versorgungssicherheit, Hygiene und Akzeptanz seitens der Beteiligten. Neben einer Implementierung derartiger Verfahren erfordert eine solche Bewertung noch die Bereitstellung weiterer Daten im Vergleich zu etablierten Planungssystemen.

### Zeitliche Änderungen

Wesentliches Entwurfsziel moderner Wasserinfrastruktursysteme ist eine zugeschnittene Flexibilität. Damit begegnet man den jeweils wirksamen, teilweise stark volatilen Rahmenbedingungen. Planungssoftware muss daher in der Lage sein, Änderungen an der Infrastruktur als zeitliche Verläufe zu modellieren.

Zusammenfassend muss festgestellt werden, dass die Anforderungen an die Planung von Wasserinfrastruktur vielschichtiger werden. Es besteht die Notwendigkeit, weitere Systemzusammenhänge zu berücksichtigen. Zusätzlich muss eine umfangreichere Datengrundlage verarbeitet werden, um eine solide Entscheidungsgrundlage bereitstellen zu können. Auf der einen Seite führt dies zu neuen Herausforderungen in der Softwareentwicklung. Auf der anderen Seite werden die Wertschöpfungspotenziale durch Softwareeinsatz erhöht. Für den Planungsprozess ist der Einsatz einer leistungsfähigen Software von zunehmender Bedeutung.

## Grundlagen des Planungsunterstützungssystems (PUS)

Die Implementierung einer geeigneten Softwarelösung im Rahmen des INIS-Projekts TWIST++, die den oben genannten Anforderungen gerecht wird, wurde an zentralen Entwurfsgrundsätzen ausgerichtet:

### Basissoftware zur Darstellung und Verwaltung georeferenzierter Daten

Kern des PUS ist eine Basissoftware mit GIS-Funktionalität. Sie ist in der Lage, georeferenzierte Daten darzustellen, zu verwalten und auszuwerten. Gleichzeitig stellt sie in einer integrierenden Weise diese Funktionalität als Service auch für weitere Module bereit und erhält so Plattform-Charakter. Ergänzt wird dieser Ansatz durch die Definition von Programmierschnittstellen, die unter anderem eine komponentenbasierte Entwicklung erlauben.

### Modulare Softwarearchitektur

Ausgehend von der Annahme, dass die Software die Entwicklung auf dem Feld der Wasserinfrastruktur widerspiegeln muss, wurde eine Softwarearchitektur gewählt, die flexibel auf Änderungen und Innovationen reagieren kann. Prägendes Merkmal ist hier Modularität – sowohl auf funktionaler Ebene als auch in der Datenpartitionierung. Wert gelegt wurde auf eine generische Schnittstelle zur Modulsteuerung und einen robusten Mechanismus zur Datenübergabe, der auch eine Anbindung von Third-Party-Softwaremodulen erlaubt.

## Einbindung in eine Softwareinfrastruktur

Das PUS versteht sich als Teil eines Softwaresystems, das den Schwerpunkt auf ingenieurmäßige Berechnung innerhalb des Planungsprozesses legt. Dadurch wird es möglich, auf diese Kernaufgabe zu fokussieren und gleichzeitig Synergien durch die Kommunikation mit den anderen Softwarekomponenten des sogenannten TWIST++-Softwarestacks zu nutzen. Zum TWIST++-Softwarestack gehören weiterhin das TWIST-FluGGS als Datenplattform und ein Simulationsspiel als Verstehensoberfläche für die Kommunikation mit fachfremden Beteiligten und Entscheidern.

## Adaptivität

Verschiedene Planungsszenarien stellen unterschiedliche Anforderungen an die Planungssoftware. Um einer wechselnden Datenverfügbarkeit gerecht werden zu können, wird bei der Integration von weiteren Modulen darauf geachtet, dass eine weitestgehend voneinander unabhängige Funktionsfähigkeit sichergestellt ist. Bereitstellung von Standardwerten ist hier eine Variante, die unter anderem im Bewertungsmodul genutzt wird.

## PUS – Integriertes Softwarepaket zur Planung von Wasserinfrastruktur

TWIST++ setzte die erörterten Anforderungen moderner Wasserinfrastruktur auf Basis von bereits etablierten Softwaremodulen in ein integriertes Softwarepaket um. Abbildung 1 skizziert den Aufbau der Software. Mit Abbildung 2 wird ein Ausschnitt der Benutzeroberfläche gezeigt. Die folgende Zusammenstellung gibt einen Überblick über die wesentlichen Funktionalitäten.

PUS-Funktionalitäten	
Trinkwasser	Alterungsmodell Wasser   Stationäre Netzberechnung   Tagesganglinien   Löschwassernachweis
Abwasser	Hydraulische Berechnung   Überflutungssimulation   Schmutzfrachtsimulation   Kanaldimensionierung   Alterungsmodell Abwasser
Übergreifende Aspekte	Nachhaltigkeitsbewertung   Stoffstrombilanzen   Alterungsmodelle Leitungen/Kanäle   Asset Management   Import/Export

Übersicht: PUS-Funktionalitäten. Quelle: Eigene Darstellung

## Zusammenfassung und Ausblick

Der gewählte Ansatz der modularen Systemarchitektur auf Grundlage eines integrierten Datenbestandes hat zu einem Planungsinstrument für Ingenieure geführt, das für die Planung von nachhaltigen Wasserinfrastrukturen unter Berücksichtigung neuer Konzepte und Technologien eine zeitgemäße Softwareunterstützung bereitstellt. Basierend auf einer Softwareplattform zur Darstellung georeferenzierter Daten sorgen Programmier- und Modulschnittstellen für Erweiterbar-

keit und damit Adaptivität. Hierdurch wird zum einen der Ansatz einer schrittweisen Erweiterung unterstützt, der es der Software ermöglicht, auch zukünftige Entwicklungen auf dem Sektor der Wasserinfrastruktur zu integrieren und zu unterstützen. Zum anderen ist es auch möglich, bereits bewährte Softwaremodule in das PUS einzubinden und auf einer gemeinsamen Plattform zur Verfügung zu stellen. Dazu zählt unter anderem ein Bewertungsmodul.

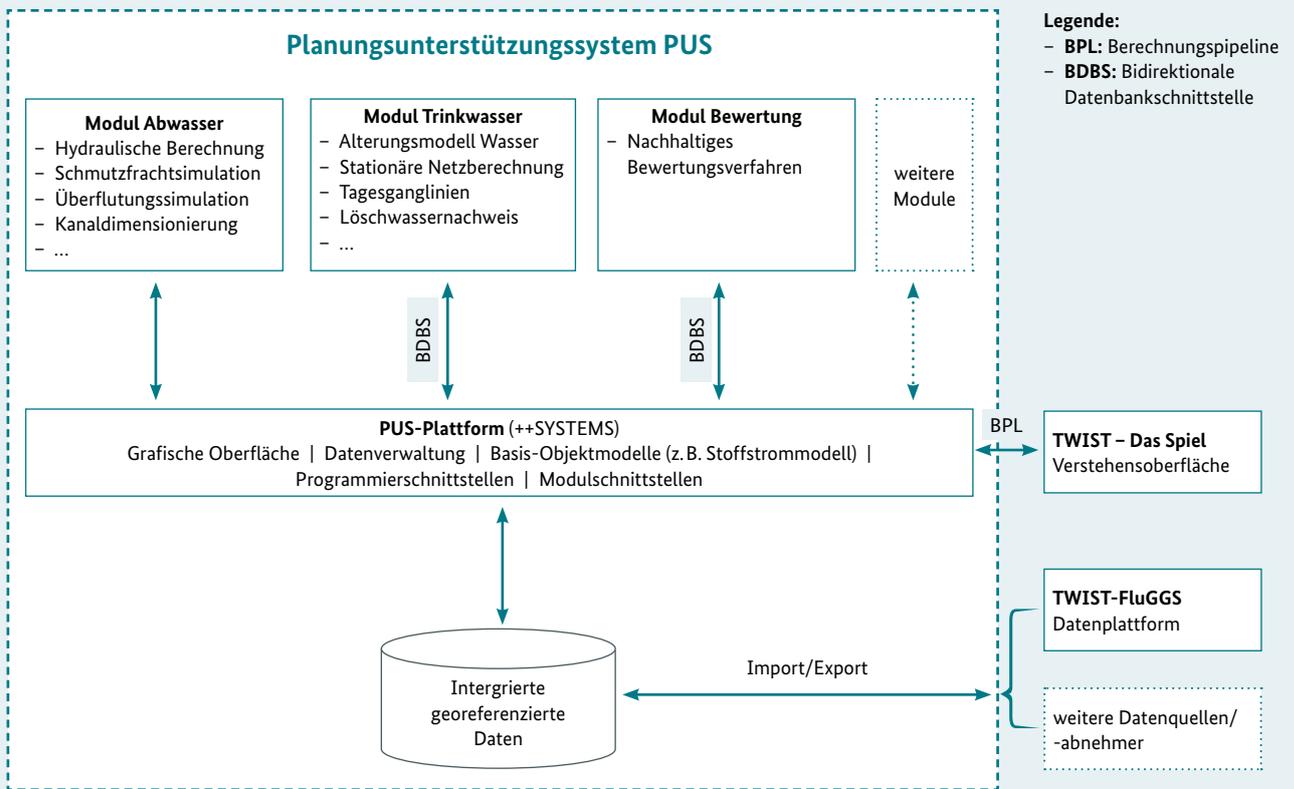


Abb. 1: Softwarearchitektur des PUS. Quelle: Eigene Darstellung

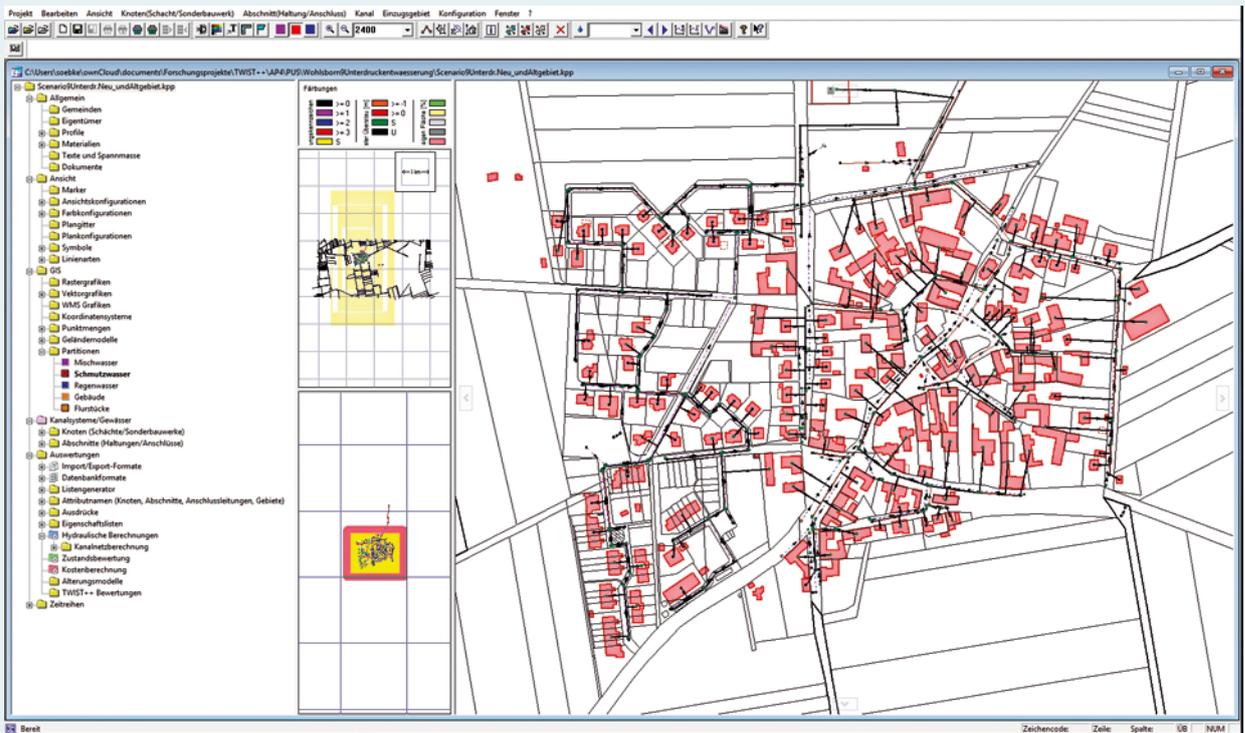


Abb. 2: Impression der Benutzeroberfläche des PUS. Quelle: tandler.com

#### Autorin und Autor:

Anja Miethke und  
Karl-Heinz Spies

Projekt: TWIST++

#### Literatur:

Angermair, G., und C. Plogmeier (2014): Innovative Wasserinfrastrukturen mit Hilfe von Netzsimulationen und WebGIS auf der Basis realer Geodaten planen und verstehen, in: Tagungsband DWA-Tagung „GIS&GDI in der Wasserwirtschaft“, Fulda, 04.02.14.

DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (2016): Innovative Wasserinfrastruktursysteme für die Zukunft am Beispiel des BMBF-Forschungsvorhabens TWIST++, Hemmnisse, Anpassungsbedarf und Akzeptanz, DWA-Themenband, Hennef (im Erscheinen).

DWA-AG: Arbeiten der DWA-AG BIZ 12.1 „Objektkatalog Wasserwirtschaft“, [www.geobusiness.org/GEOBUSINESS/Redaktion/DE/Standardartikel/giw-kommission-projekte-objektkatalog-wasserwirtschaft.html](http://www.geobusiness.org/GEOBUSINESS/Redaktion/DE/Standardartikel/giw-kommission-projekte-objektkatalog-wasserwirtschaft.html) (letzter Abruf am 07.07.16).

FluGGS (2016): Das FlussGebietsGeoinformationsSystem des Wupperverbandes, [www.fluggs.de](http://www.fluggs.de)

INSPIRE (2007): INfrastructure foR SPatial InfoRmation in Europe, Richtlinie 2007/2/EG, Inkrafttreten: 15.05.07.

Söbke, H., et al.: Software-TWISTing: Integrierte Systeme für die Planung zukunftsfähiger kommunaler Wasserinfrastruktur, in: KA Korrespondenz Abwasser Abfall (im Erscheinen).

## F6

# Datenstandardisierung als Basis für Interoperabilität von Planungssystemen

## Das Erfordernis einer Datenstandardisierung

Die Welt wird immer smarter. Auch die Wasser- und Abwasserwirtschaft bleiben von dieser Entwicklung nicht unberührt, da Geoinformationen dort bereits heute die Grundlage vieler Arbeitsprozesse darstellen. Geographische Informationssysteme (GIS) sind das zentrale Arbeitswerkzeug eines nachhaltigen Wasser- und Ressourcenmanagementsystems. Im öffentlichen Umweltmanagement wie auch bei Betreibern von Ver- und Entsorgungsnetzen werden in verschiedenen Systemen von unterschiedlichen Herstellern Daten erfasst, verwaltet und weiterverarbeitet. Deren Kompatibilität muss bei der Bearbeitung vielfältiger raumbezogener Fragestellungen und dem damit einhergehenden steigenden interdisziplinären Datenaustausch hergestellt werden. Dies wird zunehmend über standardisierte Schnittstellen gelöst. Zukünftig werden deshalb verstärkt Standards, entwickelt durch Organisationen wie das Open Geospatial Consortium (OGC), zum Tragen kommen, welche elementare (Geo-)Datengrundstrukturen definieren, die eine verlässliche Basis für verlustfreien Datenaustausch liefern. Dies gilt allerdings lediglich für die grundlegenden Datenstrukturen. Fachanwendungen nutzen vielfältig Spezifikationen und Datenmodelle, um aufgabenspezifisch festgelegte Arbeitsabläufe zu unterstützen. In der Vergangenheit wurden Aspekte des Datenaustausches beim Aufbau solcher Systeme selten berücksichtigt, nicht zuletzt, weil es bisher keine allgemeinen Empfehlungen gibt.

Deshalb besteht das Erfordernis, die entsprechenden Daten einheitlich aufzubereiten, damit ein spontaner Austausch über Fach-, System- und Institutionsgrenzen hinweg gewährleistet und realisiert werden kann. Diese Interoperabilität von Systemen hat den Vorteil, dass Daten ohne aufwendige Transformationen zur Verfügung gestellt und dadurch über den Erhebungszweck hinaus für unterschiedliche Fachaufgaben nutzbar gemacht werden können. Kostensenkung und Effizienzsteigerung der Arbeitsprozesse sind die Folge. Die Interoperabilität von Softwaresystemen im Planungsprozess wie auch in der Umwelt- und Informationspolitik kann jedoch nur auf Basis einheitlicher Vorgaben, Vereinbarungen und Standards realisiert werden. Diese Notwendigkeit wurde erkannt und in Richtlinien wie INSPIRE (2007/2/EG) rechtsverbindlich festgeschrieben.

## Ein WebGIS als Basis einer standardisierten Datenhaltung

Der Wupperverband vernetzt bereits heute mit seinem interoperablen webbasierten GIS, dem FluGGS (FlussGebietsGeoinformationsSystem), die Daten und Informationen von mehreren Kommunen, greift online auf externe Daten von Stadtwerken und Katasterbehörden zu und liefert somit einen wesentlichen Baustein des Informations- und Wissensmanagements für sein Verbandsgebiet. Dabei stehen vor allem die Harmonisierung der Daten, die Datenqualität und deren Belastbarkeit hinsichtlich Aussage und Art der Plangestaltung sowie die Bereitstellung der entscheidungsrelevanten Rauminformationen für unterschiedliche Zielgruppen in entsprechendem Detaillierungsgrad im Fokus.

Diese Art der zentralen Datenhaltung sowie ein Datenaustausch über standardisierte Schnittstellen bilden die Grundlage für integrierte Softwaresysteme, um Geodaten effizient, transparent und nachhaltig in den kommunalen Planungs- und Entscheidungsprozess einzubinden, was bislang jedoch kaum erfolgt. Das INIS-Projekt TWIST++ entwickelte daher ein neuartiges Entscheidungsinstrument für die Siedlungswasserwirtschaft, welches die Experten bei der Entscheidungsfindung unterstützt. Es verbindet ein WebGIS zur Datenhaltung, eine ingenieurtechnische Simulationssoftware als Rechenkern sowie einen computerspielbasierten Simulator als „Verstehensoberfläche“ miteinander.

Die Nutzung eines Simulationsspiels ist eine neue Form der Wissenskommunikation und Ergebnisdokumentation im Rahmen einer nachhaltig vernetzten Zukunft. Zentrale Aufgabe des WebGIS ist es, Datenerfassung, -haltung und Datenaustausch über standardisierte Schnittstellen zu ermöglichen. Dabei stellt sich, neben dem einheitlichen Verwalten und Verfügbarmachen der Daten aus unterschiedlichen Quellen und Hoheitsbereichen (Homogenität), auch die Frage nach der Pflege der Datenbestände. Da die Daten dezentral anfallen, ist eine dezentrale Datenpflege sinnvoll. Die gemeinsame Datenverarbeitung sollte jedoch auf einer zentralen Datenhaltung basieren. Das FluGGS bietet gute Editiermöglichkeiten und ist somit das passende Werkzeug, um die Lücke zwischen dezentraler Datenpflege und zentraler Datenhaltung zu füllen. Zudem wird ein pro-aktives Datenqualitätsmanagement verfolgt, das heißt, es werden Maßnahmen zur fortlaufenden Datenüberwachung und zur Verhinderung neuer Datenfehler bereitgestellt.

Dazu wurden unterschiedliche Techniken und Werkzeuge im FluGGS implementiert (hierzu umfassend Angermair/Plogmeier 2014). Ein Beispiel ist die Integration kanalinformationssystemtypischer Werkzeuge: Für die Überprüfung und Analyse der Fließwege innerhalb der Haltung wurde ein Werkzeug zur dynamischen Fließwegeverfolgung erstellt, welches die Fließwege und das Einzugsgebiet eines auszuwählenden Schachtes darstellt (siehe Abb. 1). Zusätzlich bereitet das FluGGS Daten für das Planungsunterstützungssystem (PUS) und das Simulationsspiel auf und stellt eine Schnittstelle bereit, wodurch ein Zugriff auf aktuelle Daten gewährleistet ist. Aufnahme und Austausch der Daten erfolgen im WebGIS auf Basis einer einheitlichen, mit dem PUS abgestimmten Datenstruktur.

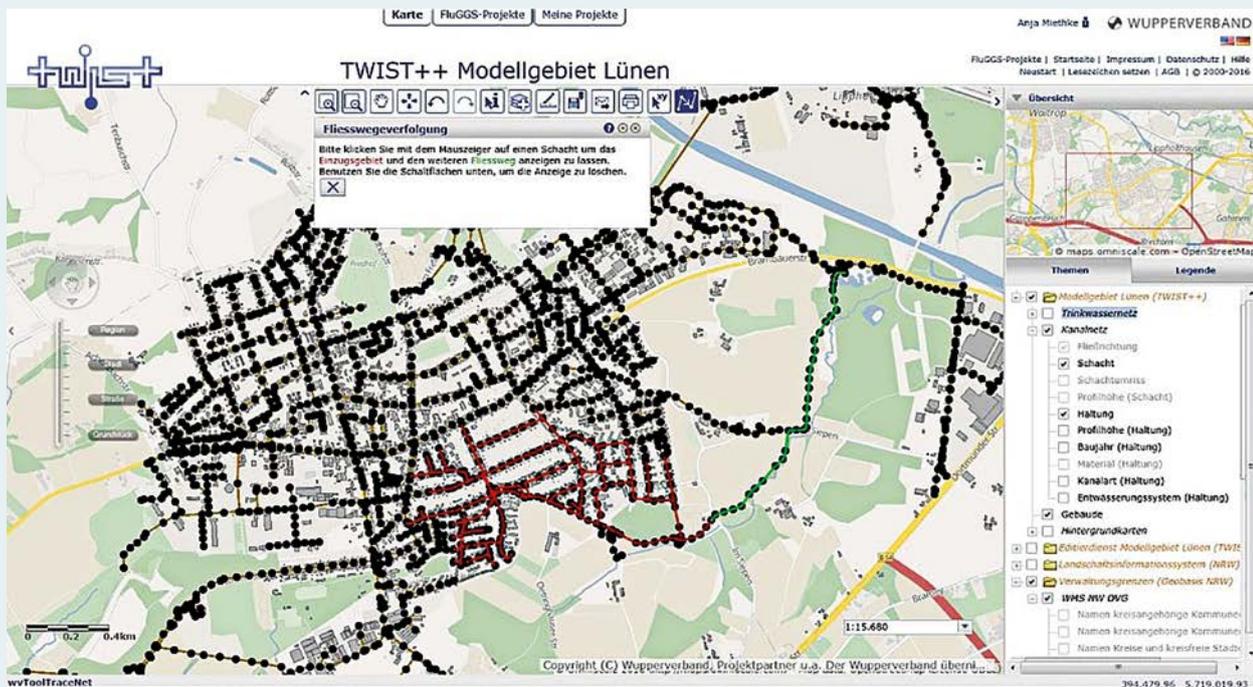


Abb. 1: Benutzeroberfläche des WebGIS „FluGGS“ am Beispiel der Darstellung der Fließwegeverfolgung im Modellgebiet Lünen.  
Quelle: Eigene Darstellung

## Ausblick

Der kommunale Planungsprozess könnte durch die dargestellte Verknüpfung aufeinander aufbauender Softwaresysteme über standardisierte Schnittstellen zukünftig deutlich verbessert und erleichtert sowie transparent gestaltet werden. Integrierte (aktuelle) Geodaten ermöglichen es, fundierte und fallspezifische Entscheidungen zu treffen. Da das FluGGS auf standardisierten Schnittstellen und einem homogenen Datenbankmodell basiert, stellt es eine ideale Grundlage für derartige integrierte Softwaresysteme dar. Die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) hat die Bedeutung von standardisiertem GIS und den daraus ableitbaren Möglichkeiten erkannt und diesen offenen Harmonisierungs- und Spezifikationsprozess aufgegriffen, um einen Objektkatalog für die Wasserwirtschaft (OK-WaWi) aufzubauen und nachhaltig zu pflegen (DWA-AG BIZ 12.1). Den INSPIRE-Grundsätzen folgend, soll zur Unterstützung einer integrierten Umweltpolitik die Entwicklung von technischen und organisatorischen Regeln zur Etablierung einer Geodateninfrastruktur vorangetrieben werden. Dieser zu entwickelnde OK-WaWi stellt eine standardisierte und somit ideale Grundlage für die Interoperabilität von Planungssystemen dar, die zukünftig weiter ausgebaut werden muss.

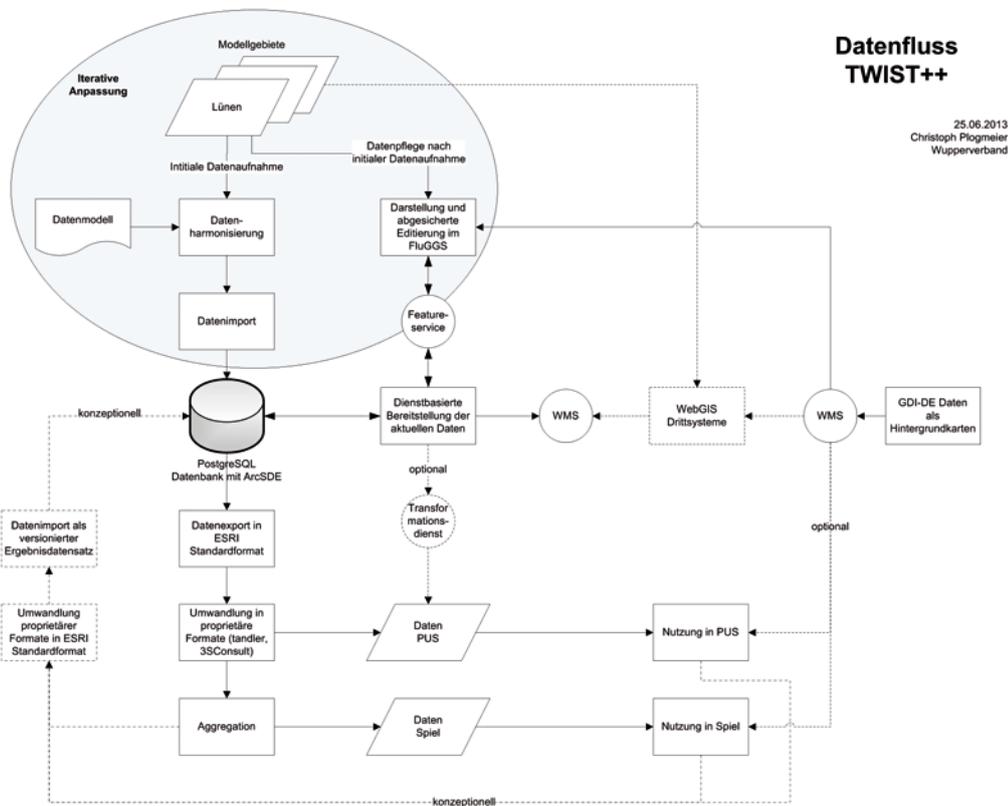


Abb. 2: Beispiel eines Gesamtsystem-Datenflussschemas aus TWIST++ unter Nutzung des FluGGS.  
Quelle: C. Plogmeier, Wupperverband

#### Autoren:

Heinrich Söbke, Daniel Schwarz  
und Lars Maria Schnatmann

Projekt: TWIST++

#### Literatur:

Poplin, A. (2014): Digital serious game for urban planning: “B3-Design your Marketplace!”, Environment and Planning B: Planning and Design, 40.

Söbke, H., et al.: Software-TWISTing: Integrierte Systeme für die Planung zukunftsfähiger kommunaler Wasserinfrastruktur, in: KA Korrespondenz Abwasser Abfall (im Erscheinen)

Söbke, H., und J. Londong (2014): Promoting Innovative Water Infrastructure Systems: Simulation Games as Virtual Prototypes, in: Lohaus, J. (Hrsg.): Proceedings of 17th International EWA Symposium “WatEnergy Resources – Water, Energy and Resources: Innovative Options and Sustainable Solutions”, Hennef, S. 5.

Söbke, H., und J. Londong (2017): Schnittstelle Motivation. Spielbasierte Medien für die Wasserwirtschaft, in: gwf – Wasser/Abwasser (im Erscheinen).

van den Hoogen, J., und S. Meijer (2015): Gaming and Simulation for Railway Innovation: A Case Study of the Dutch Railway System, in: Simulation & Gaming, 46 (5), S. 489 – 511.

## F7

# Ganzheitliches Engineering mit Game-Konzepten: Spielsimulation als Entscheidungsunterstützung und Bürgerbeteiligung

## Einführung

Die Erhaltung der Zukunftsfähigkeit von Wasserinfrastruktur erfordert eine kontinuierliche Weiterentwicklung der technischen und organisatorischen Systeme. Insbesondere ist dabei ihre situationsgerechte Flexibilität sicherzustellen, um eine Reaktion auf geänderte Rahmenbedingungen zu ermöglichen. Mögliche Planungsalternativen lassen sich dabei aus ingenieurtechnischer Sicht gewöhnlich problemlos entwerfen. Jedoch sind Ingenieure nur eine der beteiligten Gruppen eines solchen Planungsprozesses. Weitere Beteiligte sind die – zum großen Teil ehrenamtlichen – Entscheider und vor allem die Bürgerinnen und Bürger. Es geht in diesen Prozessen um viel Geld, Technik, Lebensqualität und langfristig um die Sicherung der zivilisatorischen Zukunft sowie die Bewahrung der Umwelt. Dafür sind das (Ein-)Verständnis der Bürgerschaft und die Kompetenz der betroffenen Entscheider notwendig. Planungsprozesse sind daher auch immer Entscheidungs- und Kommunikationsprozesse mit einer Vielzahl von beteiligten Gruppen.

## Herausforderungen

Kommunikation zwischen Experten und Nicht-Fachleuten in Planungsprozessen unterliegt vielfältigen Schwierigkeiten und Herausforderungen:

### **Unvollständiges technisches Wissen.**

Kenntnis über die technischen Systemalternativen ist häufig übersichtsmäßig vorhanden, aber nicht in einer für Entscheidungen notwendigen Detailtiefe und Vollständigkeit.

### **Hohe Systemkomplexität.**

Systeme der technischen Infrastruktur sind gewöhnlich vielschichtig und komplex. Dies erschwert weiter ein Systemverständnis, das bereits grundsätzlich nur mit hohem kognitivem Aufwand entwickelt werden kann.

### **Intransparente langfristige Systementwicklung.**

Im Projekt TWIST++ wurden insbesondere Transitionswege für Wasserinfrastruktur betrachtet, das heißt eine planvolle Entwicklung über mehrere Jahrzehnte. Hier steigt die Verständnisleistung zusätzlich: Es müssen nicht nur Systemzusammenhänge erkannt, sondern auch wechselnde Systemkomponenten und -abhängigkeiten über einen langen Zeitverlauf beobachtet werden. Dabei muss eine Vielzahl von möglichen Transitionswegen bewertet werden.

### **Asymmetrische Kommunikation zwischen Experten und Nicht-Fachleuten.**

Die Kommunikation zwischen Experten, beispielsweise Ingenieuren, und Nicht-Fachleuten wird immer notwendiger, ist aber asymmetrisch und zeitaufwändig. Dieser Trend verstärkt sich noch durch die immer schnellere Weiterentwicklung von Wissen und Technik und durch ein wachsendes Bedürfnis nach Beteiligung auf Seiten der Bürgerinnen und Bürger.

### **Notwendigkeit ganzheitlicher Bewertung.**

Die Beurteilung von Investitionsentscheidungen nach den Maßstäben der Nachhaltigkeit ist sehr aufwändig. In den drei Nachhaltigkeits-Dimensionen Ökologie, Ökonomie und Soziales gibt es viele Kriterien und Indikatoren, die untereinander gewichtet sowie gleichzeitig und im Zusammenspiel bewertet werden müssen. Da sich nachhaltige Entwicklung über lange Zeiträume erstreckt, ist zudem eine langfristige Betrachtung von Konsequenzen der Maßnahmen und Entwicklungen der Rahmenbedingungen über die Zeit notwendig.

## Lösungsansatz

Grundsätzlich ist es für Nicht-Fachleute schwierig, ein ganzheitliches, systemisches Verständnis zu entwickeln, mit dem fundierte Entscheidungen im Sinne einer nachhaltigen Zukunft getroffen werden können. Exakt dieses Ziel unterstützen Computerspiele hervorragend, denn ein Computerspiel

- ist eine **Systemsimulation** und fungiert damit als **virtueller Prototyp** eines Systems;
- hat eine einfach zu bedienende Benutzeroberfläche, die auch als **Systemvisualisierung** dient (**Verstehensoberfläche**);
- setzt keine Vorkenntnisse voraus und ist somit eine planvolle **Systemeinführung** für den Benutzer;
- ermöglicht ein Experimentieren im geschützten Raum und wird durch Interaktionen und unmittelbare Rückmeldungen zu einem **Erfahrungsraum**;
- wirkt als Diskussionskatalysator der Beteiligten und unterstützt damit **Kommunikation** und gemeinschaftliche **Lernprozesse**.

## Konkretes Projektergebnis: VISIMPLE

Die Spielsimulation **VISIMPLE** verbindet die technische Ingenieurswelt mit der Lebenswelt der Bürgerinnen und Bürger sowie der Entscheider. Sie schafft einen runden Planungstisch für innovative und problemgerechte Infrastruktursysteme in der Siedlungswasserwirtschaft, an dem alle Akteure interaktiv mit Lösungsmöglichkeiten für eine zukunftsfähige Abwasserentsorgung und Wasserversorgung experimentieren können (siehe Abbildung 1).

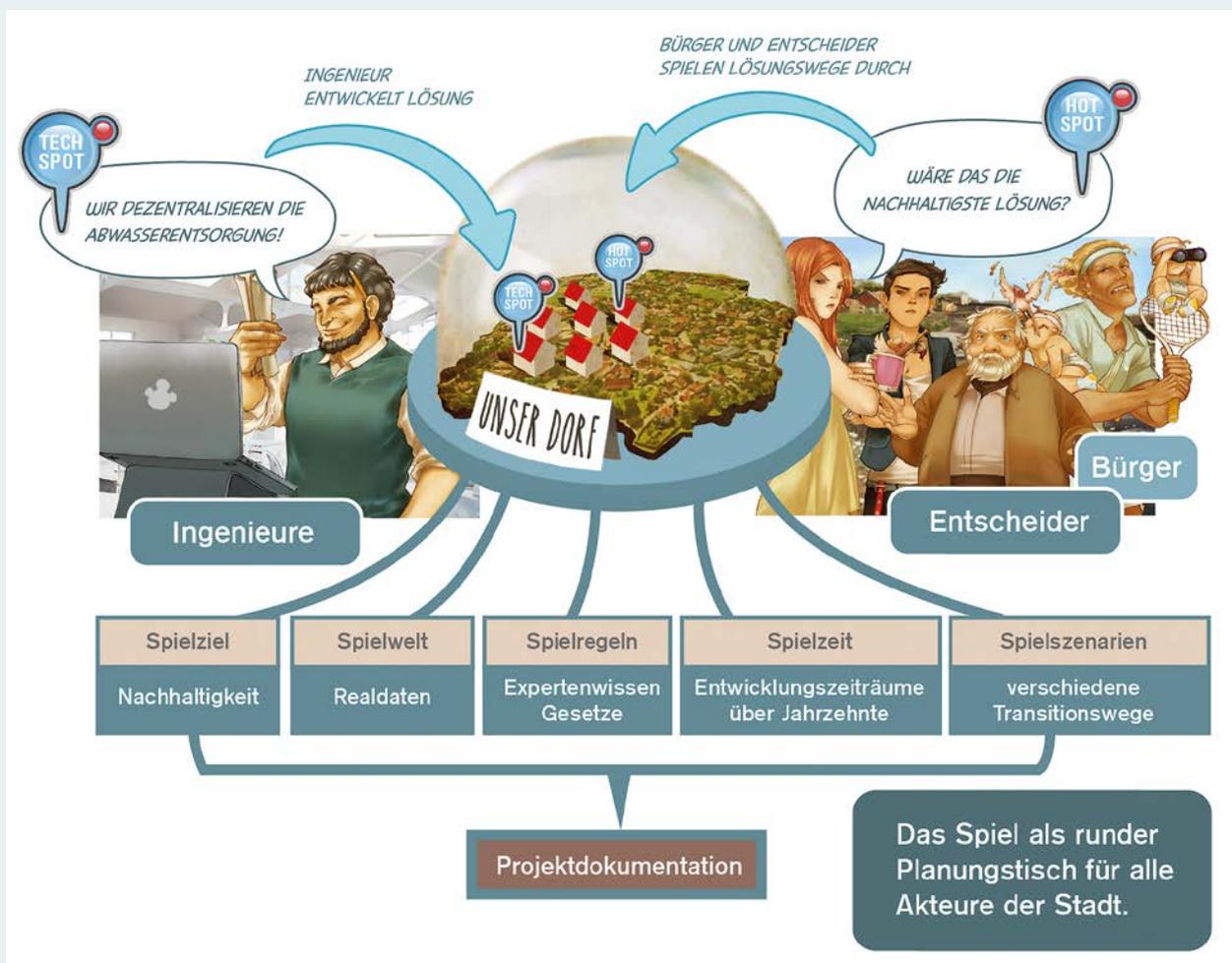


Abb. 1: Anwendungsszenario von Computerspielen in der Infrastrukturplanung. Quelle: takomat GmbH



Abb. 2: VISIMPLE. Quelle: takomat GmbH

### **Spielszenario.**

Der Benutzer wird von einem virtuellen Ingenieur in ein konkretes Problemszenario eingeführt (siehe Abbildung 2). Auf einer Karte sind die aktuellen Probleme der lokalen Wasserinfrastruktur verortet.

### **Spielziel.**

Im Laufe der Simulation muss der Benutzer die dargestellte Wasserinfrastruktur so umbauen, dass eine möglichst hohe Bewertung gemäß eines nachhaltigen Bewertungssystems erreicht wird – wobei für alle Teilbewertungen jederzeit ein Minimalwert eingehalten werden muss.

### **Spieldynamik.**

Handlungsdruck für den Benutzer ergibt sich daraus, dass die Ausgangssituation nicht nachhaltig ist und bei Untätigkeit zum vorzeitigen Spielende führt. Zusätzlich muss auf eintretende Ereignisse reagiert werden (z. B. Zunahme von Starkregen, gesetzliche Anordnung zur Ressourcengewinnung und andere Änderungen von Rahmenbedingungen). Der Benutzer wird auf kritische Werte und Lösungsmöglichkeiten hingewiesen.

### **Wasserinfrastruktur.**

Neben Bestandteilen konventioneller Wasserinfrastruktur können auch Komponenten moderner Wasserinfrastruktur in das Lösungsdesign einfließen. Zu den angebotenen Komponenten zählen unter anderen Unterdruckentwässerung, Grauwasserfilter, Schwarzwasservergärung, Feuerlöschteiche sowie semi-vermaschte Trinkwassernetze. Auch kann der Benutzer Prozesse beeinflussen, beispielsweise lässt sich bei der Erneuerung der Netze zwischen zustandsorientierter, aufwandsorientierter und Feuerwehr-Strategie wählen.

### **Berechnungskern.**

Weitere Besonderheit ist die Nutzung einer ingenieurtechnischen Planungssoftware als Berechnungskern.

### **Echtweltdaten.**

Über eine Daten-Schnittstelle zur Ingenieurssoftware konstruiert das Spiel die Spielwelt auf Basis der realen GIS-Daten des Ortes und erstellt ein lokalisiertes Szenario. Hierdurch bekommt das Spiel Echtwelt-Relevanz: Es wird eine realistische Planung des realen Ortes durchgeführt.

### **Emotionsdesign.**

Durch die Erstellung von lokalisierten Szenarien werden eine höhere Authentizität und dadurch eine größere Identifikation des Benutzers mit dem Spielziel angestrebt („Spiel dein Dorf!“). Die emotionale Bindung des Benutzers wird über eine kommentierende (lobende, informierende, tadelnde) Begleitung durch den virtuellen Ingenieur erreicht. Gemeinsam mit dem visuellen Design der Spielwelt und Story-Elementen schaffen die Spielcharaktere eine emotional ansprechende und bedeutungsvolle Simulation.

## Diskussion und Erfahrungen

Die Erstellung der fachlichen Inhalte – hierzu zählen insbesondere das Simulationsmodell und die zielgruppengerechte Benutzeransprache – konnte mit Hilfe von Expertenworkshops erreicht werden. Es wurde festgestellt, dass die Unterstützung von Entscheidern detaillierte Simulationsmodelle benötigt, da hier indikatorbasierte Entscheidungen zu treffen sind. Hingegen kann zum Zwecke der Bürgerbeteiligung mit qualitativen Modellen zur Illustrierung der Zusammenhänge gearbeitet werden. Im Übrigen ist die Benutzung des Wortes Spiel in Verbindung mit Entscheidern kritisch zu sehen, da Spielen gemeinhin keine akzeptierte Tätigkeit ist. Vorgeschlagen werden stattdessen die Begriffe Simulator oder Verstehensoberfläche (für die darunter arbeitende Ingenieurssoftware). Um der beschränkten Zeit der Beteiligten Rechnung zu tragen, kann VISIMPLE auch als Medium für Videos dienen, in denen die wichtigsten Kommunikationsziele in kürzerer Zeit präsentiert werden. Zu den Möglichkeiten eines derartigen Spiels gehört auch, Design-Aufgaben im Sinne eines Citizen-Science-Ansatzes auf die Spieler auszulagern.

## Zusammenfassung und Ausblick

Computerspiele lassen sich hervorragend zur Unterstützung von Kommunikations- und Lernprozessen im Laufe der Planung technischer Infrastruktur einsetzen. Neben der möglichen Einbettung aller verfügbaren anderen Medien können durch angebotene Interaktionen sowie durch systemisches und emotionales Feedback prägende Lernerfahrungen erzielt werden. Die hier gelungene Verarbeitung von Echtwelt-Daten in einem Spiel in Verbindung mit der Anbindung von Ingenieurssoftware ermöglicht eine höhere Authentizität und Relevanz für die Spielerinnen und Spieler („Spiel dein Dorf“): Der magische Kreis des Spiels wird auf die eigene Wirklichkeit und Lebenswelt in Form eines Planungsinstruments ausgeweitet. Zu den Herausforderungen zählt ein hoher konzeptioneller und entwicklungstechnischer Aufwand. Durch die thematische Einschränkung ist gleichzeitig auch mit einer Einschränkung der Attraktivität zu rechnen, die zudem von Benutzertyp und -gruppe beeinflusst wird. Insgesamt ist festzuhalten: Computerspiele sind ein äußerst mächtiges Kommunikationsmedium, dessen exponierte Stellung in Zukunft durch fortschreitende konzeptionelle und technologische Verbesserungen weiter verfeinert werden wird.

**Autoren:**

Sebastian Schöffel und Johannes Schwank

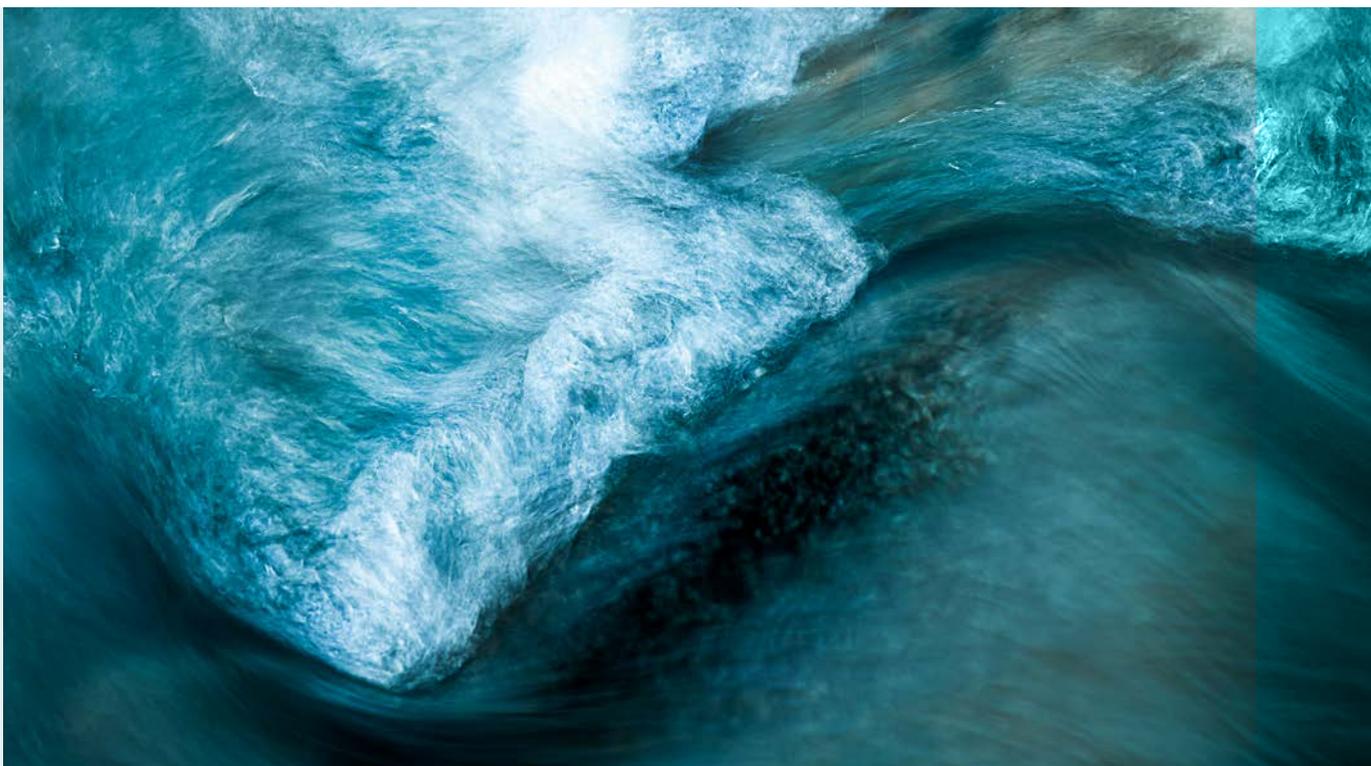
**Projekt:** SinOptiKom

## F8

# Intelligente Szenario-Generierung zur Visualisierung von optimierten Transformationsprozessen

Um Transformationsprozesse bestehender Infrastruktursysteme im ländlichen Raum zu optimieren, ist eine Vielzahl von Rahmenbedingungen notwendig. Gleichzeitig liegt in den Archiven der Gemeinden eine riesige Anzahl an Daten in unstrukturierter Form und unterschiedlichsten Formaten vor, von eingescannten Dokumenten im PDF-Format über Microsoft-Word-Dateien oder Excel-Tabellen bis hin zu teilweise gefüllten relationalen Datenbanken. Für eine Weiterverarbeitung wurden im Rahmen des INIS-Projektes SinOptiKom entsprechende Datenbankstrukturen erzeugt und die Daten als Informationen in die passenden Tabellen überführt.

Für die mathematische Optimierung werden formale Beschreibungen benötigt, die bestimmte Rahmenbedingungen festlegen und mögliche Bewertungskriterien sowie die Zielfunktionen, z. B. Wasserhaushalt, Recycling usw., für die Optimierung gewichten. Die Rahmenbedingungen können einfache Zahlenwerte sein, wie z. B. das Start- und Endjahr des Betrachtungszeitraums der Optimierung, aber auch komplexere Daten, wie z. B. die Auswahl von Niederschlagsreihen, Wasserbedarfsprognosen oder für die Optimierung zugelassene Maßnahmen. Mithilfe des im Rahmen von SinOptiKom entwickelten Szenario-Managers können alle Rahmenbedingungen einfach und übersichtlich durch den Anwender ausgewählt werden, um sämtliche für die Optimierung und Analyse notwendigen Daten zu erfassen.



## Der Szenario-Manager – ein Assistent zur interaktiven Szenario-Generierung

Der Szenario-Manager ist eine assistent-basierte Auswahlplattform, auf welcher der Anwender über einzelne, in sich abgeschlossene Schritte durch den Selektionsprozess geführt wird. Durch einfache „Weiter“- und „Zurück“-Buttons kann der Benutzer den Prozessfortschritt steuern und die notwendige Beschreibung und Datensammlung für die Optimierung, im folgenden „Szenario“ genannt, erstellen.

Der Prozess der Szenario-Generierung besteht aus insgesamt zehn Schritten und beginnt mit dem Einlesen des vorhandenen Datenbestandes aus der oben erwähnten Datenbank. Basierend auf der Selektion der zu untersuchenden Gemeinden werden die entsprechenden Daten (wie Infrastrukturdaten, Bevölkerungsprognosen, Maßnahmeninformationen usw.) dann in ein internes Datenmodell überführt. Im Folgenden hat der Benutzer die Möglichkeit, die Optimierungsparameter, wie z.B. den Betrachtungszeitraum, an seine Bedürfnisse anzupassen. Durch einfache Schieberegler können die Bewertungskriterien (Wasserhaushalt, Akzeptanz usw.) von „unwichtig“ bis „wichtig“ eingestuft werden, um für die Optimierung die Gewichtung der Zielfunktionen festzulegen. Als nächstes entscheidet sich der Anwender für eine von drei vordefinierten Prognosen zur Bevölkerungs- und Siedlungsentwicklung (Bestandsszenario, Trendszenario oder Dorfkernsanierung). Die nächsten beiden Schritte bieten die Möglichkeit, wissenschaftlich fundierte, vordefinierte Prognosen zur Wasserbedarfs- und

Strompreisentwicklung für die Optimierung auszuwählen oder eigene Prognosen zu hinterlegen (siehe Abbildung 1). Um die monetären Rahmenbedingungen (reale Preisänderung, Zinssatz usw.) festzulegen, wählt der Benutzer anschließend aus zwei vordefinierten Alternativen. Ferner ist der Anwender in der Lage, die Optimierung durch weitere Einschränkungen (z. B. Verbot landwirtschaftlicher Klärschlammverwertung oder Vorschreiben von Grenzwerten) zu steuern. Da die klimatischen Einflüsse die Dimensionierung der Infrastruktur maßgeblich bestimmen, können Niederschlagsreihen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) eingegeben oder Multiplikatoren der bestehenden Regenspenden ausgewählt werden.

Im nächsten Schritt hat der Anwender die Möglichkeit, die erlaubten Maßnahmen zur Optimierung (z. B. Muldenversickerung, Stoffstromtrennung usw.) festzulegen. Darüber hinaus kann der Neubau von Rohrtypen eingeschränkt werden, um ebenfalls Einfluss auf die Infrastrukturoptimierung zu nehmen. Um jederzeit eine valide Lösung zu gewährleisten, werden Maßnahmen, die sich gegenseitig ausschließen, automatisch „ausgegraut“. Am Ende erhält der Benutzer eine Übersicht über sämtliche Rahmenbedingungen und eingestellten Parameter; nach Kontrolle und Bestätigung kann dann das Szenario an den Optimierungsserver gesendet werden.

## Datenaustausch

Der Szenario-Manager erzeugt beim Hochladen auf den Optimierungsserver zwei Dateien: eine Input-Datei (input.json) mit wichtigen Daten für die mathematische Optimierung, wie z. B. Bevölkerungsentwicklung, Relationen von Haltungen und Schächten usw., und eine Szenariobeschreibung (szenario.json), die Informationen enthält, die zur Visualisierung, aber nicht zur Optimierung notwendig sind (siehe Abbildung 2). Dies sind beispielsweise Georeferenzen der Haltungen und Schächte, Gebäude oder Flurstücke. Zusätzlich sind in der Szenariobeschreibung weitere Informationen gespeichert, etwa der Zustand des Szenario-Managers, um nach einer Unterbrechung der Arbeit an dieser Stelle später weiterarbeiten zu können.

Des Weiteren entwickelte das Projekt ein Analyse-Tool zur Auswertung der Optimierungsergebnisse. Dieses bezieht nicht nur die Ergebnisse der Optimierung (output.json) mit ein, sondern auch einen Großteil der Daten aus den generierten Szenariobeschreibungen des Szenario-Managers (szenario.json). Aus diesem Grund wird nach dem Laden des vorhandenen Datenbestandes in das Analyse-Tool ein interner Algorithmus gestartet. Er erzeugt ein neues Datenmodell und vereint die beiden Datenquellen output und szenario miteinander. Diese Schritte sind für den Benutzer nicht sichtbar, jedoch von großer Bedeutung, um in der Analyse sämtliche vorhandenen Daten auswerten zu können.

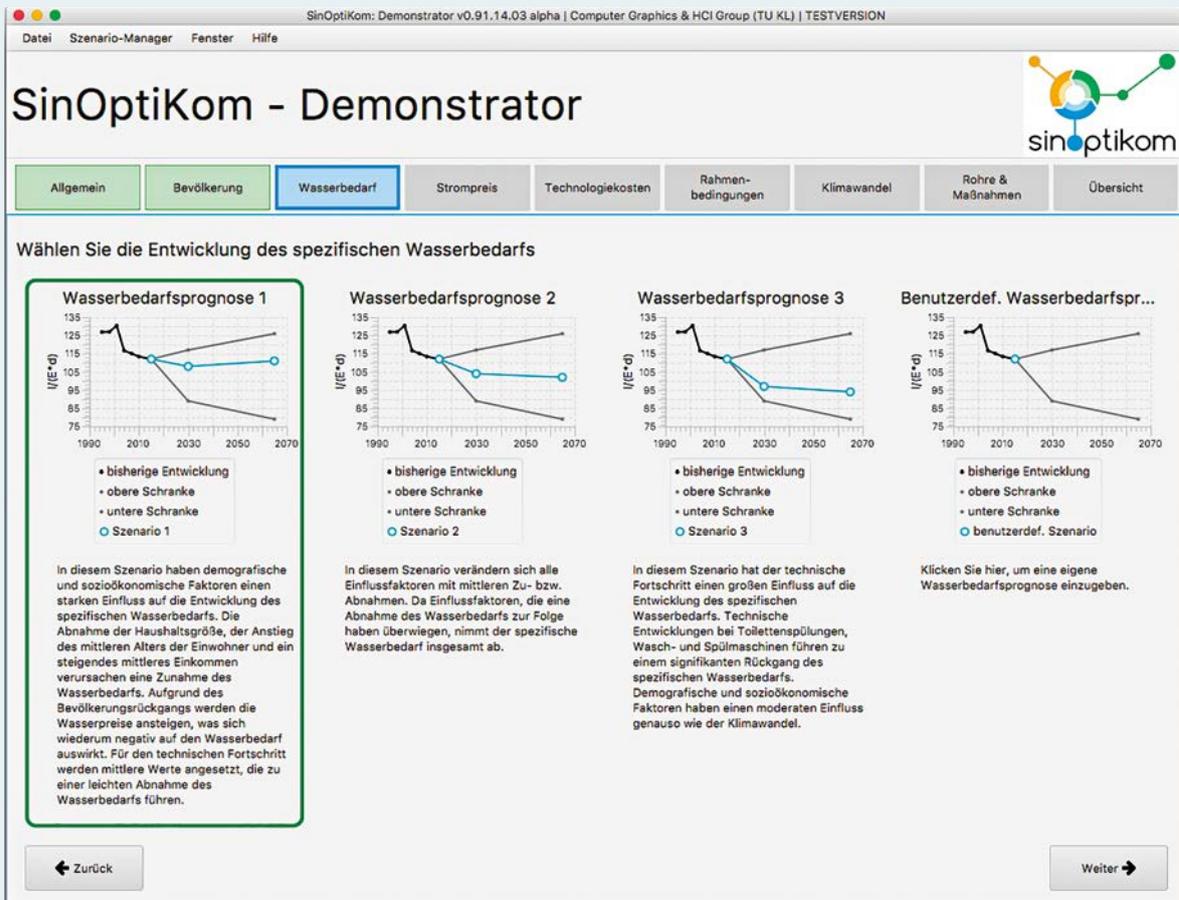


Abb. 1: Auswahl der Wasserbedarfsprognose im interaktiven Szenario-Manager.  
 Quelle: Johannes Schwank, TU Kaiserslautern, AG Computergrafik und HCI

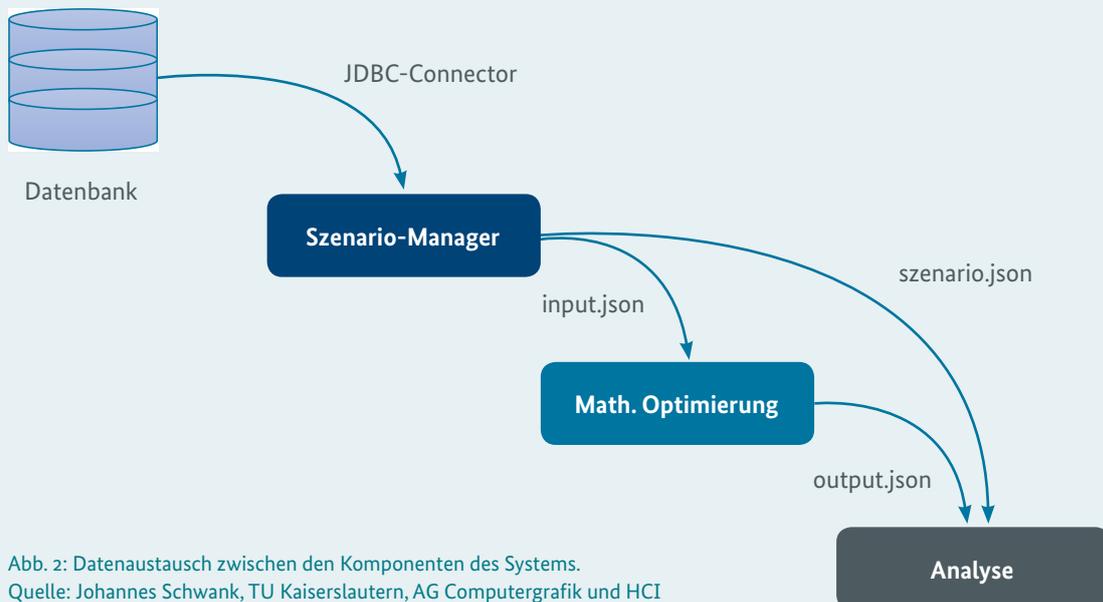


Abb. 2: Datenaustausch zwischen den Komponenten des Systems.  
 Quelle: Johannes Schwank, TU Kaiserslautern, AG Computergrafik und HCI

# Kapitel G



## Inhaltsverzeichnis Kapitel G

---

G	Einleitung: Integration von Stadt- und Infrastrukturentwicklung. ....	230
G1	Städtebauliche Handlungsoptionen zur Anpassung an Auswirkungen von Überflutung und Trockenheit im urbanen Raum .....	232
G2	Straßenbäume in Versickerungsrigolen: Neue Wege der Regenwasserbewirtschaftung .....	236
G3	Vom Generalentwässerungsplan zum Wasserleitplan: Entwicklung integrierter Maßnahmen- und Gestaltungskonzepte .....	240
G4	Zu einer Kultur der Kooperation: Wie können Siedlungswasserwirtschaft und Stadtentwicklung intensiver zusammenarbeiten? .....	250
G5	Netzwerkpläne als kommunikatives Medium und Entscheidungshilfe für integrierte Infrastrukturgestaltung im Quartier .....	256
G6	Anwendung der ROOF WATER-FARM-Technologien auf der Gebäudeebene für eine integrierte Infrastrukturgestaltung im Quartier .....	260
G7	Transformationsräume in der Stadt – erkennen und nutzen .....	266
G8	Demografische und siedlungsstrukturelle Transformationsräume in ländlichen Siedlungen identifizieren und bewerten .....	268
G9	Transformationsraum IBA: Möglichkeitsraum zur Erprobung innovativer Ansätze integrierter Infrastrukturentwicklung .....	272

Autorin:

Stephanie Bock

Projekt: INISnet

## G

# Einleitung: Integration von Stadt- und Infrastrukturentwicklung

Die aktuellen Herausforderungen der Wasserwirtschaft sind auch Herausforderungen für die Stadt der Zukunft. Der – als Antwort auf Klimawandel und demografische Entwicklung notwendige – Umbau der Wasserinfrastrukturen hat zudem erhebliche Folgen für die Organisation und Gestaltung zukunftsfähiger Städte. Probleme von heute für die Stadt von morgen zu lösen, setzt deshalb gleichermaßen ein Umdenken auf Seiten der Siedlungswasserwirtschaft wie der Stadtentwicklung voraus. Beide müssen institutionell und konzeptionell enger miteinander verzahnt werden.

Wasser ist kein neues Thema der Stadtentwicklung. So sind das Planen von städtischen Räumen am Wasser und das Gestalten öffentlicher Räume mit Wasser seit den 1990er-Jahren eine zunehmend attraktive Planungsaufgabe. Wenig wahrgenommen werden bis dato jedoch die Potenziale und Herausforderungen zukünftiger Wasserinfrastruktur. Zumeist unterirdisch und unsichtbar, ist diese bisher kaum als Thema der räumlichen Gestaltung und Organisation urbaner Räume entdeckt. In der Siedlungswasserwirtschaft entwickelte Innovationen werden in Architektur und Planung kaum aufgegriffen, ihr Beitrag zu zukunftsfähigen Städten bleibt zumindest bisher unbeachtet. So sind auch Planungsansätze, die neue Wasserinfrastrukturen integrieren, oder baulich realisierte Projekte überaus selten. Wie blaue Infrastrukturen in die Stadtentwicklung integriert und Wasserinfrastrukturen und Stadtentwicklung gemeinsam gedacht werden können, war ein Themenschwerpunkt der INIS-Forschung.

## Regenwasserbewirtschaftung: Überflutungen vorsorgen und Stadtklima und Freiraumqualität verbessern

Klimawandel fordert die Städte heraus, geht es doch darum, planerische und bauliche Lösungen für Zeiträume mit zu viel oder zu wenig Wasser zu entwickeln und diese in die Gestaltung von Räumen einzubeziehen. Wenn unterirdische Entwässerungssysteme an ihre Belastungsgrenzen geraten, sind Ansätze gefragt, die Versickerung und Verdunstung von Niederschlagswasser in den oberirdischen Stadtraum integrieren. Für Stadtentwicklung und Stadtgestaltung bieten die dezentrale Regenwasserbewirtschaftung und der Überflutungsschutz auch weiterführende Chancen: etwa wenn im Rahmen ressortübergreifender Strategien und integrierter Planungen Anpassungsmaßnahmen zusammengeführt und abgestimmt werden.

Die dezentral in der Stadt verteilten Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung können dann so eingesetzt werden, dass sie Kanalisation und Gewässer entlasten und zugleich Stadtklima, Freiraumqualität und biologische Vielfalt verbessern. In INIS wurden ent-

sprechende Gestaltungsvorschläge für städtische Quartiere und Freiräume erarbeitet. Analysiert wurde, wie entsprechende Systemlösungen wirken, um die Potenziale, aber auch die Risiken der Regenwasserbewirtschaftung zu erfassen und zu visualisieren.

## Neue Instrumente und Werkzeuge: Siedlungswasserwirtschaft und Stadtplanung verknüpfen

Eine so verstandene wassersensitive Stadtentwicklung setzt integrierte Planungsprozesse voraus. Optimale Lösungen, die auch einen positiven Beitrag zum Stadtklima oder zur Freiraumqualität leisten, lassen sich nur durch eine gleichzeitig verbesserte räumliche Organisation der Stadt erzielen. Wasserwirtschaftliche Ziele müssen in städtebauliche Strategien und Planungen „übersetzt“, neue Formen der institutionenübergreifenden Zusammenarbeit aufgebaut werden. Hierzu wurden in INIS Planungsinstrumente zur Mehrfachnutzung und zur Integration der verschiedenen Infrastrukturen – Wasser, Abwasser, Abfall und Energie – in

Konzepte der städtischen Gesamtentwicklung erarbeitet und in Leitfäden dokumentiert. Dabei fließen auch Wechselwirkungen mit dem natürlichen Wasserhaushalt, der biologischen Vielfalt und dem Stadtklima ein. Diese neuen Formen der Planung berücksichtigen die städtebauliche „Integration“ von Wasser, indem sie beispielsweise Hinweise zur integrierten Freiraumgestaltung, Regenwasserbewirtschaftung und Überflutungsvorsorge geben. Ziel könnte ein integrierter Wasserplan sein, der Regenwassermanagement, Stoffströme und Stadtentwicklung verknüpft.

## „Anker“ für Veränderungen: Transformationsräume erkennen und gestalten

Eine Voraussetzung für die Integration von Siedlungswasserwirtschaft und Stadtplanung ist das Erkennen und Gestalten von Transformationsräumen, in denen innovative Systemlösungen zunächst pilothaft umgesetzt werden können. Wie schwierig die Integration von Stadtentwicklung und Infrastrukturplanung sich in der Praxis gestaltet, zeigen die kaum zu synchronisierenden zeitlichen Verläufe der Identifikation von Räumen für potenzielle innovative Projekte auf Seiten der Siedlungswasserwirtschaft einerseits und der Verläufe der räumlichen Planung andererseits. Da die Stadt nicht auf einmal umgestaltet werden kann, geht es deshalb darum, Gebiete zu erkennen, in denen bereits Veränderungen geplant sind, um dort sehr frühzeitig integrierte Veränderungsprozesse zu beginnen. In INIS wurden mögliche Ansatzpunkte zur Identifikation von Transformationsräumen auf unterschiedlichen räumlichen Ebenen erarbeitet. Betrachtet wurden unterschiedliche Gebäudetypen sowie städtische und ländliche Quartiere.

Die Integration von Stadt- und Infrastrukturentwicklung auf Basis innovativer Systeme wurde bisher nur im Rahmen von Pilotvorhaben und Planungsprojekten jenseits der Routinen (Internationale Bauausstellungen, Modellvorhaben usw.) erfolgreich umgesetzt. Die Erfahrungen aus diesen „Möglichkeitsräumen“ weisen auf wichtige Erfolgskriterien hin.

#### Autoren:

Jan Waschnewski und  
Hagen Hürter

Projekt: KURAS

#### Literatur:

Benden, J. (2014):  
Möglichkeiten und Grenzen  
einer Mitbenutzung von  
Verkehrsflächen zum Über-  
flutungsschutz bei Stark-  
regenereignissen, Dissertation  
RWTH Aachen, 2014.

Hürter, H., et al. (2015):  
Integrated modelling and  
evaluation of adaptation  
measures in a metropolitan  
wastewater system. Procee-  
dings of the 10th Urban  
Drainage Modelling  
Conference, 21. – 23. Septem-  
ber 2015, Quebec, Canada.

Riechel, M., et al. (2015):  
A holistic assessment  
approach to quantify the  
effects of adaptation measures  
on CSO and flooding. Procee-  
dings of the 10th Urban Drai-  
nage Modelling Conference,  
21. – 23. September 2015,  
Quebec, Canada.

Schmitt, T., et al. (2011):  
Niederschlags- und Misch-  
wasserbewirtschaftung im  
urbanen Bereich, Aqua  
Urbanica 2011, Graz,  
Österreich.

## G1

# Städtebauliche Handlungsoptionen zur Anpassung an Auswirkungen von Überflutung und Trockenheit im urbanen Raum

## Hintergrund und Problemstellung

Die Siedlungs- und Infrastrukturen an extreme Niederschlagsereignisse und daraus resultierende Überflutungen anzupassen, wird in der wasserwirtschaftlichen Fachdiskussion zunehmend als „kommunale Gemeinschaftsaufgabe“ betrachtet. An ihr sind künftig neben der Stadtentwässerung auch verstärkt die Stadt- und Freiraumplanung zu beteiligen. Durch den prognostizierten Klimawandel, mit dem wahrscheinlich Zahl und Intensität von Starkregenereignissen zunehmen, wird sich die Überflutungsgefahr besonders in dichten, urbanen Räumen in den kommenden Jahrzehnten spürbar erhöhen. Zugleich werden die Städte und Infrastrukturen gegenüber Schäden durch Überflutungen vermutlich noch anfälliger: durch die andauernde Verdichtung urbaner Siedlungsformen gemäß dem Leitbild der kompakten und energieeffizienten Stadt. Es gilt daher, sich auf die zu erwartenden Veränderungen rechtzeitig einzustellen und Anpassungsmaßnahmen zu ergreifen, mit denen sich künftige Beeinträchtigungen durch Starkregen in Städten vermeiden oder zumindest abmildern lassen.

Große Teile der Städte in Deutschland sind heute bereits „gebaut“, und die Möglichkeiten, komplett neue und robuste Infrastruktursysteme zu etablieren, sind sehr eingeschränkt. In Zukunft steht nicht mehr die ökonomische Verwertung der Flächen im Vordergrund, sondern die Integration technischer, sozialer, ökologischer und gestalterischer Ansprüche an Stadtstruktur und Stadtfreiraum. Es wird darum gehen müssen, mit möglichst geringen Ressourcen Entwicklungen aufzuzeigen, die den Herausforderungen temporärer Überlastung (Überlast) und Unterauslastung (Unterlast) gerecht werden. Hierbei stellen sich zwei zentrale Fragen:

- Durch welche Methodik sind Anpassungsmaßnahmen unter Einbeziehung der innerstädtischen Oberfläche zu quantifizieren?
- Durch welche intelligenten Anpassungsmaßnahmen lässt sich die Anpassungskapazität erhöhen?

## Städtebauliche Handlungsoptionen zur Anpassung an Starkregenabflüsse

Den Auswirkungen extremer Niederschlagsereignisse lässt sich aus technischen und ökonomischen Gründen nicht mit dem konventionellen, unterirdischen Entwässerungssystem alleine begegnen. Benötigt wird vielmehr die Ergänzung durch Maßnahmen an der Oberfläche. Das Beispiel Berlin zeigt mit drei außergewöhnlichen (statistische Wiederkehrzeit  $T_n = 50$  Jahre) und sechs seltenen ( $T_n = 30$  Jahre) Starkregenereignissen in den letzten zehn Jahren die Relevanz der genannten Belastungskategorie und motiviert zur Konzeption von belastungsflexiblen Maßnahmen, welche die Widerstandsfähigkeit des Gesamtsystems Oberfläche/Kanalnetz auch für extreme Belastungssituationen erhöhen.

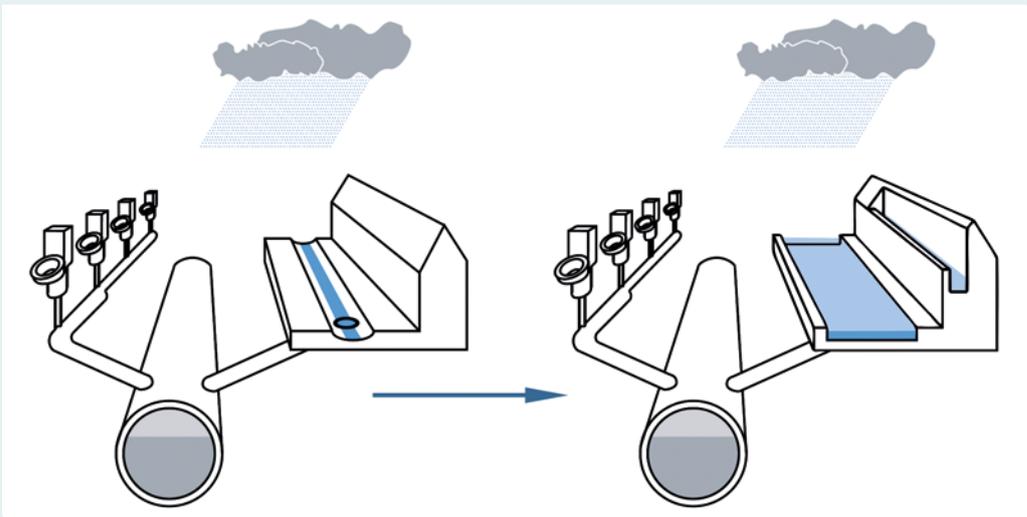


Abb. 1a: Oberflächenrückhalt im Mischsystem

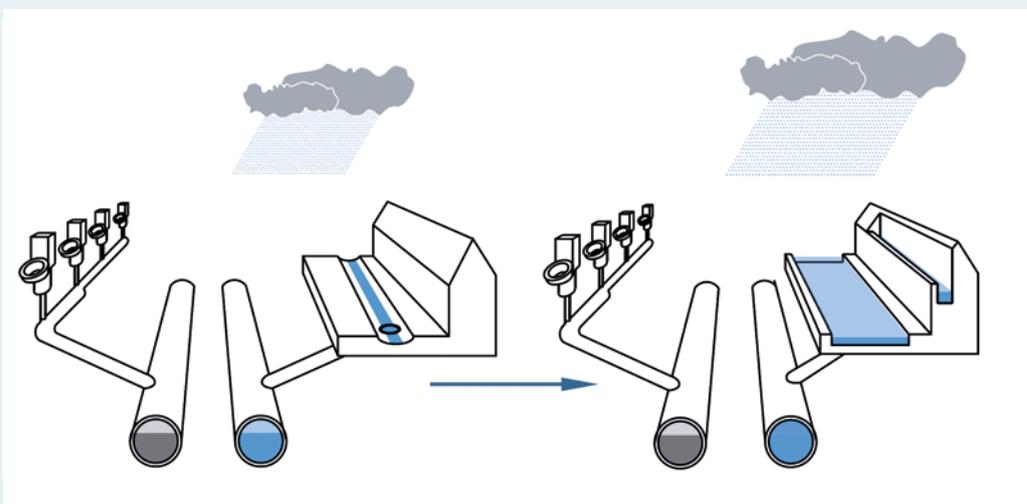


Abb. 1b: Oberflächenrückhalt im Trennsystem. Quelle: Berliner Wasserbetriebe frei nach Bendin (2014)

Im Siedlungsbestand müssen daher die Möglichkeiten zum temporären Regenwasserrückhalt sowie zur gezielten, schadlosen Abflussleitung von Regenwasser an der Oberfläche erweitert werden. Ziel ist dabei, Abflussspitzen im Starkregenfall in die Mischwasserkanäle und in die örtlichen Gewässer zu verzögern oder deutlich zu vermindern und somit potenzielle Überflutungsbereiche zu entlasten.

Begrenzte Flächenverfügbarkeit sowie teilweise immense Flächennutzungskonflikte in urbanen Räumen verhindern häufig eine Umsetzung von Maßnahmen der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung und des Überflutungsschutzes an der Oberfläche. Um diese Widerstände abzubauen und den genannten Maßnahmen mehr Gewicht zu verschaffen, ist es notwendig, die breite Palette an positiven Effekten und Synergiemöglichkeiten, die von den genannten Maßnahmen ausgehen, stärker zu verdeutlichen. Die Effekte gehen weit

über die bloße Abflussreduzierung hinaus und tangieren Bereiche wie Stadtklima, Biodiversität und den lokalen Wasserhaushalt, welche im Zuge des Klimawandels weiter an Bedeutung gewinnen werden.

Im Projekt KURAS werden Maßnahmen der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung und des Überflutungsschutzes, die städtebaulicher Umsetzungsmethoden bedürfen, untersucht und hinsichtlich der genannten Effektbereiche integral bewertet. Zu den Maßnahmen gehören unter anderen:

- dezentrale Regenwasserbewirtschaftung (z. B. Dachbegrünung, Muldenversickerung),
- temporärer Flächeneinstau,
- gezielte Abflussleitung auf der Oberfläche.

## Trockenwetterperioden – Städtebauliche Handlungsoptionen

Die Auswirkungen von Trockenheit bzw. Trockenwetterperioden auf die Abwasserinfrastruktur verstärken sich durch zukünftig weiter sinkenden Wassergebrauch (infolge von Änderungen im Wassergebrauchsverhalten, demografischem Wandel). Trockenwetterperioden über einen Zeitraum von sechs bis acht Wochen sind bereits heute festzustellen – im Sommer- wie im Winterhalbjahr. Für diese Zeiträume ist zu erwarten, dass Ablagerungen aufgrund unzureichender Wandschubspannung in der sog. Schwemmkanalisation zunehmen. Der Zunahme von Aufenthaltszeit des Abwassers in der Kanalisation wie der Zunahme von Ablagerungen lässt sich durch automatisierte Schwallspülsysteme begegnen. Die Erhöhung der Anpassungsfähigkeit erfordert hier mit Blick auf städtebauliche Handlungsoptionen beispielsweise die Implementierung von Spülwasserbevorratungen im öffentlichen Stadtraum.

Auf Basis von Voruntersuchungen zur Ermittlung sog. Schwallspülmengen konnte deren wirksame Reichweite im Kanalnetz an ausgewählten Haltungsabschnitten zum Modellgebiet simulationstechnisch dargestellt werden. Die Maßnahmenuntersuchungen wurden für den Status quo bewertet.

Das Simulationsergebnis in der Abbildung zeigt beispielhaft, dass bereits mit einem Spülvolumen von 300 Litern die zur Remobilisierung von Ablagerungen erforderliche Wandschubspannung von  $3 \text{ N/m}^2$  bis zum Ende des betreffenden Kanalabschnittes (DN 250, Länge 120 m) erreicht werden kann. Mit systematischen Schwallspülungen lassen sich während der Trockenwetterperiode entstehende Ablagerungen vermindern bzw. Schmutzfrachten verringern und in Folge dessen Stoßbelastungen innerhalb der Abwasserinfrastruktur aufgrund nachfolgend einsetzender Regenereignisse vermeiden. Die im öffentlichen Stadtraum zu implementierende Bevorratung kann sowohl durch Regenwasser als auch durch Betriebswasser gespeist werden.



Abb. 2: Simulationsergebnisse zum Starkregenabflussgeschehen auf der Oberfläche  
links: Abflussgeschehen vor Maßnahmen; Mitte: Maßnahmen an der Oberfläche zur Retentions- und Abflussleitung; rechts: Abflussgeschehen mit Maßnahmenumsetzung und Gefährdungsreduzierung des Rathausbereichs im Osten.

Quelle: Technische Universität Kaiserslautern 2016; Geoportal/Berlin

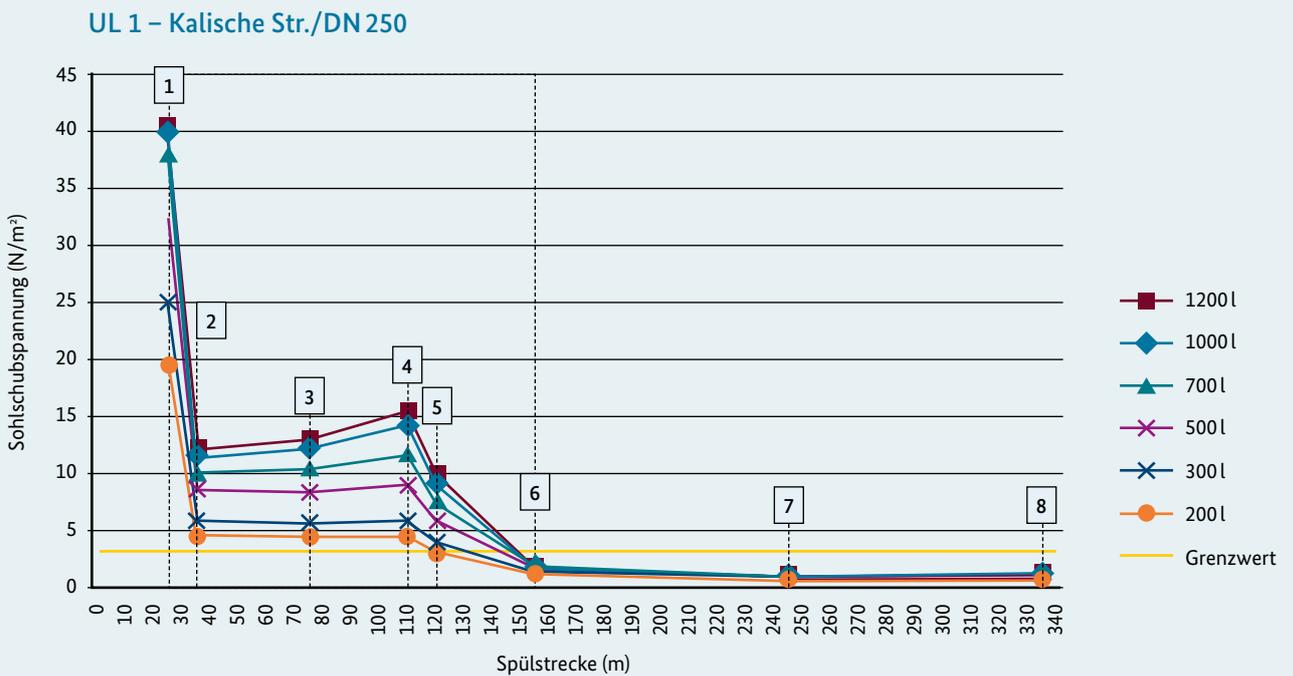


Abb. 3: Beispiel für Simulationsergebnis bei Variation der Spülmengen zwischen 200 und 1.200 Litern.  
Quelle: Berliner Wasserbetriebe 2015

Autor:

Matthias Pallasch

Projekt: KURAS

## G2

# Straßenbäume in Versickerungsrigolen: Neue Wege der Regenwasserbewirtschaftung

Hitze- und Trockenperioden wie im Jahr 2015 und Starkniederschläge, wie sie im Sommer 2016 deutschlandweit auftraten, werden aufgrund klimatischer Veränderungen künftig vielerorts zunehmen. Dies trifft vor allem die Bewohnerinnen und Bewohner urbaner Gebiete. Zum Schutz der Städte vor Überflutungen und Hitzestress werden besondere Anpassungsstrategien benötigt. Einerseits muss zusätzlicher Speicherraum für Niederschlagswasser generiert werden. Andererseits kann durch vermehrte Verdunstung und eine stärkere Verschattung der urbane Hitzestress reduziert werden. Beide Lösungsansätze lassen sich durch die Kopplung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung (RWB) mit Baumpflanzungen, z. B. im Straßenraum, umsetzen. Im INIS-Verbundprojekt KURAS fand dieser Lösungsansatz weitreichende Beachtung.

Die Notwendigkeit, mehr Vegetations- und Wasserflächen in die Städte zu bringen, wurde in den letzten Jahren zunehmend erkannt: Unter dem Schlagwort „Blue-Green-Infrastructure“ werden vielerorts Konzepte zur Entwicklung von Grünflächen, häufig in Kombination mit Versickerungsflächen, erarbeitet.

Regionale Klimaanpassungskonzepte, wie z. B. der Stadtentwicklungsplan (StEP) Klima in Berlin, fordern mehr Bäume für Städte. Gleichzeitig wächst der Bedarf an Speichervolumen für Regenwasser – dies nicht nur, weil vielerorts die Szenarien zum Klimawandel eine Zunahme von Starkregenereignissen beinhalten, sondern vor allem auch, weil der Trend zur Versiegelung der Städte nach wie vor anhält. Vor dem Hintergrund beengter Platzverhältnisse in den Städten wird gerade die Kombination Pflanzung von Straßenbäumen und Regenwasserbewirtschaftung positiv gesehen. Die gleichzeitige Förderung von Versickerung und Verdunstung folgt aus wasserwirtschaftlicher Sicht dem Ansatz, die Gesamtwasserbilanz von Städten ganzheitlich, unter Berücksichtigung aller Komponenten (Versickerung, Verdunstung, Abfluss), zu betrachten.



Abb. 1: Kombination von Straßenbäumen und Versickerungsmulden in Berlin-Rummelsburg. Quelle: Fa. Sieker

Die Idee der Kombination von RWB-Maßnahmen und Pflanzung von Straßenbäumen griff das INIS-Verbundprojekt KURAS auf und entwickelte sie weiter. Angetrieben durch die stadtklimatische und wasserhaushaltsbezogene Defizitanalyse, aber auch durch die identifizierten Defizite bezüglich Biodiversität und Aufenthaltsqualität, wurde für Modellquartiere in Berlin-Schöneberg und Berlin-Pankow die Umsetzung von sogenannten Baum-Rigolen geplant. Angelehnt an Lösungen im internationalen Raum, wie stormwater-tree-pit in den USA, klimaadaptierte Stadtböden in den Niederlanden oder Pflanzgruben in Stockholm, wurde bei der Maßnahmenplanung ein Konzept verfolgt, das Straßenbäume in Versickerungsrigolen vorsieht. Über einen vereinfachten Bemessungsansatz, der im Grundsatz dem DWA A-138 folgt, konnten die Maßnahmen in der Simulation des urbanen Wasserhaushalts im Modell STORM berücksichtigt werden.

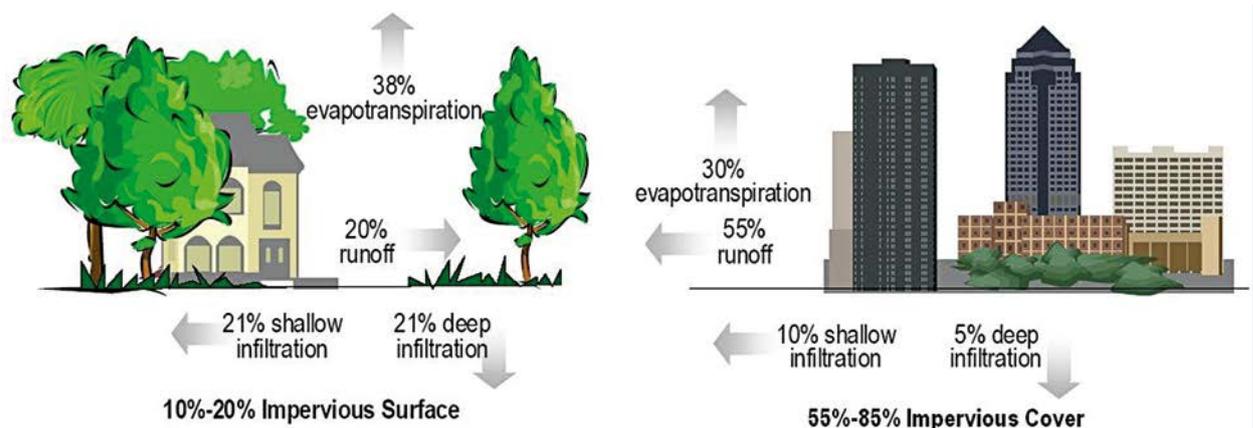


Abb. 2: Änderung der Wasserbilanz in Folge von Versiegelung. Quelle: US EPA 2004



Abb. 3 links: Aufbau Baum-Rigole im Straßenraum. Quelle: Fa. Sieker

Abb.3 rechts: Straßenbäume mit Bewässerung aus Regenwasserzisternen. Quelle: Ramboll Studio Dreiseitl



Abb. 4: Gestaltung von Straßenbaumstandorten in Kombination mit Regenwasserbewirtschaftung. Quelle: Ramboll Studio Dreiseitl

Über die Simulation der Baum-Rigolen im Stadtklimamodell ASMUS\_GREEN ließen sich die Auswirkungen auf das Stadtklima abbilden.

Die Ergebnisse der Simulationen sind vielversprechend. Besonders auf stark besonnten Plätzen und in breiten Straßen offenbart sich ein Kühleffekt, der vor allem auf die Verschattung von versiegelter Oberfläche durch Baum-Rigolen zurückzuführen ist. Gleichzeitig wurde über Simulationen in STORM für Baum-Rigolen eine deutlich höhere Verdunstung gegenüber normalen Versickerungsmulden festgestellt.

Die Kombination Pflanzung von Straßenbäumen und RWB-Maßnahmen steht in Deutschland noch in den Startlöchern. Derzeit gibt es aber zahlreiche Initiativen, Forschungsprojekte und Bauvorhaben, in denen der Schritt zur Umsetzung gewagt wird. Dabei müssen offene Fragen (z. B. zu Stoffretention, Standortvoraussetzungen) geklärt werden, die besonders für die Entscheidungsfindung von Genehmigungsbehörden eine große Rolle spielen. INIS konnte hier einen wertvollen Beitrag liefern.

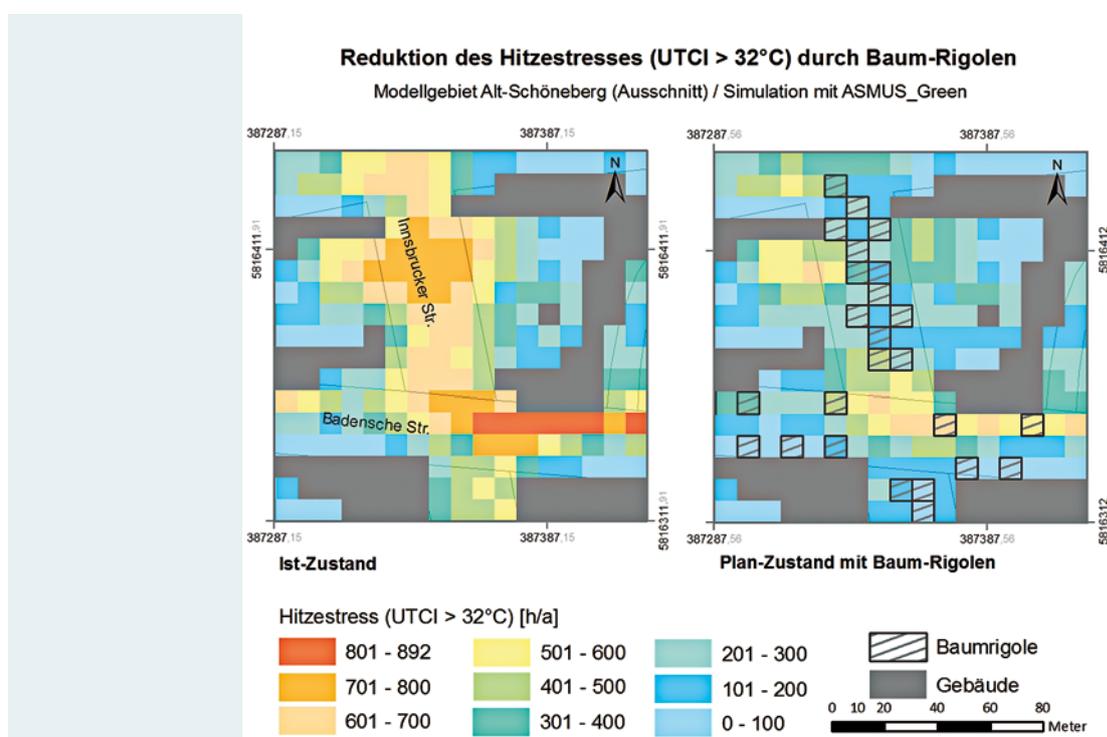


Abb. 4: Wirkung von Baum-Rigolen auf die Reduktion des Hitzestresses. Simulationsergebnisse aus KURAS, berechnet mit ASMUS\_Green. Quelle: Institut für Meteorologie und Klimatologie [IMUK] der Leibniz Universität Hannover/GEO-NET

Autorinnen und Autor:

Antje Stokman, Lisa Deister  
und Fabian Brenne

Projekt: SAMUWA

G3

# Vom Generalentwässerungsplan zum Wasserleitplan: Entwicklung integrierter Maßnahmen- und Gestaltungskonzepte

Fachdisziplinen verzahnen,  
kooperative Zusammenarbeit ermöglichen:  
eine Handlungsanleitung

Im Teilprojekt „Freiraumplanerische Gestaltungsstrategien“ des INIS-Vorhabens SAMUWA wurde ein Leitfaden für Wasserwirtschaft sowie Stadt- und Freiraumplanung entwickelt, der ein schrittweises Vorgehensmodell für die Erstellung einer großräumigen Gesamtkonzeption und als Grundlage für die konkrete Maßnahmenplanung in ausgewählten Fokusgebieten vorschlägt. Dabei kann, je nach Ausgangssituation, der Fokus auf eine ausgeglichene Wasserbilanz oder auf die Überflutungsvorsorge gelegt werden. Das Ziel ist, die vorhandenen Planungsinstrumente und -werkzeuge der Wasserwirtschaft und der Stadt- und Landschaftsplanung zusammenzuführen: Während Generalentwässerungsplan und städtebauliche Rahmenpläne bisher unverknüpft nebeneinander stehen, zeigt das vorgeschlagene Vorgehensmodell einen Weg zur Erstellung eines sogenannten Wasserplans auf, welcher die strategische Leitlinie für die Entwicklung von ortsbezogenen Maßnahmenkonzepten darstellt.

## Vorgehensmodell für eine integrierte Wasserleitplanung

### Schritt 1:

Festlegung der zu betrachtenden Wassereinzugs- und Stadtgebiete (Wirkungsräume) und Analyse des Zusammenspiels von hydrologischem und stadträumlichem Kontext durch die Überlagerung der verschiedenen Analyseschichten im Sinne eines umfassenden Informationssystems

### Schritt 2:

Wasserwirtschaftliche Analyse der Überflutungssituation (Gefährdungs- und Risikopotenzialanalyse) und Betrachtung der Defizite des urbanen Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsbilanzierung) auf der Basis wasserwirtschaftlicher Instrumente und Werkzeuge

### Schritt 3:

Entwicklung eines wasserbezogenen städtebaulichen Leitbilds unter Berücksichtigung räumlicher Notwendigkeiten und Potenziale für die Regenwasserbewirtschaftung bzw. Überflutungsvorsorge in Verbindung mit den verschiedenen Stadtstrukturtypen und dem städtischen Freiraumsystem

### Schritt 4:

Priorisieren und Festlegen von Fokusgebieten unter Abwägung der wasserwirtschaftlichen und stadtplanerischen Potenziale und Defizite und auf der Basis möglicher Mehrfachnutzungen bzw. Synergieeffekte mit anderen Fachplanungen

### Schritt 5:

Entwickeln räumlicher Maßnahmen- und Gestaltungskonzepte für ausgewählte Fokusgebiete und deren Optimierung mithilfe siedlungswasserwirtschaftlicher Werkzeuge

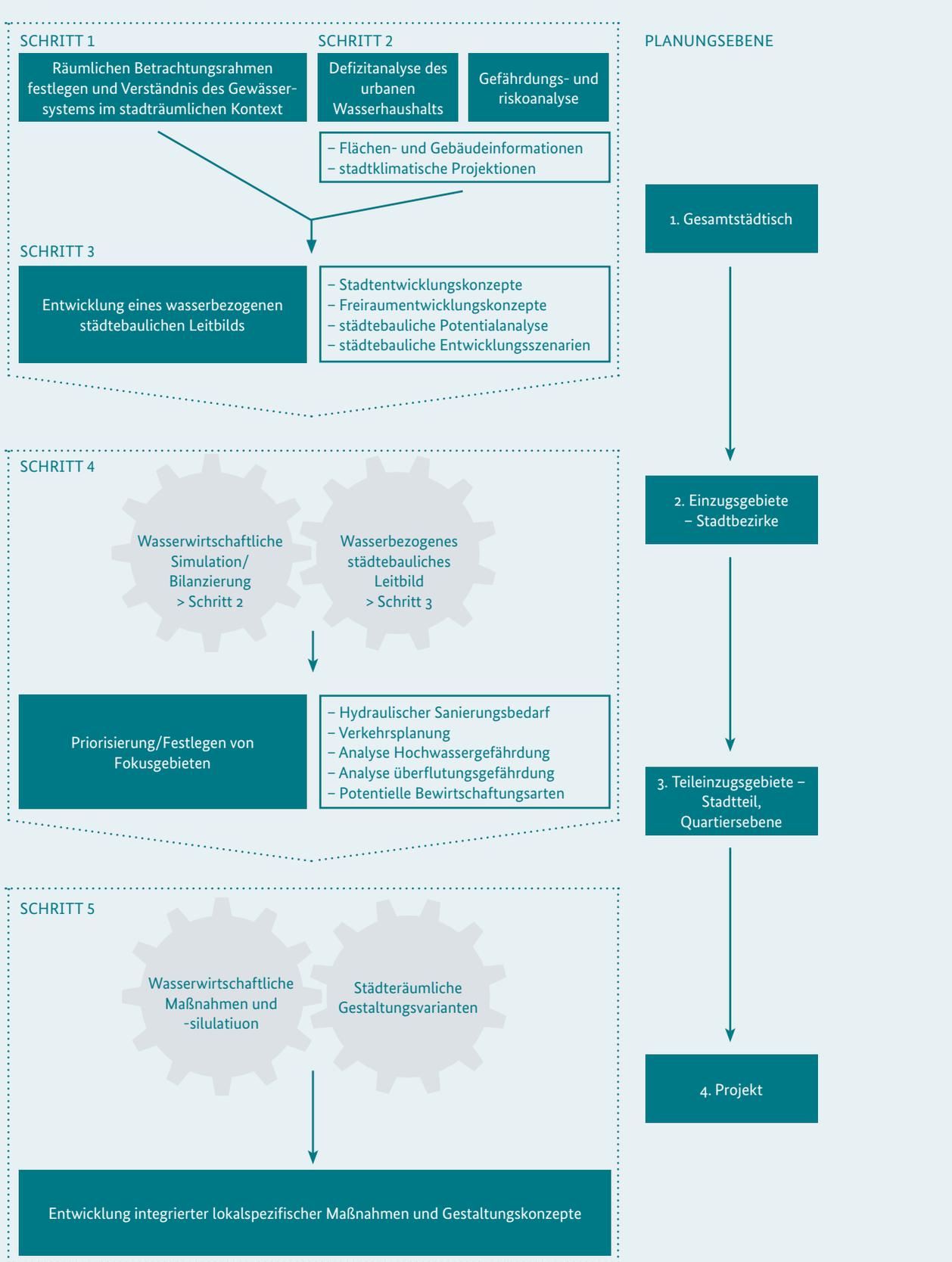


Abb. 1: Handlungsanleitung zur Verzahnung von Regenwassermanagement und Stadtentwicklung. Quelle: Institut für Landschaftsplanung und Ökologie, Universität Stuttgart (ILPÖ) 2016

## Anwendung der Handlungsanleitung auf zwei Modellgebiete

Die oben dargestellte Handlungsanleitung für eine integrierte Wasserleitplanung des SAMUWA-Projekts wurde beispielhaft an zwei Modellgebieten entwickelt und getestet. Dabei lag der Fokus im flachen Modellgebiet Gelsenkirchen auf der stärkeren Berücksichtigung der natürlichen Wasserbilanz bei der Strategie- und Maßnahmenplanung der integrierten Regenwasserbewirtschaftung, während im steilen Modellgebiet Wuppertal der Fokus auf der Entwicklung von Strategien und Maßnahmen zur Überflutungsvorsorge lag.

### Modellgebiet Gelsenkirchen – Verzahnung von Regenwasserbewirtschaftung und Stadtentwicklung

Im Rahmen eines Modellprojekts in Gelsenkirchen wurde ein integriertes Maßnahmenkonzept des Regenwassermanagements auf Basis einer einzugsgebietsbezogenen Defizitanalyse des urbanen Wasserhaushalts mithilfe des Werkzeugs WABILA entwickelt. Dieses im Rahmen des SAMUWA-Projekts entwickelte Wasserbilanzmodell (vgl. Henrichs et al. 2015) ermöglicht eine vereinfachte Bilanzierung des urbanen Wasserhaushalts.

Auf der Basis einer umfassenden Analyse des ausgewählten Betrachtungsraums (Schritt 1) werden mithilfe von WABILA die mittleren Jahreswerte des Oberflächenabflusses, der Grundwasserneubildung und der Verdunstung des bebauten Zustands mit denen des unbebauten Zustands verglichen und Defizite im Wasserhaushalt als Grundlage für die Maßnahmenplanung identifiziert und dargestellt (Schritt 2). Im Ergebnis wird deutlich, dass das Defizit der Verdunstung in vielen Bereichen deutlich größer ist als das Defizit für die Grundwasserneubildung. Die Ergebniskarte der Defizitanalyse des urbanen Wasserhaushalts zeigt, in welchen Bereichen die höchsten Abweichungen zum Wasserhaushalt des unbebauten Zustandes bestehen und wo damit ein erhöhter Handlungsbedarf einhergeht.

Auf Basis dieser Erkenntnisse und unter Berücksichtigung bestehender Leitbilder und räumlicher Entwicklungsszenarien wird ein wasserbezogenes städtebauliches Leitbild erstellt (Schritt 3), welches Entwicklungsziele für verschiedene Teileinzugsgebiete mit dem Ziel formuliert, die Wasserbilanz der verschiedenen Stadträume zu optimieren. Das Wassersystem soll sichtbar und erlebbar werden und in Verbindung mit einem wasserbegleitenden Freiraumsystem die verschiedenen Stadtteile und Stadträume miteinander vernetzen und neue räumliche Qualitäten schaffen, die die Lebensqualität und die Resilienz der Stadt gegenüber Klimaeinflüssen steigern.

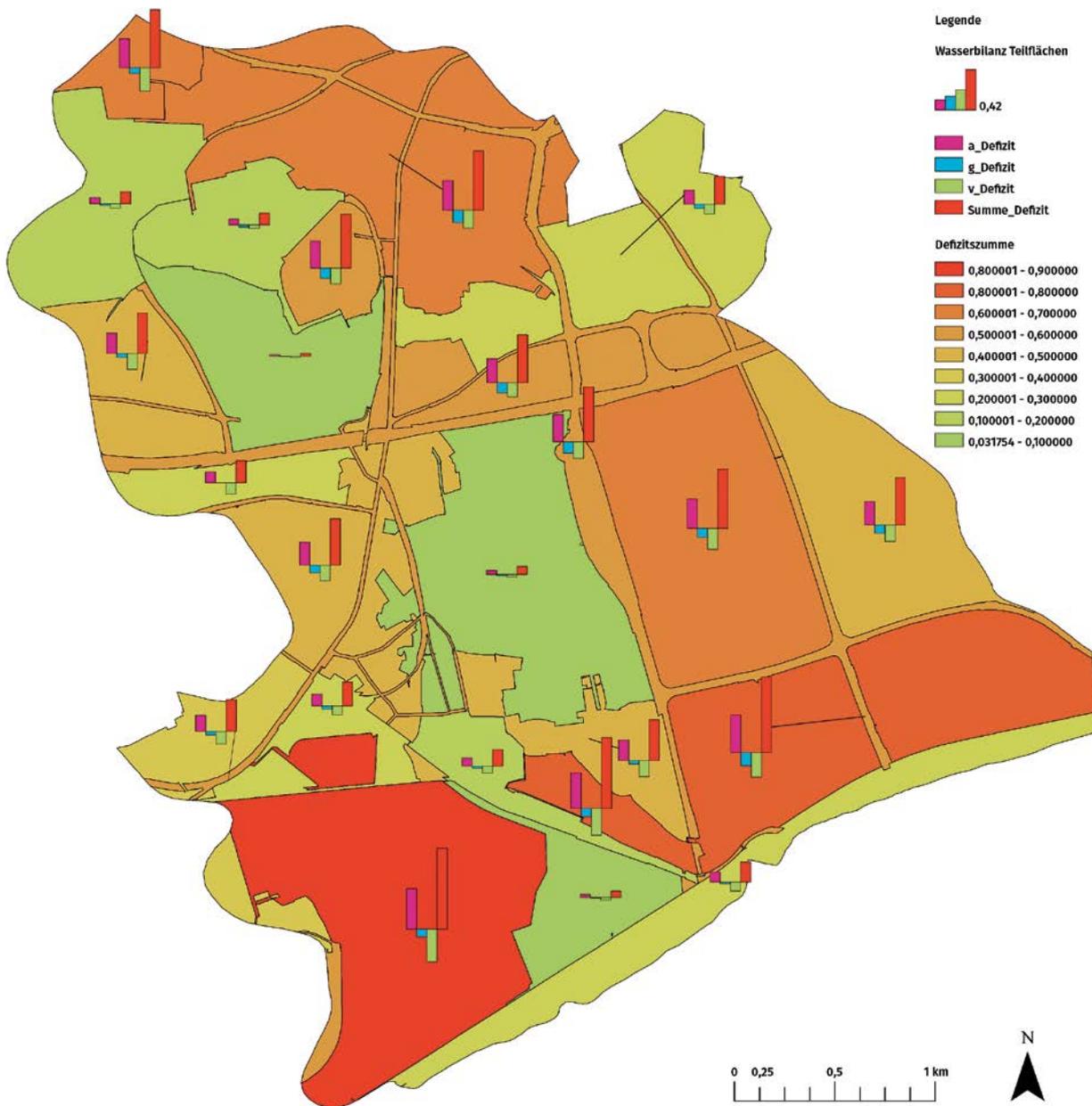


Abb. 2: Ergebniskarte der Defizitanalyse des urbanen Wasserhaushalts für das Projektgebiet.  
Quelle: Institut für Wasser, Ressourcen, Umwelt, FH Münster (IWARU) 2016

Die durch die Defizitanalyse identifizierten Gebiete mit erhöhtem Handlungsbedarf werden im Hinblick auf mögliche Synergiepotenziale mit anderen Fachplanungen überprüft und auf dieser Basis Transformations- und Aufmerksamkeitsräume festgelegt (Schritt 4). Für diese ausgewählten Fokusgebiete werden auf der Grundlage eines Maßnahmenbaukastens unterschiedliche Maßnahmenkombinationen mit dem Ziel der Optimierung der jeweiligen Wasserbilanz entwickelt und visualisiert (Schritt 5), z. B. die Umgestaltung eines Gewerbegebiets durch Gründächer, verdunstungsoptimierte Grünflächen und Straßenzüge. Die daraus resultierenden Konzepte werden dann mithilfe des Wasserbilanzmodells WABILA auf ihre Auswirkungen hinsichtlich der Wasserbilanz getestet, was eine iterative

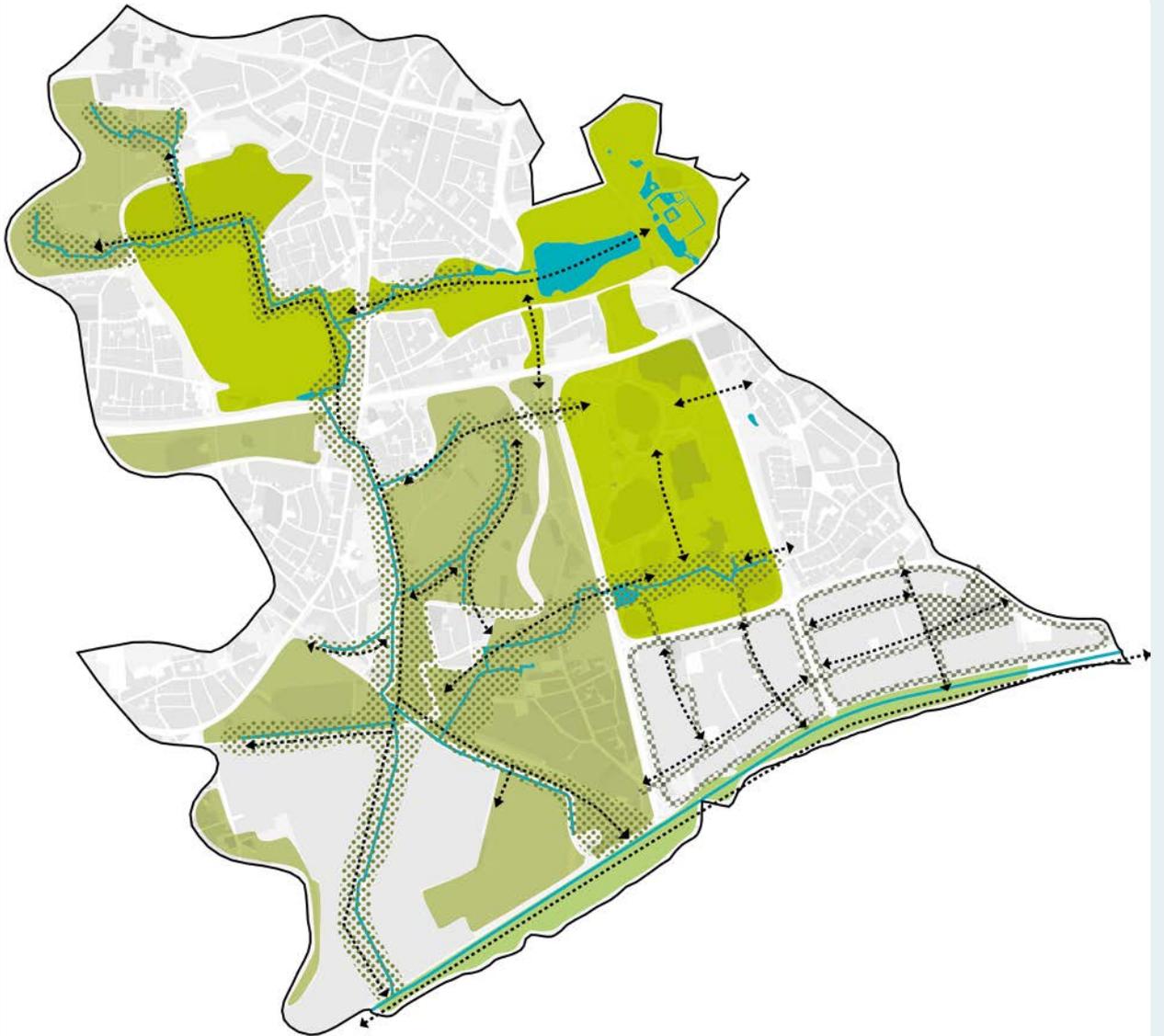


Abb. 3: Räumliche Konkretisierung des wasserbezogenen städtebaulichen Leitbilds für das Projektgebiet.  
Quelle: Institut für Landschaftsplanung und Ökologie, Universität Stuttgart (ILPÖ) 2016

Optimierung der Maßnahmenplanung im Hinblick auf eine Annäherung an den natürlichen Wasserhaushalt ermöglicht. Das entwickelte Verfahren zeigt, wie im aktuellen DWA-A 102 (2016) gefordert, dass der lokale, natürliche Wasserhaushalt mit seinem jeweils lokalspezifischen Verhältnis zwischen den Hauptkomponenten Abfluss, Versickerung und Verdunstung den Ausgangspunkt für die Umsetzung integrierter Maßnahmenkonzepte darstellen kann.

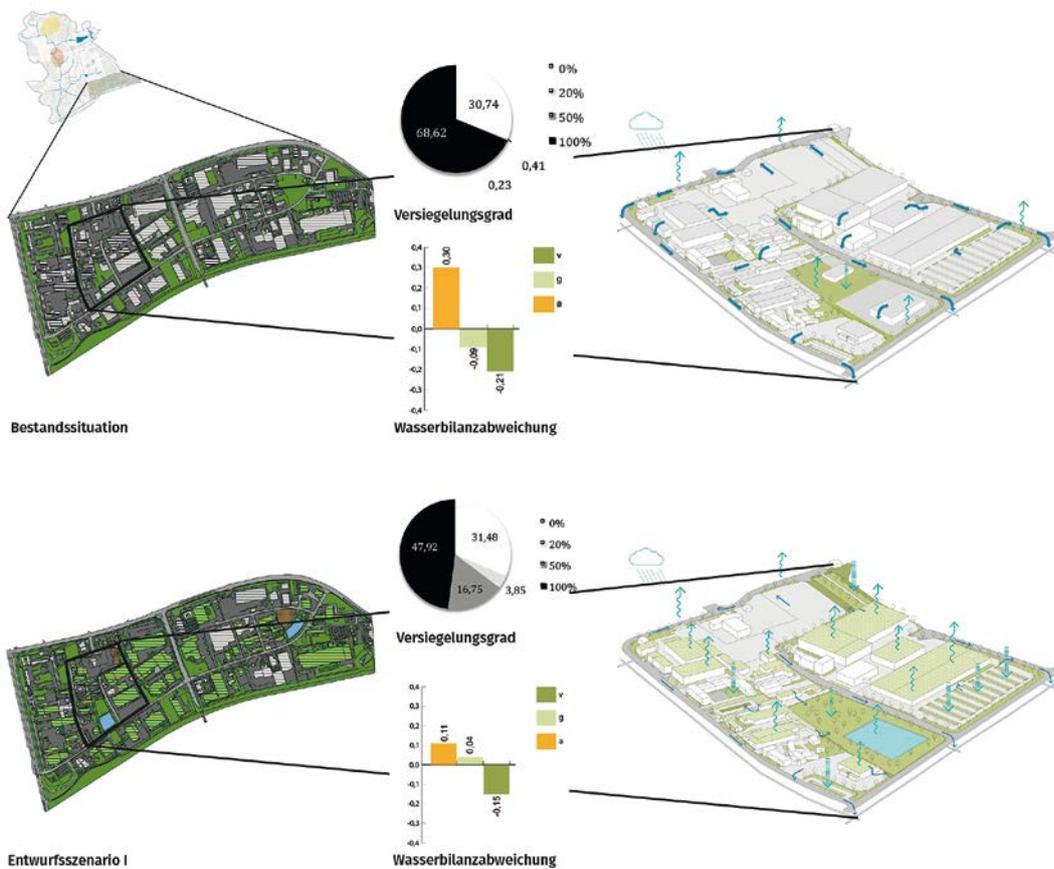


Abb. 4: Iterative Entwurfsoptimierung: Simulation und Visualisierung der unterschiedlichen Entwurfsszenarien und Überprüfung des Zusammenspiels verschiedener Maßnahmenbausteine des Regenwassermanagements.  
Quelle: Institut für Landschaftsplanung und Ökologie, Universität Stuttgart (ILPÖ) 2016

## Modellgebiet Wuppertal – Verzahnung von Überflutungsvorsorge und Stadtentwicklung

Im Rahmen eines Modellprojekts in Wuppertal wurde ein integriertes Maßnahmenkonzept der Überflutungsvorsorge auf Basis einer Ermittlung der Fließwege, Fließgeschwindigkeiten und Ausbreitung von Starkregenabflüssen mithilfe des Programmsystems DYNA/GeoCPM entwickelt.

Als Betrachtungsraum wird das durch eine starke Überflutungsgefährdung geprägte Einzugsgebiet der Varresbeck ausgewählt und im Hinblick auf das Zusammenspiel von hydrologischem und stadträumlichem Kontext analysiert (Schritt 1). Darauf aufbauend wird auf der Grundlage eines Digitalen Geländemodells (DGM) eine GIS-basierte Fließwegeanalyse durchgeführt, die eine erste Einschätzung der sich aufgrund der Topografie einstellenden Fließwege ermöglicht.

Zur detaillierten Abbildung von Abflüssen im Kanalnetz und auf der Oberfläche wird für das Projektgebiet Varresbeck eine gekoppelte Kanalnetz- und Oberflächenabflusssimulation zur Ermittlung des Gefährdungspotenzials durchgeführt (Softwarepaket ++SYSTEMS mit Kanal++, DYNA, GeoCPM). Im Zuge der Risikoanalyse werden dann die ermittelten Gefahrenpotenziale durch die Überflutung mit den auf den Angaben zur Flächen- und Gebäudenutzung aus dem Flächennutzungsplan basierenden örtlichen Schadenspotenzialen überlagert (Schritt 2).

In Schritt 3 wird auf der Grundlage vorliegender Stadtentwicklungsplanungen und -szenarien ein wasserbezogenes städtebauliches Leitbild entwickelt. Dazu werden die verschiedenen Stadtbereiche hinsichtlich



Abb. 5a und 5b: Überflutungssimulation für das Modellgebiet im IST-Zustand für T=30a mit Abflussbildung über das Kanalnetzmodell (links) und Abflussbildung über das Kanalnetz- und Oberflächenmodell (rechts). Quelle: Dr. Pecher AG 2016



Abb. 6: Die permanenten und temporären Fließwege vernetzen die Stadträume und das Wasser. Bereits vorhandene Grün- und Brachflächen werden mit den Rückbaugebieten verknüpft und schaffen ein überflutbares Wege- und Grünnetz, das die Quartiere und Stadträume miteinander verbindet und das Wasser im Starkregenfall sicher ableitet. Quelle: Institut für Landschaftsplanung und Ökologie, Universität Stuttgart (ILPÖ) 2016

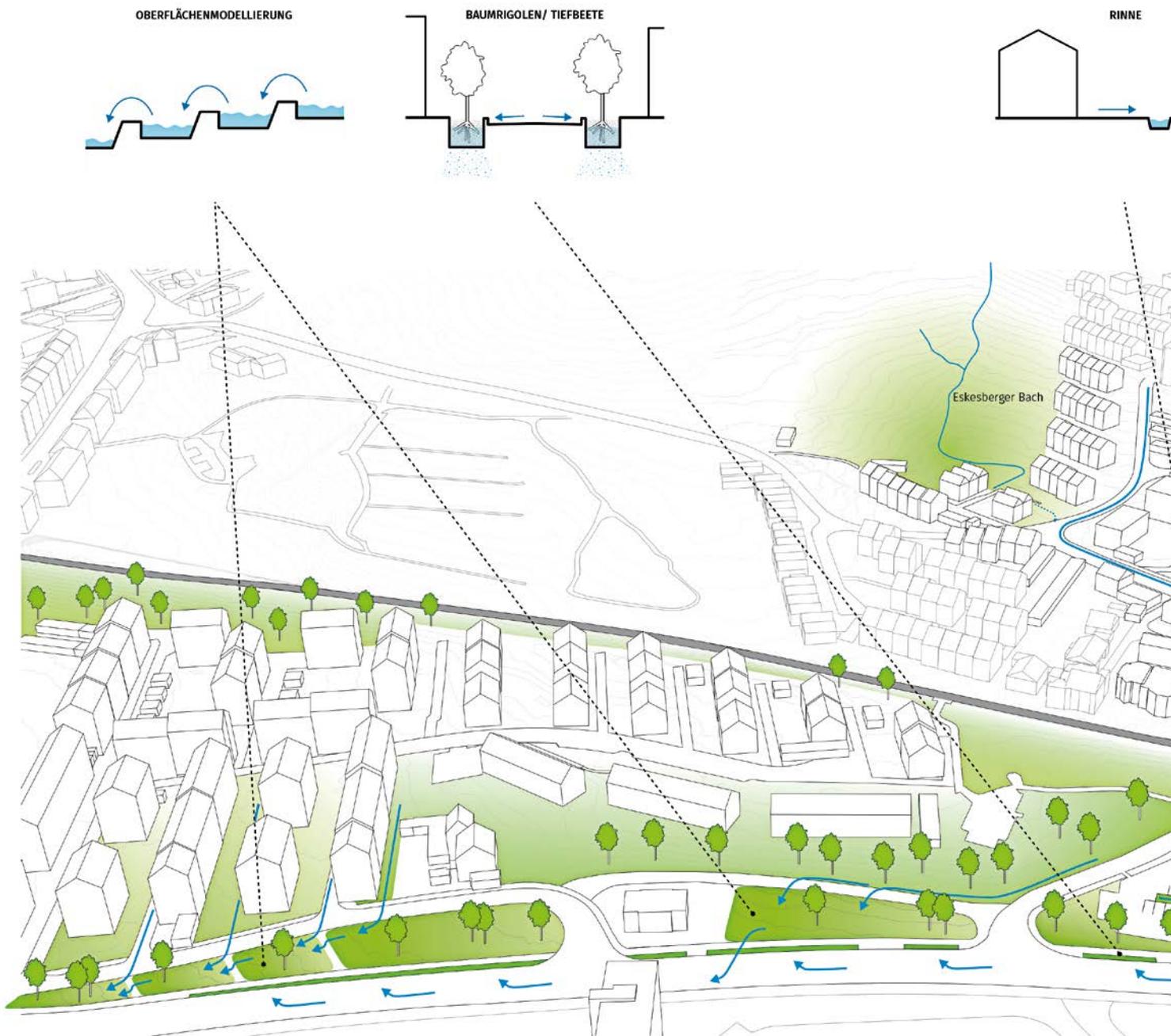


Abb. 7: Integration, Vernetzung und Simulation von Einzelmaßnahmen der Überflutungsvorsorge auf Basis einer übergeordneten Gesamtstrategie als Ausgangspunkt eines „blau-grünen Netzes“ im Fokusgebiet „Eskesberger Wasserweg“.  
Quelle: Institut für Landschaftsplanung und Ökologie, Universität Stuttgart (ILPÖ) 2016

ihrer Eignung zur Überflutungsvorsorge bewertet und die identifizierten Bereiche mit hohem Potenzial mithilfe eines blau-grünen Freiraumsystems miteinander verbunden. Dieses besteht aus „blauen“ (verrohrte und offene Gewässer, in denen dauerhaft Wasser fließt) und „grünen“ Fließwegen (Fließwege, die nur temporär im Starkregenfall aktiviert werden), die sowohl die Resilienz der Stadt angesichts zunehmender Starkregenereignisse erhöhen als auch das Gerüst für ein grünes Wuppertal darstellen.

Im vierten Schritt werden Fokusgebiete ausgewählt, in denen sich die Handlungsbedarfe bezogen auf die Risikoanalyse sowie Handlungspotenziale aus städtebaulicher Sicht bündeln. Für diese werden im Sinne eines optimierten Zusammenspiels zwischen ober- und unterirdischen Systemkomponenten integrierte Maßnahmen- und Gestaltungskonzepte entwickelt und visualisiert, wie z. B. die Schaffung einer als Wassererlebnis- und Bildungsraum gestalteten Flutmulde mithilfe eines Drosselbauwerks im verrohrten



Bachlauf (Schritt 5). Die Maßnahmenkonzepte werden dann mithilfe einer erneuten Überflutungssimulation auf ihre Effekte der Überflutungsvorsorge getestet und in einem iterativen Prozess optimiert, was eine iterative Optimierung der Maßnahmenplanung im Hinblick auf ihre Dimensionierung und Gestaltung ermöglicht.

#### Literatur:

Beneke, G. (2003): Regenwasser in Stadt und Landschaft. Vom Stück-Werk zur Raumentwicklung. Plädoyer für eine Umorientierung. Beiträge zur räumlichen Planung 70. Hannover: Institut für Freiraumentwicklung und Planungsbezogene Soziologie, Universität Hannover.

Brenne, F., L. Deister, H. Hoppe und A. Stokman (2015): Überflutungsvorsorge und Stadtentwicklung – Formulierung integrierter Lösungswege, in: ISWA (Hrsg.): Wasser Schutz Mensch. Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft Band 225, München, S. 207–218.

Deister, L., F. Brenne, A. Stokman, M. Jeskulke, H. Hoppe, M. Henrichs und M. Uhl (2016): Wassersensitive Stadt- und Freiraumplanung. Handlungsstrategien und Maßnahmenkonzepte zur Anpassung an Klimatrends und Extremwetter, <http://www.samuwa.de/publikationen/>

Henrichs, M., L. Deister, F. Brenne, J. Langner, M. Uhl und A. Stokman (2015): Verzahnung von Stadtentwicklung und Niederschlagsentwässerung: funktioniert das? – Entwicklung einer Handlungsanleitung, in: ISWA (Hrsg.): Wasser Schutz Mensch. Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft Band 225, München, S. 219–228.

Stokman, A., H. Hoppe, C. Massing, F. Brenne und L. Deister (2015): Starkregenereignisse als Motor einer wassersensitiven Stadtentwicklung, in: Korrespondenz Abwasser, Abfall 62 (2), S. 122–129, DOI: 10.3242/kae2015.02.002.

Stokman, A., F. Brenne und L. Deister (2015): Überflutungs- und Trockenheitsvorsorge als Stadtgestaltung. Wasser als strukturellformgebende Kraft anerkennen, in: Stadt und Grün 06/2015, S. 21–26.

Autorinnen und Autor:

Antje Stokman, Lisa Deister  
und Fabian Brenne

Projekt: SAMUWA

## G4

# Zu einer Kultur der Kooperation: Wie können Siedlungswasser- wirtschaft und Stadtentwicklung intensiver zusammenarbeiten?

## Notwendigkeit gesamträumlicher Planungs- strategien und -konzepte

Die derzeitige Planungspraxis der wassersensitiven Stadtentwicklungsplanung ist geprägt durch kleinteilige Lösungsansätze der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung auf Grundstücks- bzw. Quartiersebene. Die Lösungsansätze führen zu einer Vielzahl voneinander losgelöster Einzelösungen. Diese setzen sich bisher nur unzureichend zu dem jeweils standortspezifischen Wasserhaushalt und der landschaftsräumlichen Ordnung in Bezug.

Aus wasserwirtschaftlicher Sicht ist die bisherige Praxis der Regenwasserbewirtschaftung zu einseitig auf das Prinzip der Versickerung mit dem Ziel der Kappung von Hochwasserspitzen und der Erhöhung des Niedrigwasserabflusses ausgerichtet. Sie berücksichtigt nicht ausreichend den lokalen natürlichen Wasserhaushalt mit seinem jeweils lokalspezifischen Verhältnis zwischen den Hauptkomponenten Abfluss, Versickerung und Verdunstung, wie es das neue DWA-A 102 (2015) fordert. Aus stadt- und freiraumplanerischer Sicht führen zu kleinteilige und fragmentierte Konzepte der freiraumbezogenen Integration von Regenwasserbewirtschaftsmaßnahmen zu einer immer unübersichtlicheren Raumorganisation, ohne Bezug zu übergeordneten Gewässer-, Gelände- und Freiraumstrukturen, wie schon Beneke (2003) kritisierte.

Im Sinne eines integrierten Planungsverständnisses kommt deshalb großräumigen und strategischen Planungsansätzen der wassersensitiven Stadtentwicklung eine wichtige Schlüsselrolle zu, um wasserwirtschaftliche Ziele in städtebauliche Strategien und Planungen zu „übersetzen“. Die Wasserwirtschaft hat durch die neuen DWA-Regelwerke zur Überflutungsvorsorge und integralen Siedlungsentwässerung bereits einen ersten Schritt zur Einbindung von Maßnahmen der Überflutungs- und Trockenheitsvorsorge in routinemäßige Planungsprozesse getan. Nun müssen die wasserwirtschaftlichen Methoden der Überflutungsanalyse und Wasserhaushaltsbilanzierung mit den Strategien und Instrumenten der Stadtentwicklungs- und Bauleitplanung verzahnt und die Ergebnisse dort berücksichtigt werden. Die rechtliche Grundlage dafür ist durch § 9 (16) Baugesetzbuch (BauGB) gegeben: Der Bebauungsplan sieht explizit Flächen für die Wasserwirtschaft, für Hochwasserschutzanlagen und für die Regelung des Wasserabflusses vor.

## Ortsspezifische Maßnahmenkonzepte und Mehrfachnutzung städtischer Oberflächen

Die Oberflächen der Stadt anzupassen, um sie einerseits überflutungstauglich im Fall von Starkregenereignissen zu machen und andererseits als Wasserspeicher für Hitzeperioden zu nutzen („Schwammstadtprinzip“), wird zu einer Schlüsselaufgabe, wenn es darum geht, städtebauliche Handlungsoptionen zu realisieren. Voraussetzung dafür ist eine konsequente Ausrichtung der Stadtentwicklungsplanung auf die jeweils ortsspezifischen hydrographischen Rahmenbedingungen der verschiedenen Wassereinzugsgebiete einer Stadt, welche geprägt sind durch jeweils unterschiedliche Verhältnisse zwischen Topographie, Wasserhaushalt, Freiraum- und Bebauungsstruktur. Ein Eingrenzen der Handlungsbereiche auf Stadtgebiete mit hoher Überflutungswahrscheinlichkeit und auch auf Stadtgebiete mit großen Defiziten des urbanen Wasserhaushaltes in Bezug auf Versickerung und Verdunstung ist vor dem Hintergrund knapper Mittel zwingend notwendig.

Für diese Gebiete geht es darum, eine mit verschiedenen räumlichen Planungen (Wasserwirtschaft, Stadt-, Verkehrs- und Landschaftsplanung) abgestimmte wasserbezogene Gesamtkonzeption zu entwickeln. Diese sollte möglichst auch einen Mehrwert für die Stadt- und Freiraumentwicklung in der Gesamtheit erzeugen. Dabei geht es insbesondere darum, die Kosten für unterirdische Infrastrukturbauwerke zu reduzieren bzw. solche Infrastrukturbauwerke mit Maßnahmen der oberirdischen attraktiven Gestaltung von Freiflächen zu kombinieren. Dabei stellt ein vernetztes Wasser- und Freiraumsystem den Ausgangspunkt dar, um verschiedene Maßnahmenbausteine der Regenwasserbewirtschaftung intelligent zu verknüpfen. Das Ziel muss dabei sein, unterschiedliche Maßnahmen zur Verbesserung der Überflutungs- und Trockenheitsvorsorge auf den Oberflächen der Stadt mit anderen Funktionen zu überlagern (Prinzip der „Mehrfachnutzung“ bzw. „Mitbenutzung“).

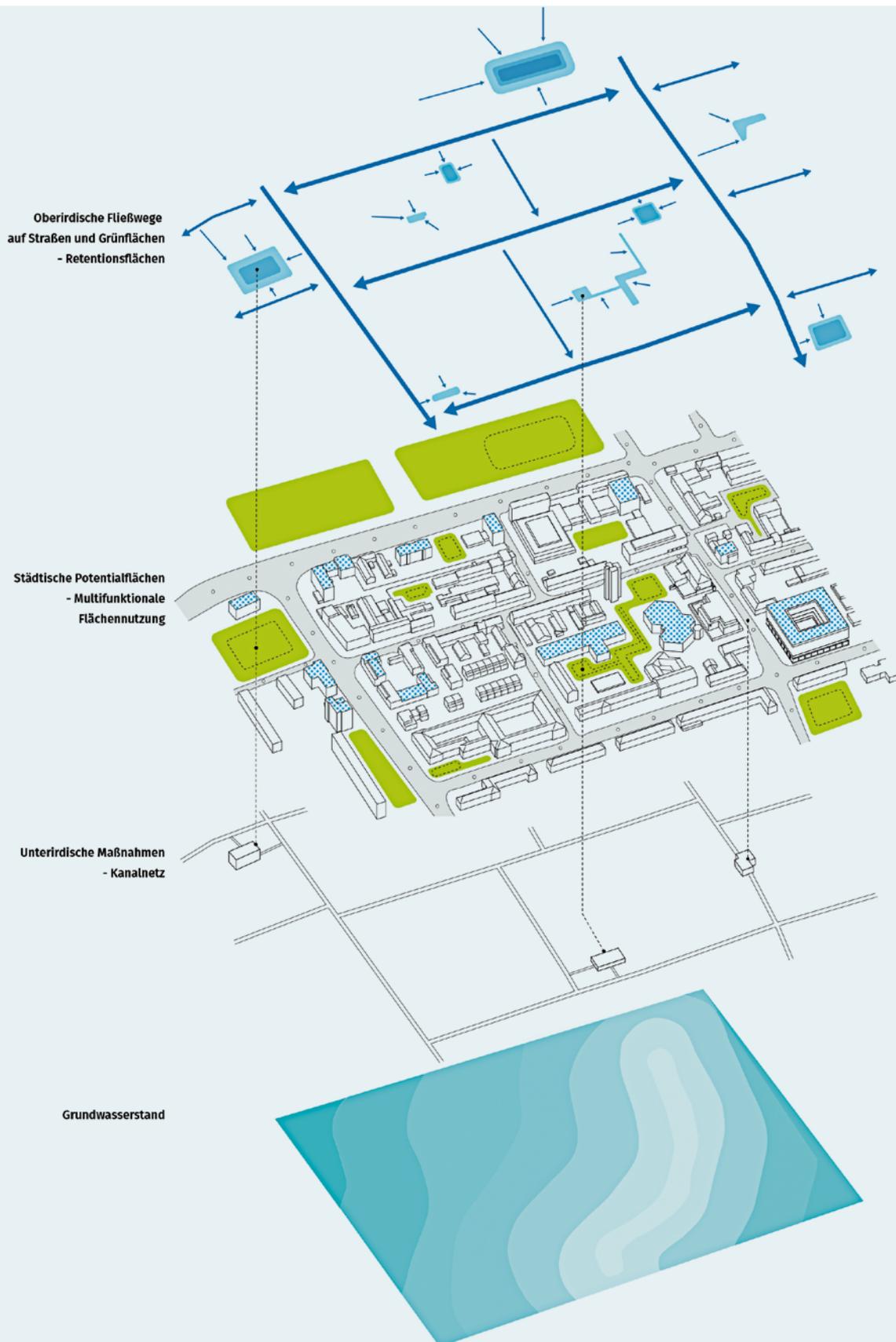


Abb. 1: Multifunktionale Maßnahmenverzahnung im Sinne der Mehrfachnutzung städtischer Freiräume.  
 Quelle: Institut für Landschaftsplanung und Ökologie, Universität Stuttgart (ILPÖ) 2016

### Übersicht: Möglichkeiten der Mehrfachnutzung bzw. Mitbenutzung städtischer Freiräume

- Nutzung von Straßen, Wegen und Plätzen zur temporären Zwischenspeicherung und/oder zum Ableiten von Abflussspitzen bei urbanen Sturzfluten, um das Risiko für andere Bereiche der Stadt zu reduzieren;
- Nutzung von begrünten Dachflächen und Fassaden für die Regenwasserspeicherung, -ableitung und -versickerung zur Förderung eines ausgeglichenen Wasserhaushalts;
- gezielte Speicherung und Verdunstung von Regenwasser in öffentlichen und privaten Grünflächen (z. B. Verdunstungsbeete, Baumrigolen, pflanzenbestandene Wasserflächen, schwimmende Vegetationsinseln), um angesichts zunehmender Hitzeperioden mehr Flächen für kühlende Verdunstung zu schaffen.

Positive Synergieeffekte ergeben sich vor dem Hintergrund knapper Kassen in den Kommunen, indem ohnehin vorgesehene Planungen zur Verbesserung der Aufenthaltsqualität öffentlicher Freiflächen, zur ökologischen Aufwertung oder der Sanierung/des Umbaus von Straßen mit Maßnahmen der städtischen Überflutungs- und Trockenheitsvorsorge verknüpft werden („Huckepack“-Prinzip). Notwendige Investitionen der Schadensminimierung und -vorbeugung können so genutzt werden, um gleichzeitig mehrere Ziele zu erreichen: 1. wesentlich mehr Oberflächen in der Stadt für das Regenwassermanagement zu nutzen, 2. mit den dafür notwendigen Investitionen die Stadt grüner zu machen und 3. den Bürgerinnen und Bürgern mehr Lebensqualität zu bieten. Alle diese Aspekte müssen ineinandergreifen, interdisziplinär zusammengedacht und weiterentwickelt werden; nur dann lassen sich die für die Umsetzung notwendigen Ressourcen besser nutzen.

### Disziplinen übergreifende Planungsansätze, Datenaustausch und Planungstools

Voraussetzungen für die Entwicklung integrierter Maßnahmenkonzepte sind aktive ressortübergreifende Zusammenarbeit und intensive Kommunikation zwischen den beteiligten Fachdisziplinen (Wasserwirtschaft plus Stadt-/Landschaftsplanung), denn eine Mehrfachnutzung der Oberflächen der Stadt gelingt nicht mit sektoralen Konzepten, sondern nur als interdisziplinäre Gemeinschaftsaufgabe. In diesem Sinne sollten interdisziplinäre Planungsgemeinschaften bei der Beauftragung gefordert und die Projekte seitens der Verwaltung durch ressortübergreifende Arbeitsgruppen koordiniert und begleitet werden – auf Basis einer horizontalen Finanzierung zwischen den unterschiedlichen Bereichen.

Ausgehend von einer Bilanzierung und Simulation der Bestandssituation aus wasserwirtschaftlicher Sicht lassen sich großräumige Stadtentwicklungsstrategien (auf Ebene der Gesamtstadt oder für ausgewählte Wassereinzugsgebiete) erarbeiten, „Fokusgebiete“ mit Handlungsbedarf identifizieren und priorisieren sowie kleinräumige Maßnahmenkonzepte entwickeln, überprüfen und iterativ optimieren.

Durch den abgestimmten Austausch von Daten und Informationen wird der Kommunikations- und Arbeitsprozess zwischen den Fachdisziplinen und Akteuren erleichtert. Hierbei geht es gleichermaßen um adäquaten Informationsgehalt (so viel Information wie nötig, so wenig Details wie möglich) wie um kompatible Datenformate. Anschauliche Visualisierungen fördern eine erfolgreiche Zusammenarbeit der verschiedenen Fachressorts und das Einbeziehen der Öffentlichkeit.

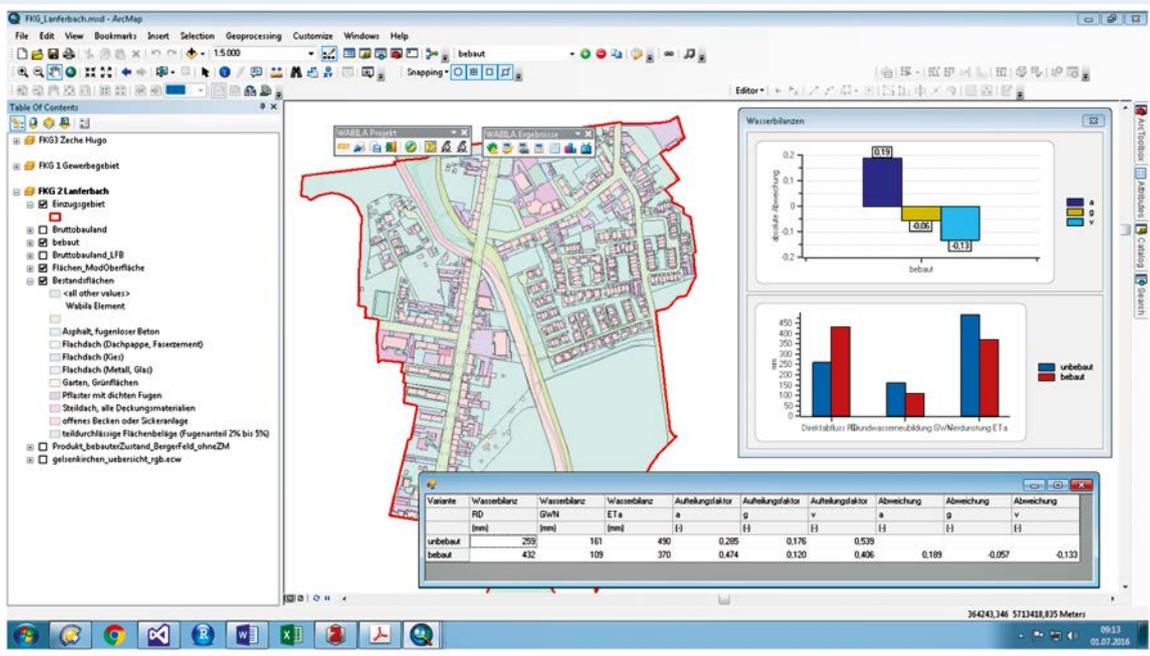


Abb. 2: Grafische Benutzeroberfläche des im Rahmen von SAMUWA entwickelten und eingesetzten WABILA-Werkzeugs.  
Quelle: Institut für Wasser, Ressourcen, Umwelt, FH Münster (IWARU) 2016

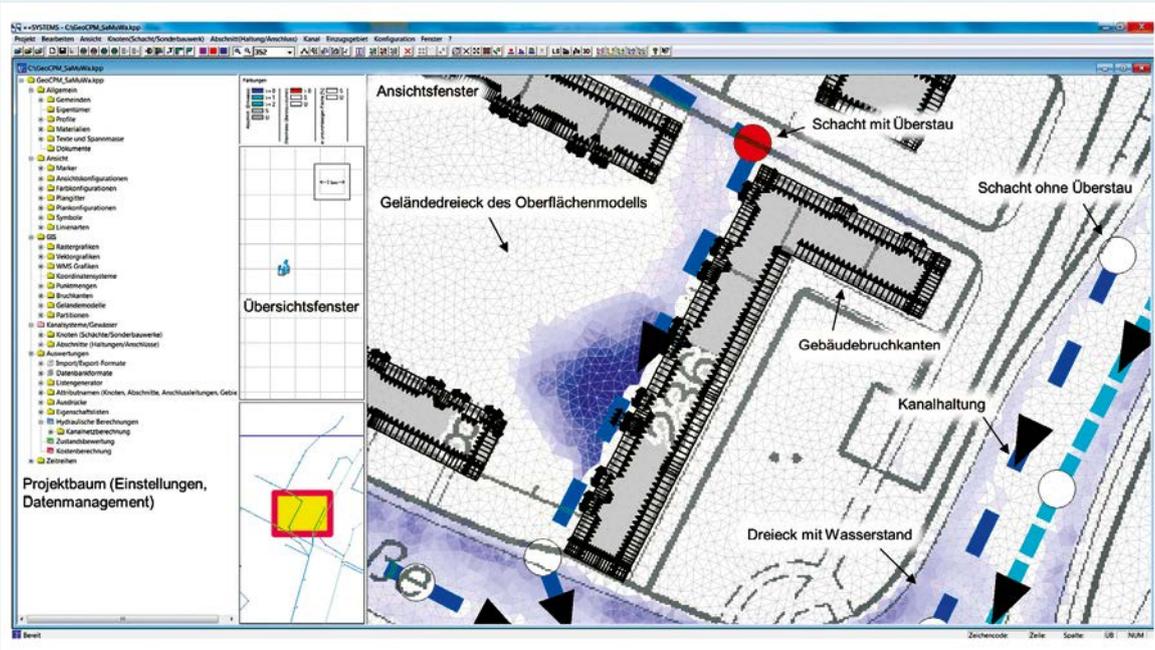


Abb. 3: Grafische Benutzeroberfläche des im Rahmen von SAMUWA eingesetzten GeoCPM-Werkzeugs.  
Quelle: Dr. Pecher AG 2016

Die Schnittstellen zwischen den verschiedenen Programmen (z. B. GIS, CAD-Programme, Visualisierungsprogramme, Wasserbilanzierungssoftware, Simulationsprogramme usw.) müssen verbessert werden, um Informations- und Genauigkeitsverlust zu vermeiden und den Datenaustausch zu vereinfachen. Über Austauschplattformen, z. B. Web-GIS-Systeme, lassen sich die Daten ressortübergreifend zur Verfügung stellen. Entscheidend ist darüber hinaus, die erstellten Karten nach der ersten Aufstellung kontinuierlich fortzuschreiben und den beteiligten Akteuren zugänglich zu machen.

Durch die interdisziplinäre Zusammenarbeit wird ein Wissensaustausch angestoßen. Dieser unterstützt die Entwicklung kreativer Lösungsvorschläge, die über gängige Lösungen und die Eigenlogik der Fachdisziplinen hinausgehen. Leuchtturm- und Pilotprojekte mit innovativen und attraktiven Maßnahmenumsetzungen helfen dabei, sowohl Fachleute als auch die Allgemeinbevölkerung zu sensibilisieren. Sie dienen als praktische Beispiele, um die Verzahnung von Stadtentwässerung, Stadt- und Freiraumplanung sowie Straßen- und Hochbau weiterzuentwickeln.

#### Literatur:

Beneke, G. (2003): Regenwasser in Stadt und Landschaft. Vom Stück-Werk zur Raumentwicklung. Plädoyer für eine Umorientierung, Beiträge zur räumlichen Planung, Nr. 70, Hannover: Institut für Freiraumentwicklung und Planungsbezogene Soziologie, Universität Hannover.

Brenne, F., L. Deister, H. Hoppe und A. Stokman (2015): Überflutungsvorsorge und Stadtentwicklung – Formulierung integrierter Lösungswege, in: ISWA (Hrsg.): Wasser Schutz Mensch. Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Band 225, München, S. 207 – 218.

Deister, L., F. Brenne, A. Stokman, M. Jeskulke, H. Hoppe, M. Henrichs und M. Uhl (2016): Wassersensitive Stadt- und Freiraumplanung. Handlungsstrategien und Maßnahmenkonzepte zur Anpassung an Klimatrends und Extremwetter, <http://www.samuwa.de/publikationen/>

Henrichs, M., L. Deister, F. Brenne, J. Langner, M. Uhl und A. Stokman (2015): Verzahnung von Stadtentwicklung und Niederschlagsentwässerung: funktioniert das? – Entwicklung einer Handlungsanleitung, in: ISWA (Hrsg.): Wasser Schutz Mensch. Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Band 225, München, S. 219 – 228.

Stokman, A., H. Hoppe, C. Massing, F. Brenne und L. Deister (2015): Starkregenereignisse als Motor einer wassersensitiven Stadtentwicklung, in: Korrespondenz Abwasser, Abfall 62 (2), S. 122–129, DOI: 10.3242/kae2015.02.002.

Stokman, A., F. Brenne und L. Deister (2015): Überflutungs- und Trockenheitsvorsorge als Stadtgestaltung. Wasser als strukturellformgebende Kraft anerkennen, in: Stadt und Grün 06/2015, S. 21 – 26.

#### Autorinnen:

Anja Steglich, Angela Million und  
Grit Bürgow

**Projekt:** ROOF WATER-FARM

#### Literatur:

Bürgow, G., A. Million und  
A. Steglich (2015):  
Urbane (Ab-)Wasser- und  
Nahrungsmittelproduktion –  
Neue partizipative und multi-  
funktionale Infrastrukturen in  
der Stadt, in: RaumPlanung  
180/4-2015, Themenheft  
„Grüne Infrastruktur in urbanen  
Räumen“, S. 54 – 65.

## G5

# Netzwerkpläne als kommunikatives Medium und Entscheidungshilfe für integrierte Infrastrukturgestaltung im Quartier

## ROOF WATER-FARM

ROOF WATER-FARM zeigt Wege auf zu innovativer Siedlungswasserwirtschaft und urbaner Nahrungsmittelproduktion. Potenziale und Risiken eines sektorübergreifenden Infrastrukturbaus werden erforscht und kommuniziert. Im Forschungsverbund werden hierzu Möglichkeiten einer gebäudeintegrierten Wasseraufbereitung zur Bewässerung und Düngung von Dachgewächshäusern und zur Betriebswassernutzung erarbeitet. Technologien zur Wasseraufbereitung und Kultivierung von Pflanzen und Fischen werden in einer Demonstrationsanlage und Teststrecke in Berlin-Kreuzberg erprobt. Auf Basis erster Forschungsergebnisse wird die stadt-räumliche Übertragbarkeit der ROOF WATER-FARM-Konzepte untersucht. Bauliche und verfahrenstechnische Varianten der Pflanzen- und Fischproduktion in Gewächshäusern werden auf die Gebäude- und in die Stadtraumebene projiziert und analysiert. Im Laufe des Projektes entstehen Kommunikations- und Trainingsmedien für gebäudeintegrierte Wasseraufbereitung und urbane Nahrungsmittelproduktion. Zielgruppen sind hier Akteure der Stadt- und Infrastrukturentwicklung bzw. -planung sowie die Stadtbevölkerung. Während auf der Maßstabebene des Gebäudes die bauliche Anwendung der ROOF WATER-FARM-Technologie und mögliche Betreibermodelle untersucht und visualisiert werden, fokussieren die Netzwerkpläne Fragen der integrierten Infrastrukturgestaltung auf Quartiersebene.

## Integrierte Infrastrukturgestaltung im Quartier

Der Forschungsverbund geht davon aus, dass die Betrachtungsebene Quartier im Zuge der Integration der Infrastruktur in den Stadtraum – diesen Prozess beschreiben durchgeführte Stadtteilstudien und Szenarien – eine neue Bedeutung erlangt. Im Stadtteil entstehen, so die Erwartung, funktionale Einheiten zum Aufbereiten und Verwerten von Regen- und Betriebswasser sowie zur Produktion, Vermarktung und Verwertung von Nahrungsmitteln. Diese sektorübergreifenden Infrastrukturen werden tradierte Verantwortlichkeiten überwinden und neue Akteursnetzwerke knüpfen. Im Stadtentwicklungsprozess werden Design, Bau, Betrieb, Wartung und Monitoring von Infrastruktur in einen räumlichen Kontext gestellt (vgl. Bürgow/Million/Steglich 2015).

Anhand von exemplarischen Untersuchungsräumen in Berlin werden Transformationspotenziale beschrieben, welche mit der Verbreitung einer Technologie einhergehen. Es wird aufgezeigt, welche potenziellen Stoff- und Produktströme und hiermit verbundenen Akteurskooperationen im Quartier vorhanden sind.

Mit Blick auf die ROOF WATER-FARM-Technologie und die damit verbundene Bewirtschaftung von Dachgewächshäusern werden in den Untersuchungsgebieten Stadtstruktur, Bewohnerschaft und lokale Akteure, d.h. Gewerbetreibende und/oder im Gebiet aktive Institutionen und Organisationen, sowie mögliche Stoff- und Produktströme, d.h. anfallende und aufbereitete Abwasserressourcen und/oder produzierte Nahrungsmittel, erhoben. Sie werden in einem zweiten Schritt miteinander zu einem stadträumlichen Szenario mit Good-Case-Charakter verwoben. Fragen der Organisation und der Bewirtschaftung stehen hierbei im Mittelpunkt: Wer kann ein Dachgewächshaus bauen und bewirtschaften, wer könnte Nahrungsmittel verteilen und verzehren? Gibt es kommerzielle und nichtkommerzielle Bewirtschaftungsstrategien, wo sind passende Interessenten? Wie sind die verschiedenen Orte der Produktion im Gewächshaus und der Konsumption (Supermarkt, Wochenmarkt, Gemüsebox, Onlinehandel usw.) miteinander verwoben?

Diese vielfältigen Akteursbeziehungen und damit verbundene Stoff- und Produktströme werden in grafischen Netzwerkplänen dargestellt. Deren Grundlage sind maßstäbliche Stadtgrundrisse der Untersuchungsgebiete. In den ROOF WATER-FARM-Fallstudien wurde der Maßstab 1:5.000 gewählt. Akteurslandschaften werden also geografisch verortet und mit Gebäudetypen, Flächennutzen, Erschließungen hinterlegt. Gemäß dem planerischen Leitbild der Stadt der kurzen Wege sind reale Entfernungen noch immer – für einige Experten auch zunehmend – bedeutsam für die zukünftige Entwicklung der städtischen Gesellschaft im Allgemeinen und der kommunikativen Beziehungen zwischen Produzent und Abnehmer im Speziellen. Aus diesem Grund sollen sie über die Maßstäblichkeit des Planes auch deutlich ablesbar sein. In dem Plan können verschiedene Szenarien dargestellt werden: sowohl mögliche langfristige Verknüpfungen im Sinne einer Zukunftsvision für einen Stadtbereich als auch kurz- bis mittelfristig realisierbare Aktivitäten. Insgesamt entsteht so eine multiperspektivische Entscheidungs- und Gestaltungshilfe auf der technologischen und der stadträumlichen Betrachtungsebene.

Mit Blick auf die angestrebte Übertragbarkeit der Forschungsergebnisse auf andere Städte wurden Untersuchungsgebiete ausgewählt, die beispielhaft für charakteristische Dynamiken, Stadt- und Baustrukturen sowie Akteursstrukturen europäischer Ballungsräume stehen.

Netzwerkpläne für

- die Innenstadt Berlin, Potsdamer Platz,
- die Insellage Berlin, Inner Island Mierendorff-Insel,
- den Transformationsraum Berlin, Inner Void Spreeraum und
- den Stadtrand Berlin, Marzahn-Hellersdorf

zeigen nicht nur stadträumliche Entwicklungspotenziale der ROOF WATER-FARM-Technologie auf. Sie ermöglichen auch einen Blick auf die Eigenlogiken der Stadträume, indem sie sich auf bereits bestehende Akteursnetzwerke und Baustrukturen vor Ort beziehen.



Abb. 1: Stadträumliches Szenario rund um den Potsdamer Platz.  
Quelle: ROOF WATER-FARM

Der Netzwerkplan kann als analytisch-konzeptionelles Planungstool dienen und gleichzeitig auch Kommunikationstool sein. Letzteres kommt vor allem bei Ergänzung mit Ansichten und Perspektiven von Gebäuden und Stadträumen zum Tragen. Die bauliche Integration der Wasseraufbereitungs- und Farming-Technologie im Stadtbild kann geprüft und vermittelt werden. ROOF WATER-FARM- Gestaltungsprozesse und angestrebte Ressourcenkreisläufe werden beispielhaft räumlich-spielerisch nachvollziehbar und/oder umsetzbar. Der

Netzwerkplan illustriert die Rollen der lokalen Akteure, ihre Werkzeuge und Strategien der Transformation.

Im Idealfall ist ein solcher Netzwerkplan Ergebnis eines diskursiven Prozesses zwischen Akteuren oder eine Vertiefung bzw. Ergänzung zu integrierten Stadtteilkonzepten. Inwiefern solche Netzwerkpläne auch zu Beginn eines Prozesses als Impuls gesetzt werden können, sollte in Kenntnis der lokalen Gegebenheiten entschieden werden.

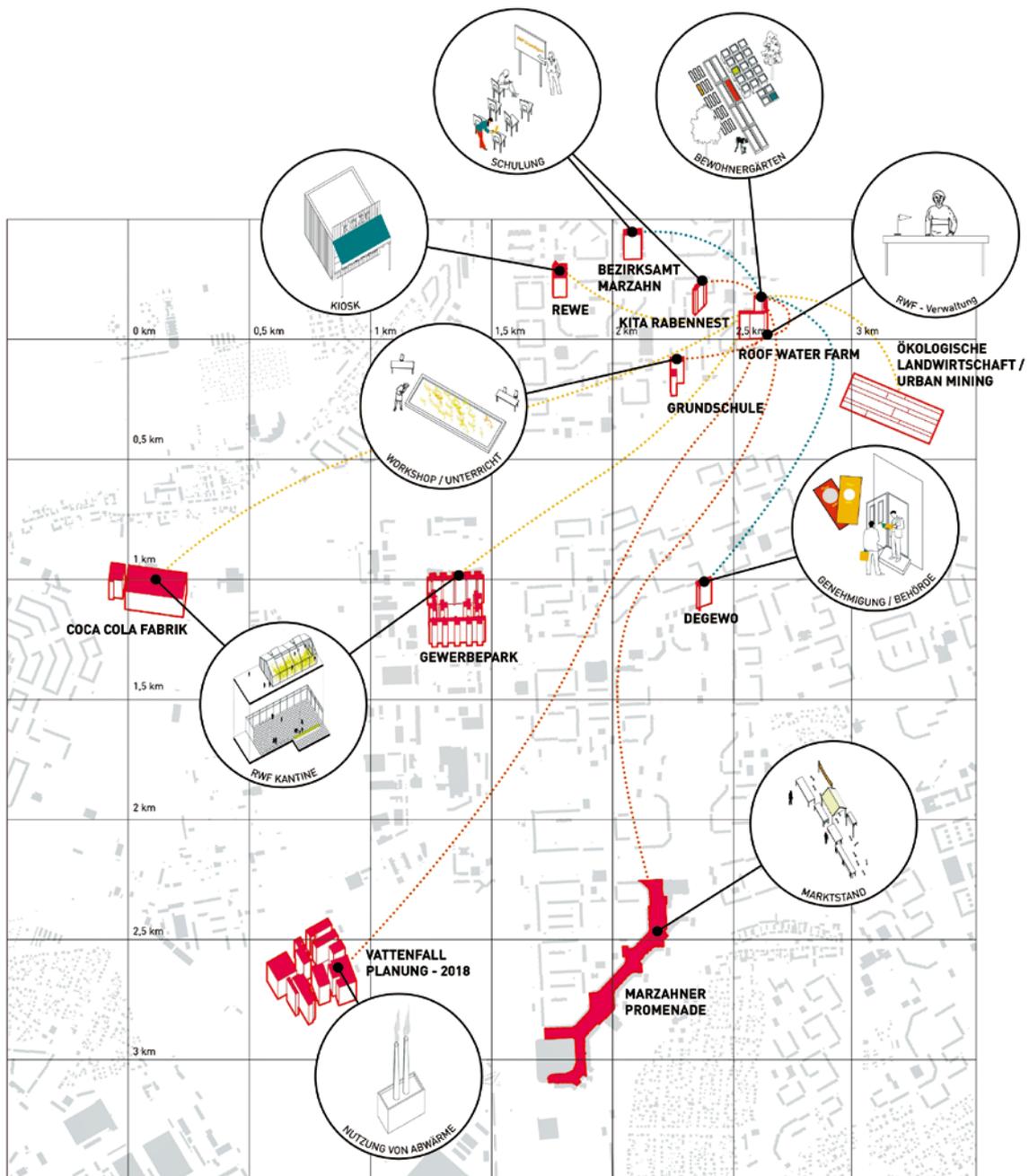


Abb. 2: Netzwerplan für das Untersuchungsgebiet Stadtrand Berlin, Marzahn-Hellersdorf.  
 Quelle: ROOF WATER-FARM

#### Autorinnen:

Grit Bürgow, Anja Steglich  
und Angela Million

Projekt: ROOF WATER-FARM

## G6

# Anwendung der ROOF WATER-FARM-Technologien auf der Gebäudeebene für eine integrierte Infrastrukturgestaltung im Quartier

## UpScaling der ROOF WATER-FARM-Technologien

Bei der Anwendung von ROOF WATER-FARM-Technologien auf ausgewählte Gebäudetypologien (UpScaling) werden zwei Kreislaufprinzipien verfolgt.

Kreislauf 1 – Water-Mining: Wasser und Nährstoffe vom Gebäude ernten

Grauwasser und/oder Regenwasser werden gesammelt und aufbereitet, um es unbedenklich und ohne Komfortverlust als Service- bzw. Betriebswasser mit Mindeststandard EU-Badegewässerqualität dezentral wiederzuverwenden. Zudem kann Schwarzwasser dezentral aufbereitet und in einen urbanen Flüssigdünger umgewandelt werden, um wertvolle Nähr- und Mineralstoffe wie N (Stickstoff), P (Phosphor) oder K (Kalium) im Sinne des Water-Mining und als besondere Form des Urban-Mining zurückzugewinnen.

Kreislauf 2 – Water-Farming: Nahrung im und für das Gebäude mit Fischen und Pflanzen produzieren

Das aufbereitete Betriebswasser kann für Zwecke der Freiraum- und Gartenbewässerung, der Gebäudekühlung bis hin zur wasserfarmbasierten Nahrungsmittelproduktion wiederverwendet werden. Hydroponik und Aquaponik sind als gebäudeintegrierbare Water-Farming-Strategie flächen- und ressourcenschonende urbane Nahrungsanbausysteme mit hoher Produktivität (vgl. Bürgow 2014). Als Leichtbausysteme sind sie im Vergleich zu erdbasierten Farmanbausystemen einfacher in, an oder auf Gebäudeoberflächen (Dächer, Fassaden, Atrien) zu integrieren. Bei gängigen Block- oder Zeilenbaustrukturen ist für den Dachgewächshaus-Aufbau im Sinne einer ROOF WATER-FARM von einer grundsätzlichen baukonstruktiven Eignung auszugehen.

## RWF-Gebäudetypologien, Gebäudestudien und Gebäudepässe als Planungs- und Kommunikationswerkzeuge im Quartier

Im Projekt ROOF WATER-FARM (RWF) werden im Abgleich mit dem Objektschlüsselkatalog Berlin (vgl. OSK Berlin 2005) typische Gebäudenutzungen wie z. B. Wohnungsbau, Gewerbebau oder Bildungsbau als Gebäudetypologien bezeichnet. Anhand von gebäudebezogenen Auswahlkriterien (Baustruktur, Häufigkeit/Übertragbarkeit im Stadtraum, Nutzergruppen, Abwasserströme) wurden die sechs Gebäudetypologien Wohnungsbau, Gewerbebau, Bildungsbau, Hotelbau, Sonderbau Wohnen und Transformationsbau ausgewählt. Sie sind interessant für die Anwendung der RWF-Technologien im Neubau und Bestand (siehe Abb. 1).

Um die gebäudetypologische Einbindung von ROOF WATER-FARMen im Quartier zu untersuchen, wurden Gebäudestudien durchgeführt und Gebäudepässe entworfen. In den Gebäudestudien wird dabei vertiefend die bauliche Anwendung möglicher RWF-Varianten im Zusammenspiel der Gewerke Architektur, Wassertechnik und Farmbetrieb beleuchtet. Gebäudepässe vereinfachen wesentliche Ergebnisse. Neben Aussagen zur allgemeinen baulichen Machbarkeit enthalten sie Kenndaten und illustrieren Gestaltungsoptionen, mögliche Produktpaletten und Betreibermodelle der häuslichen Wassertechnik und des Farmbetriebs. Gebäudestudien und Gebäudepässe dienen als Planungs- und Kommunikationswerkzeug, um wesentliche Übertragbarkeitsprinzipien der RWF-Technologie auf Gebäudeebene in drei Infokarten – Gebäude, Farm und Wasser – und im Kontext des Stadtquartiers darzustellen. Mögliche bauliche Transformationen werden hier abgebildet, und die Anwendung im Stadtraum wird illustriert (siehe Abb. 2).

Bei der baulichen Anwendung werden Gebäude in ihrer bautechnischen und nutzungsbezogenen Beschaffenheit betrachtet. Prinzipiell interessant sind nicht nur Neubauten, sondern auch Bestandsbauten. Relevant sind ferner die jeweiligen wasserspezifischen Eigenschaften, welche durch die Bewohner- und Nutzerschaft der Gebäude charakterisiert werden (z. B. Anfall relevanter Mengen an Grauwasser, Nutzungsmöglichkeit von Regenwasser, Potenziale an Schwarzwasser, urbane Flüssigdüngerproduktion usw.), sowie die farmbezogenen Bedarfe der Nutzergruppen im Gebäude und Quartier. Typische Gebäudenutzungen wie z. B. Wohnen, Gewerbe oder Bildung produzieren gebäude-spezifische Wasserströme. Wohngebäude produzieren dabei viel Grauwasser (Küche, Bad), während bei Schul- oder Gewerbebauten vergleichsweise weniger Grauwasser anfällt und daher das Nutzen und das Aufbereiten von Regenwasser oder Schwarzwasser für das individuelle ROOF WATER-FARM-Design interessant sein können (vgl. Bürgow/Million/Steglich 2015).

Generell gilt: Für die Grauwassernutzung muss das Gebäude über eine doppelte Leitungstechnik verfügen (separate Grau- und Schwarzwasserableitung sowie separate Betriebswasser- und Trinkwasserzuleitung). Dies ist im Besonderen bei anstehenden Strangsanierungen oder aber im Zuge von Neubauvorhaben mit einzuplanen, wobei Letzteres mit vergleichsweise weniger Mehrkosten verbunden ist (rund 500 Euro/Wohnung für das zweite Leitungsnetz, etwa 500 Euro/Person für die Anlagentechnik, vgl. Nolde 2014).

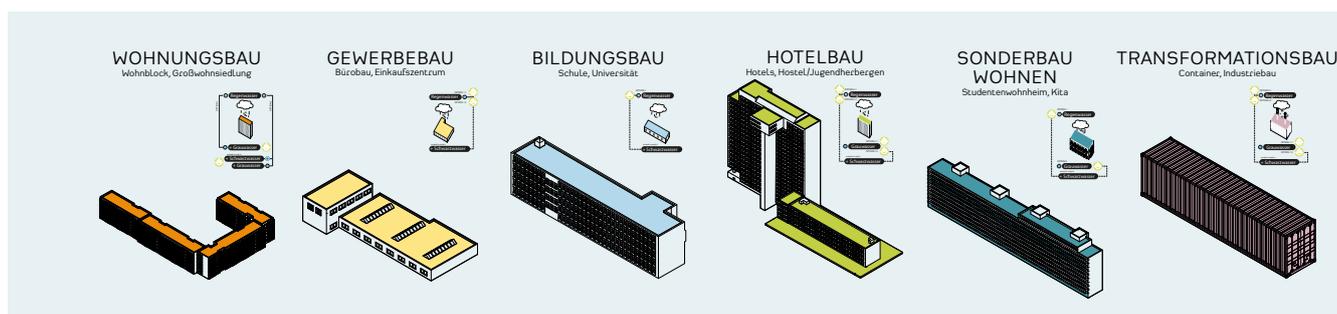


Abb. 1: Übersicht der untersuchten Gebäudetypologien und möglichen Anwendungen der RWF-Technologien.  
Quelle: ROOF WATER-FARM

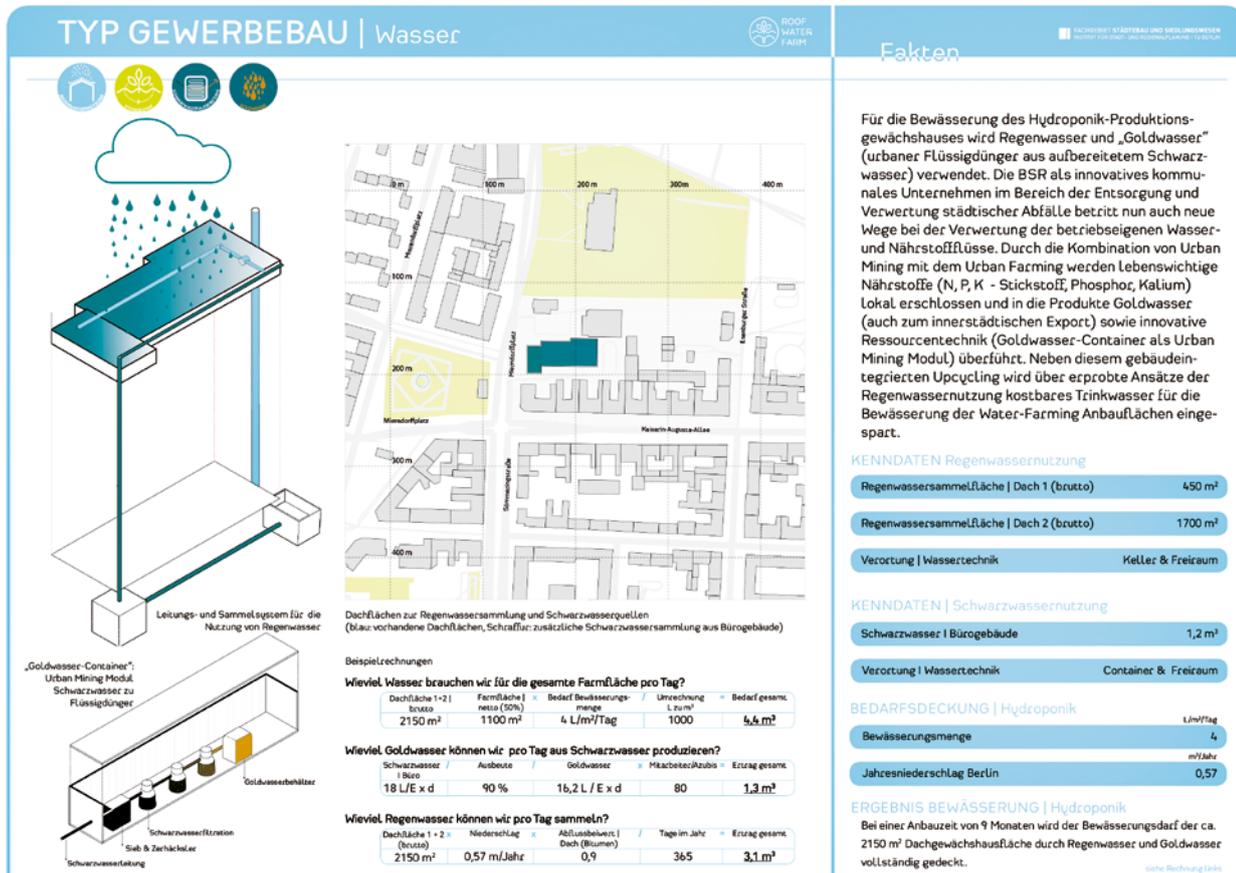


Abb. 2 (a und b): RWF-Gebäudepass Gewerbebau Wasser- und Farmkarte: Water-Mining und Water-Farming bei der BSR (Berliner Stadtreinigungsbetriebe), Untersuchungsgebiet Innenstadt/ Mierendorff-Insel, RWF-Variante Hydroponik mit Regenwasser- und Schwarzwasseraufbereitung. Quelle: ROOF WATER-FARM

Durch die mögliche Anwendung aller vier RWF-Varianten ist – neben Gewerbe- und Hotelbauten, Bildungsbauten oder sogenannten Transformationsbauten wie etwa umgenutzten Industriebauten oder aber mobilen Containerbauten – die Typologie Wohnungsbau für RWF-Technologien besonders interessant.

**Typologie Wohnungsbau:** Der Gebäudetyp Wohnungsbau weist rund 40 Prozent Dachflächennutzungspotenzial bezogen auf alle Flachdächer Berlins auf. Zwar haben von den 535.920 erfassten Gebäuden in Berlin lediglich 13 Prozent Flachdächer mit mehr als 50 m<sup>2</sup> nutzbarer Fläche. Allerdings lebt mit rund 57 Prozent der Großteil der 3,4 Mio. erfassten Einwohner in diesen Gebäuden und trägt so maßgeblich zur häuslichen Abwasserproduktion bei (vgl. Bürgow/Million/Steglich 2015; Million et al. 2014). Es fallen sowohl Regenwasser und Grauwasser als auch Schwarzwasser im Gebäude in relevanter Menge an. Interessant ist vor allem die dezentrale Aufbereitung von Grauwasser als nutzbare Ressource (Betriebswasser und Energie) im Gebäude und für das Farming auf dem Dach oder

im Hof. Der Grauwasseranteil macht etwa 70 Prozent des Abwasserstroms in Wohngebäuden aus. Großwohnsiedlungen – z. B. Plattenbausiedlungen im RWF-Untersuchungsgebiet Berlin-Marzahn – besitzen ein hohes Entwicklungspotenzial aufgrund der verfügbaren Dachflächen. Das Fallbeispiel Wohnungsbau verdeutlicht beispielhaft die stadträumliche Übertragbarkeit: Entwickelt wurden ein mögliches kommerzielles Betreibermodell mit Grauwassernutzung und ein nicht-kommerzielles mit Regenwassernutzung. Die kommerzielle Nutzung fokussiert eine Dachfarm von mindestens 1.000 Quadratmetern auf einem fünfgeschossigen Plattenbau, Typ WBS 70, mit aquaponischer Fisch- und Pflanzenproduktion. Dabei wird das häusliche Grauwasser aus Bädern und Küchen dezentral zu hochwertigem Betriebswasser mit Mindeststandard EU-Badegewässerqualität (vgl. EU 2006) aufbereitet. Es wird für Zwecke der Farmbewässerung und als Spülwasser für WC, Waschmaschine und Geschirrspüler eingesetzt.

**TYP GEWERBE | Farm**

Produktionsgewächshaus auf Werkhalle als „Goldwasserfarm“ zur Kantineversorgung

Produktpalette Produktionsgewächshaus: „Kantingemüse“ mit Goldwasser und Regenwasser produziert

Gebäudeteil 1/ Bürogebäude (orange); Kantinegewächshaus/ Wintergarten + RWF-Kompetenzzentrum  
Gebäudeteil 2/ Werkhalle (grün): Produktionsgewächshaus

Indoor-Farmmodule im Kantinegewächshaus mit Salaten & Kräutern zum Selbstpflücken  
1 Hydroponic Tower  
2 Hydroponic Channel Regale

### Fakten

Für den BSR-Ausbildungsstandort am Mierendorffplatz 20 wird eine zweigeteilte Dachgewächshausnutzung für die beiden Gebäudeteile angedacht. Da es bisher keine Betriebskantine gibt, wird ein Kantinegewächshaus (Wintergarten) auf dem Bürogebäude (Gebäudeteil 1) vorgeschlagen. Dieses soll auch weiteren „Mittagsgästen“ im Quartier offen stehen. Neben der Wintergarten-Atmosphäre - positiv für das Wohlbefinden der Mitarbeiter und Gäste - kann durch eine modulare Innenraumbegrünung zusätzlich eine Minimalproduktion, z.B. von Küchenkräutern und Salaten, stattfinden. Der Hauptteil an frischem Kantinegemüse wird in der „Goldwasserfarm“ auf dem angrenzenden ca. 1700m<sup>2</sup> großen Werkstaddach (Gebäudeteil 2/ Produktionsgewächshaus) erzeugt. Der Standort kann sich zum RWF-Kompetenzzentrum im Quartier entwickeln.

**KENNDATEN | Gebäudeteil 2 Produktionsgewächshaus**

Modultyp	Rinnen-Hydroponik-Module a' 6 m <sup>2</sup>
Farmfläche   Anbau (netto)	1100 m <sup>2</sup>
Belieferungszeit	250 Arbeitstage / Jahr
Bedarf   pro Mitarbeiter	200 g / Tag <small>Forschette werte 2013</small>
Bedarf   Gesamt (150 Gäste)	7,5 t / Arbeitsjahr (8 Monate)

**BEDARFSDECKUNG | Produktpalette**

	Ertrag/m <sup>2</sup> /Jahr	Ertrag gesamt/Jahr
Bsp. Paprika	9 kg <small>Roughwell and Collier 2005</small>	3,3 t
Bsp. Zucchini	11 kg <small>Ranney et al. 2006</small>	4,1 t
Bsp. Spinat	20 kg <small>Petrucci et al. 2013</small>	7,4 t
<b>Gesamt</b>		<b>14,8 t</b>

**ERGEBNIS Farmproduktion | Hydroponik**  
Bei einer Anbauzeit von 8 Monaten wird der Bedarf an Gemüse für mindestens 150 Kantinegäste vollständig gedeckt.

Neben dem hohen Einsparpotenzial von Trinkwasser (bis zu 50 Prozent) ergeben sich für den Farmbetrieb interessante städtische Vermarktungsmöglichkeiten etwa durch den Anbau schnellwachsender Fisch- und Pflanzensorten (z. B. afrikanischer Wels, Salate, Kräuter). Bei der nicht-kommerziellen Variante käme eine anwohnerorientierte Nutzung des RWF-Gewächshauses in Form von Dach-Mietergärten infrage.

Als Betreiberkonstellation würde eine Kooperation zwischen der kommunalen Wohnungsbaugesellschaft als Eigentümer und Vermieter der Dachfläche und einem gemeinnützigen Betreiber wie z. B. einem „ROOF WATER-FARM-Kompetenzzentrum“ angestrebt. Als nachbarschaftliches Produktions- und Ausbildungszentrum könnte es die ROOF WATER-FARM auf dem Dach betreiben, indem es Beete in Form von Hydroponik-Modulen pro m<sup>2</sup> vermietet. Je nach Bedarf der Mieter sind teurere Mietmodelle (mit Serviceangebot), aber auch preisgünstigere Angebote (Selbstmach-Varianten) zu unterschiedlichen Konditionen und Größen (Single,

Pärchen, Familien/Freundeskreise) vorstellbar (vgl. Bürgow et al. 2016).

**Typologie Sonderbau Wohnen:** In Abgrenzung zu klassischen Wohnungsbauten (z. B. Zeilen- und Blockbauten) fallen hierunter z. B. Studentenwohnheime oder Kitas. Es fallen alle betrachteten Wässer (Regenwasser, Grauwasser, Schwarzwasser) im Gebäude in relevanter Menge an. Am Beispiel eines Studentenwohnheims in der Nähe der RWF-Pilotanlage im Untersuchungsgebiet Innenstadt lassen sich einfache und erweiterte Betreibermodelle zum Wasser- und Farmbetrieb aufzeigen. Im Falle einer hydroponischen Dachfarm mit Regenwassernutzung könnten z. B. studentische Start-up-Unternehmen zunächst mit einer einfachen, saisonalen Alltags-Produktpalette nach dem Modell der Gemüsebox (z. B. Tomate, Spinat, Salat) an den Markt gehen.



Abb. 3: Visualisierung eines Transformationsbaus, Beispiel Container als flexible und mobile Baustruktur zur Nutzung als Flüchtlingsunterkunft oder als „Shelter“, Untersuchungsgebiet Spreeraum. Quelle: ROOF WATER-FARM

**Typologie Gewerbebau:** Im Fokus der Anwendungsbeurteilung stehen hier Bürobauten. Es fallen Regenwasser und Schwarzwasser in relevanter Menge an. Daher kommen besonders die Technologien mit Regenwassernutzung und optionaler Schwarzwasseraufbereitung zur Anwendung. Aqua- und Hydroponik sind denkbar. Das Beispiel des Büro- und Ausbildungsstandortes der Berliner Stadtreinigung (BSR) im Untersuchungsgebiet Mierendorff-Insel zeigt die bauliche Machbarkeit und ein mögliches Betreibermodell mit innovativer urbaner Flüssigdüngerproduktion. Der RWF-Gebäudepass Gewerbebau illustriert und kommuniziert Regenwassernutzung und Schwarzwasseraufbereitung für ein Hydroponik-Dachgewächshaus, angeknüpft an eine RWF-Kantine und ein RWF-Kompetenzzentrum am Gewerbestandort für potenzielle Akteure und als zukunftsfähiges Modell des kombinierten Urban-Mining und Urban-Farming (siehe Abb. 2).

**Typologie Hotelbau:** Es fallen vor allem Grauwasser und Schwarzwasser in relevanter und stetiger Menge an. Aufgrund des hohen Potenzials ist daher die Grauwassernutzung besonders interessant. Am Beispiel des SCANDIC Hotels am Potsdamer Platz im RWF-Modellgebiet Innenstadt und weiterer Standorte werden mögliche Betreibermodelle der Grauwassernutzung für Wasch-, Spül- und Reinigungszwecke verknüpft mit Wärmerückgewinnung für Heizzwecke in Verbindung mit Event-Gastronomie und hoteleigener Farmproduktion szenarienhaft entworfen.

**Typologie Bildungsbau:** Hier fallen vor allem Regenwasser und Schwarzwasser in relevanter Menge an. Für bauliche Realisierungen kommt daher vorrangig die Regenwassernutzung mit „indirekter Schwarzwassernutzung“ (z. B. über den Flüssigdünger-Import aus Nachbargebäuden oder -quartieren) infrage. Für einen Schul-Typenbau im Modellgebiet Berlin-Marzahn wurde eine RWF-Anwendungsuntersuchung mit Aussagen zur baulichen Machbarkeit und zum möglichen Betreibermodell durchgeführt. Die Vision besteht hier in einem auf die Schulkantinenversorgung und Themen zeitgenössischer Schulbildung zugeschnittenen Betreibermodell.

**Typologie Transformationsbau, als Typologie des mobilen, umgenutzten industriellen und/oder gegebenenfalls temporären Gebäudes:** Ein Transformationsbau kann somit ein mobiler „Do-It-Yourself-Bau“ wie z. B. ein umgebauter Industriecontainer sein oder etwa eine ehemalige Fabrik, die sich in einen Kultur- und Kreativwirtschaftsstandort verwandelt hat. Potenzielle Nutzerinnen und Nutzer kommen z. B. aus der Kreativwirtschaft und aus dem Bereich Kultur, Soziales und Nachhaltigkeit. Es fällt vor allem Regenwasser in relevanter und stetiger Menge an. Mögliche Anwendungen der RWF-Technologie im Transformationsbau wären vor allem die Regenwasser-Farm-Varianten mit indirekter Schwarzwassernutzung über den Import von Flüssigdünger aus Nachbargebäuden/-quartieren. Im Falle flexibler Nutzungsformen wie

z. B. gemeinschaftlicher Formen des Wohnens sind besonders die Grauwasser-Farm-Varianten interessant. Mögliche Betreibermodelle können vom RWF-Farm-container zur täglichen Versorgung, von der temporären Unterkunft oder dem temporären Showroom mit Kochschule bis hin zum mobilen Klassenzimmer reichen (siehe Abb. 3).

Im RWF-Untersuchungsgebiet Spreeraum wird diese mögliche Entwicklung beispielhaft illustriert.

Die dargestellten Typologien und hier kurz skizzierten Betreibermodelle zeigen die RWF-Entwicklungspotenziale für integrierte Infrastrukturentwicklung auf Gebäudeebene im Kontext des Quartiers. Die an der Umsetzung beteiligten Akteure werden ihre eigene Sicht auf die Potenziale und Risiken haben. Es zeigt sich deutlich, dass die RWF-Varianten unterschiedlich abschneiden, was Investitionsaufwand, Betriebskosten, Energieverbrauch, Aufwand bezüglich Gebäudenutzung und Bedarf nach Informationen betrifft. Darauf reagiert die Zusammenfassung von zentralen Parametern auf sogenannten RWF-Gebäudepässen, die für die jeweilige Typologie Potenziale und Informationen zusammenfassen und den Farmbetrieb und die Wasser-aufbereitungstechnologie illustrieren.

Die unterschiedlichen gebäudetypologischen Studien, Betreibermodellansätze und die speziellen gebäudetechnischen Untersuchungen zeigen die bauliche Machbarkeit und damit das enorme Potenzial der Anwendung der RWF-Technologie auf der Gebäudeebene. Hochrechnungen für zwei Hauseingänge am Beispiel eines fünfstöckigen Wohnkomplexes auf dem Gelände der Pilotanlage in Berlin-Kreuzberg belegen, dass mit einem 400 m<sup>2</sup> großen Dachgewächshaus rund 80 Prozent des Bedarfs an frischem Gemüse und Fisch für die etwa 70 Bewohnerinnen und Bewohner gedeckt werden könnten. Dieses Potenzial ist enorm und lädt ein, integrierte Infrastrukturentwicklung und die Stadt der Zukunft als produktive bauliche Struktur zu „denken“. Die dargestellten RWF-Gebäudetypologien können ein Baustein dieser Entwicklung sein (vgl. Beiträge G5 und H6).

## Literatur:

Bürgow, G. (2014): Urban Aquaculture – Water-sensitive transformation of cityscapes via blue-green infrastructures. Dissertation, Technische Universität Berlin, Herzogenrath, doi:10.2370/9783844032628.

Bürgow, G., A. Million und A. Steglich (2015): Urbane (Ab-)Wasser- und Nahrungsmittelproduktion – Neue partizipative und multifunktionale Infrastrukturen in der Stadt, in: RaumPlanung 180/4-2015 (Themenheft: „Grüne Infrastruktur in urbanen Räumen“), S. 54 – 65.

Bürgow, G., V. Franck, J. Höfler, A. Million und A. Steglich (2016): ROOF WATER-FARM – ein Baustein klimasensibler und kreislauforientierter Stadtentwicklung, in: Kost, S., und C. Kölling (Hrsg.): Transitorische Stadtlandschaften – Welche Landwirtschaft braucht die Stadt? Experimentier- und Produktionsräume für die Stadt von morgen, Berlin (im Erscheinen).

EU – Europäische Union (2006): RICHTLINIE 2006/7/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 15. Februar 2006 über die Qualität der Badegewässer und deren Bewirtschaftung und zur Aufhebung der Richtlinie 76/160/EWG, <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:064:0037:0051:DE:PDF> (letzter Zugriff: 01.03.2015).

Million, A., G. Bürgow, A. Steglich und W. Raber (2014): ROOF WATER-FARM. Participatory and Multifunctional Infrastructures for Urban Neighborhoods, in: Roggema, R., und G. Keffe (Hrsg.): Proceedings – 6th AESOP Food Planning Conference Leeuwarden, the Netherlands, 5 – 7 November, Leeuwarden, S. 659 – 678.

Nolde, E. (2014): Das ROOF WATER-FARM Projekt. Energie und Stoffkreisläufe dezentral mittels Abwasserrecycling schließen, in: fbr-wasserspiegel 3/14, S. 16 – 17.

Objektschlüsselkatalog (OSK) Berlin (2005), [http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/stadtgruen/gris/downloads/oska\\_gris.pdf](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/stadtgruen/gris/downloads/oska_gris.pdf) (letzter Zugriff: 04.04.2017).

#### Autorinnen:

Martina Winker und  
Danijela Milosevic

Projekt: netWORKS 3

#### Literatur:

Davoudi, A., D. Milosevic,  
R. Scheidegger, E. Schramm  
und M. Winker (2016):  
Stoffstromanalyse zu verschiede-  
nen Wasserinfrastruktursystemen  
in Frankfurter und Hamburger  
Quartieren, netWORKS-Papers,  
Bd. 30.

Kluge, T., und J. Libbe (Hrsg.)  
(2010): Transformations-  
management für eine nachhaltige  
Wasserwirtschaft. Handreichung  
zur Realisierung neuartiger  
Infrastrukturlösungen im Bereich  
Wasser und Abwasser, Berlin.

Winker, M., J. Trapp mit J. Libbe  
und E. Schramm (Hrsg.) (2017):  
Wasserinfrastruktur:  
Den Wandel gestalten.  
Technische Varianten, räumliche  
Potenziale, institutionelle  
Spielräume. Edition Difu –  
Stadt Forschung Praxis, Bd. 16,  
Berlin.

## G7

# Transformationsräume in der Stadt – erkennen und nutzen

## Einleitung

Neuartige Wasserinfrastrukturen, beispielsweise solche, die Abwasser für eine zweite Nutzung als Betriebswasser aufbereiten oder Wärme aus Abwasser rückgewinnen, können zur städtischen Energie- und Ressourceneffizienz beitragen. Die deutsche Wasserinfrastruktur ist auf viele Jahrzehnte ausgelegt. Das bedeutet, dass eine Transformation zu einem nachhaltigeren Infrastrukturzustand nicht immer und überall sinnvoll ist. Es bedarf vielmehr des richtigen Zeitpunkts und des richtigen Ortes, also der passenden Gelegenheit.

Gleichzeitig wird ein großes Umwandlungspotenzial insbesondere jenen städtischen Gebieten zugesprochen, die einer hohen Entwicklungsdynamik unterliegen und gleichzeitig einen geringen Transformationsaufwand aufweisen (vgl. Kluge/Libbe 2010; Davoudi et al. 2016). Es stellt sich somit die Frage, wie sich solche städtischen Teilräume finden lassen, in denen es interessant sein kann, über eine Transformation nachzudenken. Dieser Text beschreibt, wie im Forschungsverbund netWORKS hierzu auf Basis bestehender konzeptioneller Überlegungen (vgl. Kluge/Libbe 2010) vorgegangen wurde, um Modellgebiete in der Stadt Hamburg zu finden, und fasst die Erfahrungen zusammen.

## Gebiete aus der aktuellen Planung heraus identifizieren

In Hamburg entschied sich der Forschungsverbund, die bestehende städtische Planung mit den Sielbaumaßnahmen (Siel ist in Hamburg ein Synonym für Kanal) abzugleichen. Ziel war es, Gebiete zu finden, die ohnehin saniert, nachverdichtet oder neu gebaut werden und in denen gleichzeitig Kanalsanierungen geplant sind, um auf diese Weise Synergieeffekte zu nutzen.

Es erfolgte eine Analyse der städtischen Gebiete, die sich aktuell bis mittelfristig im Verfahren befinden. Im ersten Schritt wurden daher die entsprechenden Bebauungspläne sondiert. 96 Bebauungspläne konnten identifiziert werden, die das Ziel hatten, Wohnraum und Gewerbeflächen zu schaffen oder Bestandsgebäude zu sanieren. Der Abgleich mit den Sielbaumaßnahmen seitens Hamburg Wassers ergab eine Übereinstimmung in sieben Fällen.

## Planungsstadium berücksichtigen

In einer genaueren Einzelfallanalyse wurde deutlich, dass sich keines der Gebiete als Modellgebiet für einen Transformationsprozess eignet. Ein häufiger Grund dafür war, dass das Stadium der Bebauungspläne (B-Pläne) bereits zu nah an einer Realisierung lag, um noch mögliche Alternativen für die Wasserinfrastrukturgestaltung zu entwickeln, oder dass Planungsverlauf und -dynamik zu wenig vorhersehbar waren. Einige Gebiete befanden sich auch bereits im Bau. Wieder andere waren zu klein, als dass sie für eine alternative Planung interessant gewesen wären.

Daher wurde im nächsten Schritt mithilfe der Stadtplanung erörtert, welche Gebiete – noch ohne B-Plan – zukünftig baulich verändert werden sollten.

## Ausgewählte Gebiete überprüfen

Vor der finalen Identifizierung und Entwicklung von Alternativen für die Wasserinfrastruktur ist es sinnvoll – und wurde im Verbund auch so gehandhabt –, die Gebiete nochmals anhand spezifischer Charakteristika zu beschreiben und zu prüfen, um sicherzugehen, dass die Diskussion über eine Transformation als sinnvoll erachtet werden kann. Hierzu gehören Stand der Planung, Siedlungsstruktur, wasserwirtschaftliche Rahmenbedingungen sowie die sozio-ökonomische Struktur der Bewohnerschaft. Auch Besonderheiten in der Gebietsplanung zu kennen – etwa ein besonderes Augenmerk auf klimatische Aspekte oder Förderformate zur Ressourceneffizienz, die verfügbar sind – ist wichtig.

## Fazit

- Je nach städtebaulichem Zustand und Sanierungsbedarf der Kanalisation kann ein Abgleich der verschiedenen Planungsprozesse mehr oder weniger sinnvoll sein. Eine grundsätzliche Empfehlung für einen solchen Abgleich kann nicht ausgesprochen werden.
- Um interessante und attraktive Transformationsräume in einer Stadt oder Kommune zu identifizieren, muss sehr frühzeitig – weit vor Festsetzung des B-Plans – eine gemeinsame Planung angestoßen werden.
- Häufig liegen zu diesem Zeitpunkt noch keine systematischen und einsehbaren Informationen vor, so dass es des persönlichen Gesprächs zwischen den Beteiligten bedarf, um einen Interessenabgleich herzustellen.
- Somit fallen die Abstimmung und der Dialog in den sehr sensiblen Zeitraum der Vorplanung. Dies ist in der weiteren Bearbeitung zu beachten.

Mit Berücksichtigung einer solchen Vorlaufzeit konnten auf diese Weise zwei interessante Gebiete im Bezirk Altona abgeleitet werden. Diese direkte Abstimmung ist ein aufwendiges Verfahren, das nur über den persönlichen Dialog und ein gewisses Maß an Vertrauen zwischen den Beteiligten gelingen kann. Es gibt in diesem Zeitraum der Vorplanung selten einsehbarere Unterlagen bzw. eine systematische Übersicht. Häufig wird der Dialog der beteiligten Akteure erst dann begonnen, oder die unmittelbar betroffenen Bürgerinnen und Bürger sind aufgrund des sehr frühen und vagen Planungszeitpunkts noch nicht informiert. In Hamburg kommt an diesem Punkt erschwerend hinzu, dass die Bezirke ihre eigenen Planungsprozesse haben.

Diese Daten bilden eine gute Grundlage, um alternative Systemvarianten zu entwickeln. Mit Blick auf die Wasserinfrastruktur kann es z. B. hilfreich sein zu wissen, wie sich die bestehende Infrastruktur im Gebiet gestaltet. Ist eine Trennkanalisation bereits vorhanden, kann diese in die Konzeptentwicklung im Zuge einer Umnutzung eingebunden werden: Versickerung des Niederschlagswassers vor Ort kann zu einer getrennten Ableitung von Grau- und Schwarzwasser führen. Oder: Weist die das Gebiet umschließende Kanalisation (viele große Misch-/Schmutzwasserkanäle auf, könnte die Wärmerückgewinnung aus Abwasser eine interessante Option darstellen.

#### Autoren:

Jannis Hoek und Martin Rumberg

Projekt: SinOptiKom

#### Literatur:

Baron, S., J. Hoek, I. Kaufmann Alves und S. Herz (2016): Comprehensive Scenario management of sustainable spatial planning and urban water services, in: Water Science & Technology, March 2016, 73 (5), S. 1041 – 1051, DOI: 10.2166/wst.2015.578.

Hoek, J., M. Rumberg und C. Felz (2016): Milieuspezifische Anforderungen an Neuartige Sanitärsysteme (NASS) in ländlichen Siedlungen, in: Vorbereitender Bericht zur gemeinsamen Jahrestagung der DASL und ARL 2016 – Daseinsvorsorge und Zusammenhalt, 16. – 17. September (Hannover).

Worreschk, S., J. Hoek, I. Kaufmann Alves, S. Herz und R. Bellefontaine (2015): Szenarien-Management für die Transformation von Wasserinfrastrukturen unter Berücksichtigung der Siedlungsentwicklung, in: DVGW energie | wasser-praxis 04/15, S. 25 – 27.

## G8

# Demografische und siedlungsstrukturelle Transformationsräume in ländlichen Siedlungen identifizieren und bewerten

### Ausgangspunkt

Ländliche Siedlungen, insbesondere in peripheren Räumen, sind durch die sich abzeichnende demografische Entwicklung sowie rechtliche und politische Zielvorgaben einem starken Handlungsdruck in der Transformation der Siedlungs- und Wasserinfrastrukturen ausgesetzt. Die langfristig koordinierte Entwicklung der Strukturen setzt abgestimmte räumliche Einheiten voraus, innerhalb derer sich die Transformationsmaßnahmen der unterschiedlichen Sektoren (Städtebau und Freiraum, Hochbau, Wasser- und sonstige technische Infrastruktur) – wie z. B. die Sanierung oder Umstrukturierung von Leitungssystemen der Wasserversorgung oder Abwasserentsorgung oder städtebauliche Maßnahmen – sinnvoll konzipieren, darstellen und umsetzen lassen. Dies erfordert es, Gebiete (sog. Transformationsräume) abzugrenzen, die in diesen Sektoren und auch in Bevölkerungsstruktur und -entwicklung möglichst homogen sind.

Ländliche Siedlungen, auch kleine Dörfer, zeichnen sich nach den Erkenntnissen, die in den SinOptiKom-Untersuchungsräumen gewonnen wurden, durch eine sehr kleinteilige Struktur aus: Baustrukturen unterschiedlichen Alters und Zustands liegen dort oft eng nebeneinander, und auch der Bevölkerungsaufbau variiert kleinteilig stark. Insofern ist eine an Verwaltungsgrenzen wie Orts- oder gar Verbandsgemeinden orientierte Abgrenzung der Transformationsräume nicht differenziert genug, weil sich die lokalen innerörtlichen Strukturen teilweise signifikant unterscheiden und somit auch signifikant unterschiedliche Entwicklungen nehmen können. Für eine erfolgreiche Transformation der Siedlungs- und Infrastrukturen muss daher eine kleinräumigere Abgrenzung anhand von Strukturmerkmalen vorgenommen werden.

## Analyse der räumlich-strukturellen Datengrundlagen

Um kleinteilige Transformationsräume zu identifizieren und zu bewerten, wurden im BMBF-Verbundprojekt SinOptiKom verschiedene Datengrundlagen im Geografischen Informationssystem (GIS) analysiert und ausgewertet.

Die räumliche Analysebasis bilden dabei zunächst das Luftbild der Gemeinde und die im Flächennutzungsplan (FNP) ausgewiesene Art der Bodennutzung gemäß § 1 Baunutzungsverordnung (BauNVO). Die Art der Bodennutzung erweist sich in der Analyse der Strukturen als relevanter Faktor zur Differenzierung des Sied-

lungswachstums und somit des ungefähren Alters des Gebäudebestands. Die älteren Dorfkerne sind in der Regel als gemischte Bauflächen und neuere Baugebiete als Wohnbauflächen ausgewiesen. Über das Liegenschaftskataster (Schwarzplan) wird sowohl die bauliche Struktur als auch die relative Lage eines Transformationsraumes innerhalb einer Ortsgemeinde deutlich. Bei der Siedlungsstruktur ist insbesondere zwischen geschlossener Wohnbebauung in den Dorfkernen, z. B. in Häuserzeilen, und offener Bebauung der Grundstücke mit freistehenden Ein- oder Mehrfamilienhäusern zu unterscheiden.

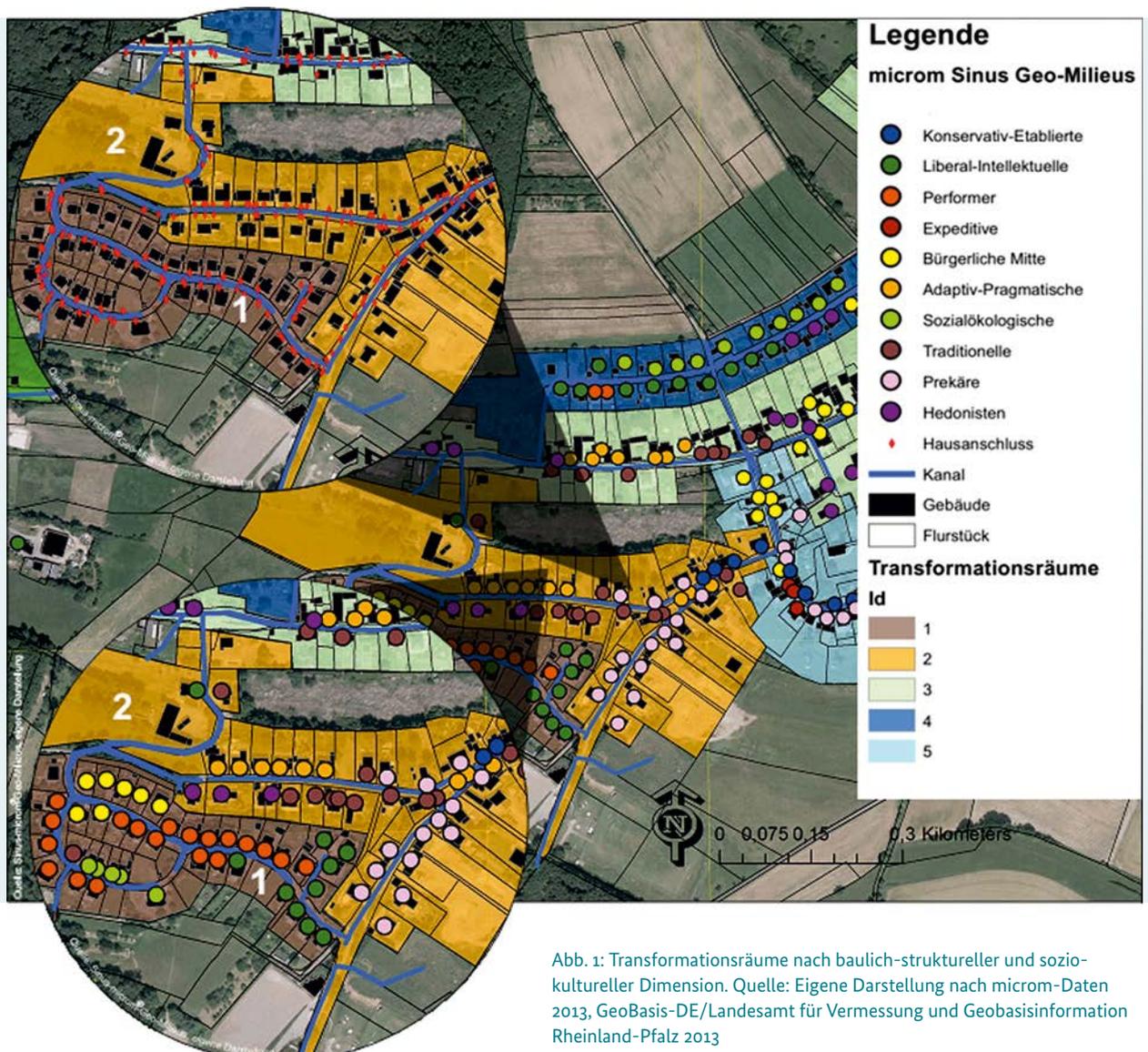


Abb. 1: Transformationsräume nach baulich-struktureller und sozio-kultureller Dimension. Quelle: Eigene Darstellung nach microm-Daten 2013, GeoBasis-DE/Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation Rheinland-Pfalz 2013

In dieser Mehrebenenanalyse werden somit die Siedlungsmorphologie und die stadtplanerisch relevanten Bebauungsstrukturen sichtbar.

Anonymisierte Meldedaten ermöglichen es, die Unterschiede in der Alters- und Bevölkerungsstruktur ländlicher Siedlungen sichtbar zu machen. Die Analyse der Meldedaten verdeutlicht, dass in der Regel nicht nur der Gebäudebestand in den Dorfkernen älter ist, sondern analog auch deren Bevölkerung. Zudem sind signifikant mehr Familien in den neueren Wohngebieten am Siedlungsrand mit freistehenden Ein- oder Mehrfamilienhäusern sesshaft.

Die soziodemografische Analyse wird durch die Auswertung der mikrogeografischen Milieus vertieft. Die sogenannten Sinus-Milieus® unterteilen die bundesdeutsche Bevölkerung in insgesamt zehn Gruppen, die sich in ihrer sozialen Lage und Wertorientierung jeweils ähneln. Die Firma microm Micromarketing-Systeme & Consult GmbH verortet die Sinus-Milieus® nach berechneten Wahrscheinlichkeiten bis auf Adressebene. Die über die Auswertung der Milieubesreibungen ermöglichte soziokulturelle Analyse verdeutlicht grundlegende Unterschiede in der Beschaffenheit verschiedener Siedlungsteile und vereinfacht damit zusätzlich eine Gliederung der Siedlungsstrukturen. Im Projekt SinOptiKom hat sich gezeigt: Milieus unterer bis mittlerer sozialer Lagen siedeln sich entsprechend der Wahrscheinlichkeiten vor allem in den Dorfkernen an, während Milieus mittlerer bis oberer sozialer Lagen wahrscheinlicher in den neueren Wohngebieten anzutreffen sind (vgl. Abb.1 und 2). Den wesentlichen Mehrwert für die kleinräumige Gliederung der Siedlungsstrukturen aus stadtplanerischer Sicht bieten somit die Milieutypologien nach Sinus und microm. Die als kommerzielle Daten verfügbaren Rauminformationen können als ergänzende, spezifizierende Dimension auf der Gebäudeebene in die Strukturanalyse mit einbezogen werden.

Den finalen Schritt zur Identifikation der Transformationsräume bildet die Analyse der Kanalinfrastruktur, denn die Transformation der Wasserinfrastrukturen kann sich nur in technisch sinnvoll abgegrenzten Einheiten vollziehen. Insbesondere müssen Zusammenhänge wie Fließrichtungen, Querschnitte, Kanalalter und Netztopologie berücksichtigt werden. Durch den Anschluss der Wohnbebauung an das Abwasserentsorgungssystem ist eine differenzierte Zuweisung der Flurstücke zu Straßenzügen bzw. den entsprechenden Kanalabschnitten möglich.

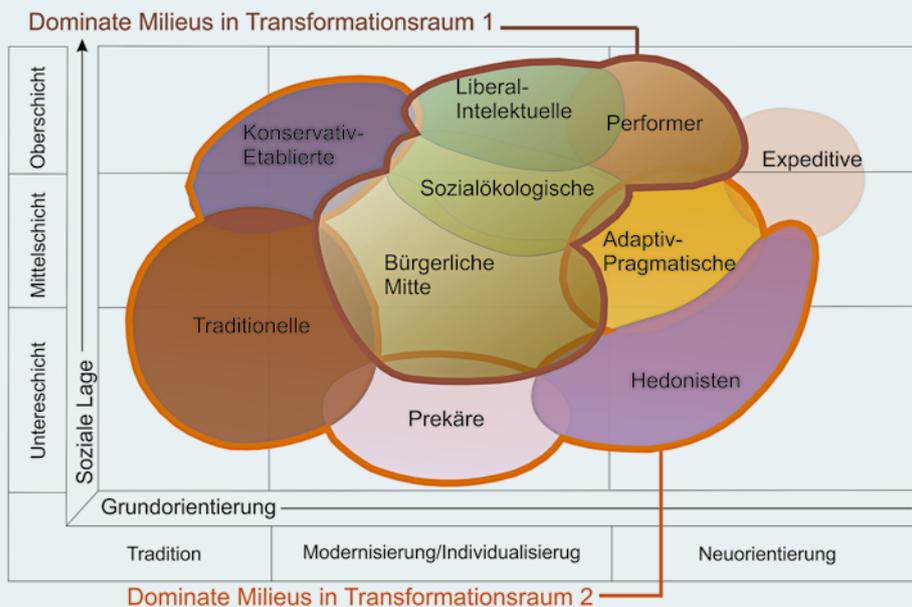
Die Vorgehensweise hat sich bewährt, um Transformationsräume baulich-strukturell und soziokulturell möglichst homogen zu definieren und räumlich abzugrenzen. Auf Basis der Analyse haben sich, wie Abb. 1 verdeutlicht, schwerpunktmäßig zwei Raumstrukturtypen unterhalb der Siedlungsebene herausgebildet:

1. Neuere Baugebiete mit überwiegend freistehenden Ein- und Mehrfamilienhäusern, die entsprechend des FNP in der Regel als Wohnbauflächen ausgewiesen sind und nach den Milieuwahrscheinlichkeiten mit Bürgerinnen und Bürgern mittlerer und oberer sozialer Lagen belegt sind. Zudem sind die ansässigen Milieus in ihrer Wertorientierung grundsätzlich moderner und damit prinzipiell offener für das Thema der Siedlungs- und Infrastrukturtransformation.
2. Dorfkerne, die dichte und kompakte Siedlungsstrukturen mit überwiegend Zeilenbebauung und nach dem FNP meist gemischte Bauflächen aufweisen und zudem durch eine relativ ältere Bevölkerungsstruktur und entsprechend der Milieuwahrscheinlichkeit durch Bürgerinnen und Bürger unterer bis mittlerer sozialer Lagen geprägt sind.

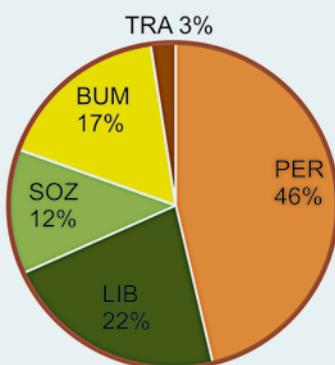
Dementsprechend ergeben sich für die Transformationsstrategien sehr unterschiedliche Ausgangslagen. In den neueren Baugebieten besteht mit Blick auf städtebauliche Strukturen, Gebäudezustände, Leerstandsraten und auch den technischen Zustand der Kanalnetze nur geringer aktueller Handlungsbedarf. Demgegenüber ist in den Dorfkernen bereits heute ein komplexer Erneuerungsbedarf über die Sektoren hinweg erkennbar.

Die insbesondere in den neueren Wohngebieten der Randlagen ansässigen Milieus der oberen sozialen Lagen können sich im Rahmen informeller Planungen und Bürgerpartizipationsverfahren als relevante Akteure zum Anstoßen der Systemtransformation herausstellen. Sie verfügen über ein erweitertes Umweltbewusstsein und sehen sich in sozialer Verantwortung, was sich auch in ihren Partizipationspotenzialen in Planungsvorhaben ausdrückt.

Die Milieus der Konservativ-Etablierten, der Liberal-Intellektuellen, der Performer und Sozialökologischen verfügen über besondere endogene Potenziale. Sie können somit eine Adressaten- und Pionierfunktion im Planungsverlauf der Transformation von Wasserinfrastrukturen übernehmen, die sich auch positiv auf die in den Dorfkernen ansässigen Milieus auswirken kann. Über die erfolgte Analyse lassen sich potenzielle Widerstände seitens der Bevölkerung somit frühzeitig erkennen und möglicherweise umgehen.



Soziokulturelle Struktur Transformationsraum 1 (Randgebiet):



Soziokulturelle Struktur Transformationsraum 2 (Dorfkern):

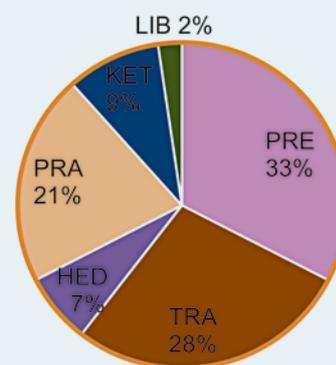


Abb. 2: Transformationsräume nach Milieustruktur. Quelle: Eigene Darstellung nach microm-Daten 2013

**Autorinnen und Autor:**

Angela Million, Antje Stokman  
und Jörg Londong

**Projekt:** KREIS, TWIST++,  
ROOF WATER-FARM

G9

## Transformationsraum IBA: Möglichkeitsraum zur Erprobung innovativer Ansätze integrierter Infrastrukturentwicklung

Internationale Bauausstellungen (IBA) begleiten als Planungs- und Innovationsinstrument das deutsche Bau- und Planungsgeschehen nicht nur seit fast einem Jahrhundert (die ersten Bauausstellungen in Frankfurt und Stuttgart eingerechnet) (vgl. Schauz/Uttke 2008). Sie sind spätestens seit der IBA Emscher Park auch immer mit Fragen des Umbaus der Wasserinfrastruktur verbunden. Zunächst sind Internationale Bauausstellungen dazu da, innovative architektonische und städtebauliche Ideen mit internationaler Ausstrahlung zu erarbeiten und zu präsentieren. Es geht darum, für drängende Probleme in Städten und Regionen Antworten zu suchen. Heute stehen IBA im Idealfall für Offenheit im Denken und die Anschlussbereitschaft der Stadtentwicklungspolitik an aktuelle gesellschaftspolitische, technologische und ökonomische Entwicklungen. Im Gegensatz zur „Stadtentwicklungspolitik mit ihrer Bindung an das Notwendige und Machbare setzt vor allem die IBA auf einen Möglichkeitssinn. Eine IBA bildet immer eine Sondersituation, einen Ausnahmezustand auf Zeit, die herkömmliche Instrumente und Vorgehensweisen extrem zu erweitern vermag.“ (Doehler-Behzadi 2011)

## Abwassersysteme umbauen, Regenwasser neu „denken“

Das Thema Wasser und Abwasser war erstmalig besonders präsent in der IBA Emscher Park. Leitprojekt war hier der Umbau der Emscher: 350 Kilometer ehemalige Fluss- und Bachläufe – ein seit rund 90 Jahren offen geführtes Kanalsystem – sollten nach ökologischen Gesichtspunkten als Rückgrat des zukünftigen Emscher Landschaftsparks umgestaltet werden. Bereits Ende der 1980er-Jahre gab es hierzu erste konkrete Planungen. 1991 fasste die Emschergenossenschaft schließlich den Entschluss, die hierfür nötigen Investitionen von rund 4,4 Milliarden Euro zu tragen, unterstützt von der Landesregierung NRW und begleitet durch die IBA Emscher Park. Von Anfang an war klar, dass die Umgestaltung des Flusssystems 20 bis 30 Jahre dauern würde. In der Bauausstellung von 1989 bis 1999 sollte der begonnene Umbauprozess unterstützt und anhand von exemplarischen Maßnahmen an ausgewählten Nebenläufen anschaulich gemacht werden. Von insgesamt 400 km neuen Abwasserkanälen wurden zu Zeiten der IBA etwa 50 km realisiert und rund 13 km Bachläufe parallel zu den Abwasserkanälen ganz oder teilweise ökologisch umgestaltet (vgl. TU Dortmund 2008).

Schlussendlich war der ökologische Umbau des Emschersystems aber auch ein Vehikel, um eine grundsätzliche Diskussion über den Umgang mit Regenwasser anzustoßen. Lange vor entsprechenden Regelungen war es Ziel, die Regenwässer vor Ort dem natürlichen Wasserkreislauf zuzuführen und nicht wie bisher in die Kanalisation zu leiten. Die Umgestaltung entsprechender Flächen und auch Gebäude wirkte stadtraumprägend für die betroffenen Siedlungsbereiche. Verschiedene technische und gestalterische Lösungen wurden entwickelt und erprobt, inklusive dem Umgang mit Regenwasser auf Industriebrachen.

Nach Ende der IBA wurde 2006 der Masterplan „emscher:zukunft“ mit kommunalen Beschlüssen besiegelt. Der Plan vermittelt Szenarien, Ideen und Bilder zur Umgestaltung des Emschersystems und weiterentwickelte Optionen für die Freiraum- und Stadtentwicklung entlang der Emscher. Wasserwirtschaftliche, ökologische, städtebauliche und gestalterische Aspekte wurden zu einem Gesamtplan verwoben, der eng verzahnt ist mit dem Masterplan Emscher Landschaftspark 2010 des Regionalverbands Ruhr. Herr Becker (Emschergenossenschaft) betonte in einem INIS-Workshop in Weimar (Februar 2016), dass die IBA unter anderem durch veränderte Kommunikationsstrukturen und eine verbesserte Vernetzung nicht nur viel bewegt habe, sondern durch „einfache und robuste“ Projekte beispielhaft die Umsetzungsmöglichkeiten aufgezeigt werden konnten. An diese Erfahrungen werde in der Region bis heute erfolgreich angeknüpft.

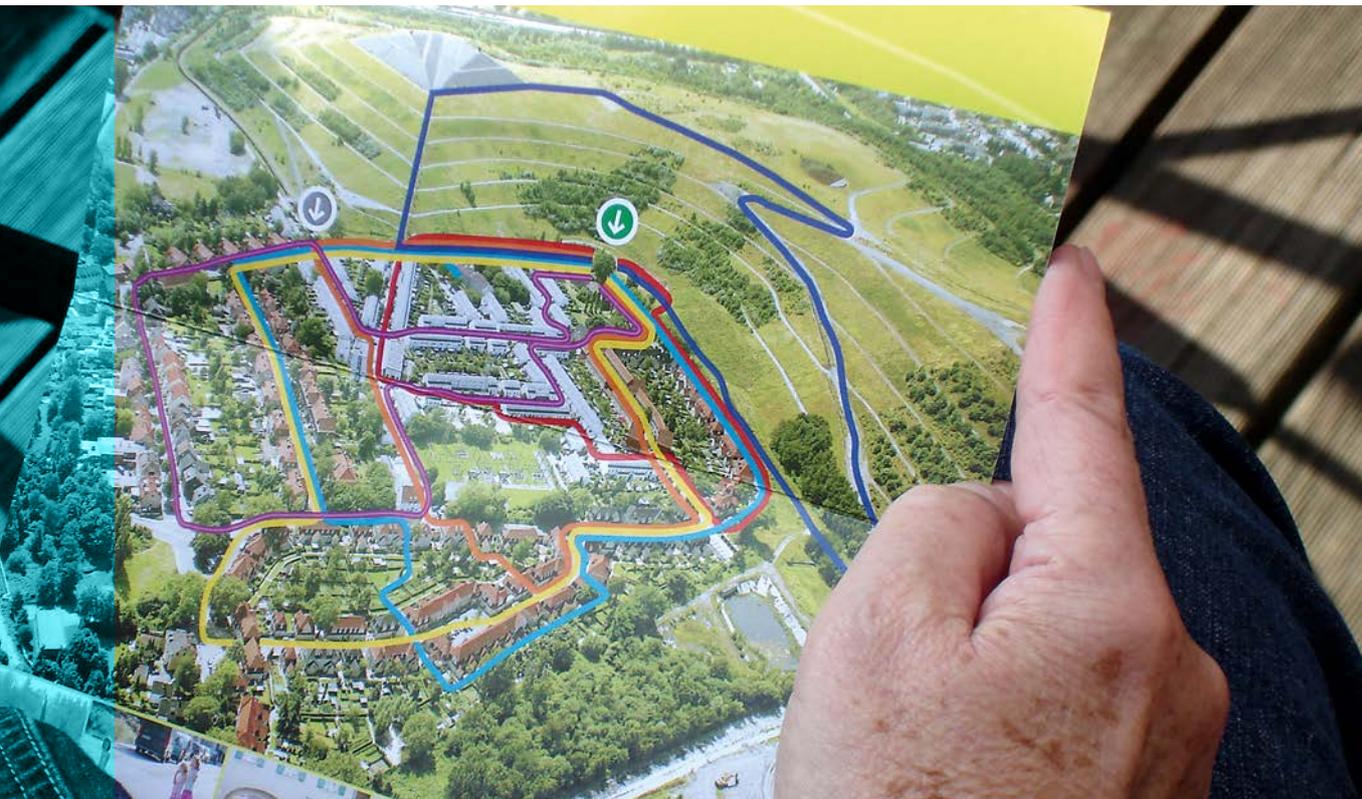


Abb. 1 und 2: IBA Emscher Park: IBA-Projekte als vielfältige, öffentliche Lernorte auch nach über einem Jahrzehnt – hier Exkursion mit amerikanischen Studierenden und Routen am Tag der Wohnkultur in der Siedlung Schüngelberg in Gelsenkirchen (1988 bis 1998 erfolgte hier die Implementierung eines Muldenrigolensystems zur Regenwasserversickerung im Bestand und Neubau und der ökologische Umbau des Lanferbaches, beides hatte zugleich Modellcharakter für weitere Projekte in der Emscherregion). Fotos: Angela Million

## Von der Laborsituation zum Alltagsplanen mit und am Wasser

Bei folgenden IBA war das Wasserthema ebenfalls zentral: Die IBA Fürst-Pückler-Land (2000 bis 2010) war vor allem eine Werkstatt für neue Wasserlandschaften. Das Erbe des Braunkohletagebaus und seiner Folge-landschaften war eng verbunden mit der Entwicklung von Deutschlands außergewöhnlichster Wassertourismusregion und Europas größter künstlicher Seenlandschaft mit rund 30 Seen, etwa 14.000 Hektar Wasserfläche und dem Bau von „schwimmende Architekturen“, welche jedoch noch längst nicht Alltagsarchitekturen sind. Dies zeigt auch auf, dass IBA Labore sind und manch eine Idee Zeit braucht, um sich durchzusetzen.

Nicht zuletzt zeigte die IBA Hamburg (2007 bis 2013) am Beispiel der Elbinsel Wilhelmsburg als größter bewohnter Flussinsel Europas auf, wie das Leben in hochwassergefährdeten Gebieten in die Zukunft „gedacht“ werden kann. Die Auseinandersetzung mit der Dynamik des Wassers ist für die Hafenstadt eine permanente Herausforderung, die angesichts steigender Meeresspiegel an Brisanz gewinnen wird – aber gehört gleichzeitig zu den größten Vorzügen der Stadt. Der im Rahmen der IBA entwickelte Wasseratlas (IBA Hamburg/STUDIO URBANE LANDSCHAFTEN 2008) sowie die Machbarkeitsstudie „Deichpark Elbinsel“ (IBA Hamburg/osp URBANE LANDSCHAFTEN 2011) zeigen viele Möglichkeiten auf, um Nützliches und Schönes zu verbinden und die durch Hochwasserschutzsysteme geprägte Flusslandschaft der Elbinseln zu etwas Unwechselbarem zu machen.

Die Konzepte interpretieren die gesamte Elbinsel aus den Bezügen der Landschaft zum Wasser und zeigen Möglichkeiten auf, wie die Räume entlang des 24 Kilometer langen und bis zu 8,35 Meter hohen Ringdeichs als Park neu verknüpft werden können. Durch kleine Veränderungen wie neue Wegebeziehungen und Querungen, Kontaktstellen zum Wasser, Aussichtsplattformen und Informationspavillons (u. a. „Deichbude Kreetsand“) lassen sich die Deichlandschaften als spannende Raumfolge erleben. Diese kurzfristig realisierbaren Interventionen setzten im IBA-Präsentationsjahr 2013 erste Zeichen für eine neue Zukunft, welche nun in die weiteren Konzepte für anstehende Deicherhöhungen einfließen müssen. Für den ersten zu erhöhenden Deichabschnitt entlang des Spreehafens wurde, aufbauend auf den Empfehlungen der Machbarkeitsstudie, erstmalig ein städtebaulich-freiraumplanerisches Wettbewerbsverfahren durchgeführt. Prämiert wurde ein Entwurf, dessen Gestaltung attraktive neue Freiraumangebote für die Bewohnerschaft Wilhelmsburgs mit höchsten technischen Hochwasserschutzstandards verbindet. Die IBA Hamburg hat also mit dem Projekt Deichpark Elbinsel einen behörden- und fachübergreifenden Dialog über wasserbezogene Stadtentwicklung angestoßen, der weit über das Ausstellungsjahr 2013 hinausgeht. Der gesamte Prozess mit seinen Diskussionsrunden, Ausstellungen und Entwurfsworkshops stellte eine IBA-typische Laborsituation dar. In dieser ist es gelungen, den Blick für die Gestaltungsmöglichkeiten von hochwassergefährdeten Wasserlandschaften zu öffnen und eine entsprechende Perspektive in die Planungspraxis zu überführen.



Abb. 3: IBA Hamburg: Linearität, Weite und Ausblicke prägen das markante neue Landschaftsbauwerk des Klütjenfelder Hauptdeichs, dessen Gestaltung attraktive neue Freiraumangebote für die Bewohner Wilhelmsburgs mit höchsten technischen Hochwasserschutzstandards verbindet. Quelle: STUDIO URBANE LANDSCHAFTEN, Hamburg

## Neue Infrastruktursysteme für städtischen und ländlichen Raum

Auch die IBA Thüringen (2012 bis 2023) ist ein ergebnisoffenes, zeitlich begrenztes Zukunftslabor, in dem vorbildliche Projekte entwickelt und umgesetzt werden sollen. Thüringen ist durch eine kleinteilige und polyzentrische Siedlungsstruktur in einer vielschichtigen Kulturlandschaft geprägt. Die IBA Thüringen möchte regionale Ressourcen entdecken und stärken sowie neue Bezüge zwischen Stadt und Land herstellen. Kernfragen im Bereich der Infrastruktur wurden schon in der Machbarkeitsstudie für die IBA-Thüringen (2011), die Basis für den Kabinettsbeschluss der Landesregierung zur Durchführung einer IBA war, aufgeworfen:

- „Welche synergetischen Innovationen sind im Bereich technischer Infrastrukturen der Ver- und Entsorgung denkbar?
- Wie sehen Infrastruktursysteme aus, die flexibel auf sinkende oder steigende Einwohnerentwicklungen reagieren können?
- Welche Perspektiven können durch systemische Wechsel aufgezeigt werden?
- Welchen Beitrag können dezentrale Energieversorgungskonzepte leisten?
- Wie gelingt es noch besser, vorhandene öffentliche und private Investitionen auf nachhaltige Vorhaben zu konzentrieren?
- Wie können regionale Stoff- und Energiekreisläufe entwickelt werden, die Wertschöpfung in der Region erzeugen und gleichzeitig die regionale Kultur stärken?“ (IBA-Thüringen, 2011)



Abb. 4: IBA Hamburg: Die Machbarkeitsstudie Deichpark Elbinsel zeigt zukunftsweisende Ansätze für die Gestaltung von Hochwasser-schutzanlagen als attraktive und vielfältig nutzbare Bestandteile der Stadtlandschaft. Quelle: STUDIO URBALE LANDSCHAFTEN, Hamburg

Im Projekt „Regionale und regenerative Stoffstromkreisläufe durch Abwassernutzung“ werden Standards kritisch betrachtet und die oben genannten Fragestellungen aufgegriffen – mit der Kernhypothese, dass die Resilienz der Wasser- und Abwasserinfrastruktur erhöht werden muss. Die Widerstandsfähigkeit von Infrastruktursystemen erfordert immer an Siedlungsstrukturen angepasste Systemgröße und -eigenschaften. Dazu ist es essentiell, eine flexible Technik zu implementieren, die an Schrumpfen und Wachsen angepasst werden kann. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Einbindung von betroffenen Akteuren. Dazu wird der Transformations- und Transitionsprozess partizipativ gestaltet. Zusätzlich wird für den Betrieb insbesondere dezentraler Anlagen ein an die Technik angepasstes Finanzierungs- und Organisationsmodell entwickelt.

Damit zeigt sich, wie eng und vielfältig im Rahmen von Internationalen Bauausstellungen Fragen des Städtebaus und der Landschaftsgestaltung sowie der Stadt- und Regionalentwicklung mit innovativen Ansätzen der Infrastrukturentwicklung verbunden wurden und werden. Die IBA als Transformationsraum für neue Wasser- und Abwasserkonzepte hat sich bewährt.

## Literatur:

Doehler-Behzadi, M. (2011): Eine IBA, viele IBA – die Fortsetzung eines Lernprozesses?, in: Dokumentation „IBA Forum – IBA meets IBA“, 8. und 19. April 2011 in Berlin, S. 8 – 9.

IBA Hamburg (Hrsg.)/osp urbelandschaften (2011): IBA Machbarkeitsstudie Deichpark Elbinsel, Hamburg.

IBA Hamburg (Hrsg.)/STUDIO URBALE LANDSCHAFTEN (2008): WASSERATLAS. Wasser Land-Topologien für die Hamburger Elbinsel, Hamburg.

IBA-Thüringen (2011): Machbarkeitsstudie/IBA. Konzept Thüringen, Mai 2011, Thüringer Ministerium für Bau, Landesentwicklung und Verkehr unter Mitwirkung der Bauhaus-Universität Weimar, [http://www.uni-weimar.de/architektur/wohnbau/res/default/110331\\_iba\\_konzeptthueringen\\_low.pdf](http://www.uni-weimar.de/architektur/wohnbau/res/default/110331_iba_konzeptthueringen_low.pdf) (letzter Abruf: 02.11.2016)

INIS-Workshop „Transformationsraum IBA: Möglichkeitsraum zur Erprobung innovativer Ansätze integrierter Infrastrukturentwicklung“. Weimar, Februar 2016. Onlinedokumentation, <https://nawam-inis.de/de/veranstaltungen/siedlungswasserwirtschaft> (letzter Abruf: 02.11.2016).

Schauz, T., und A. Uttke (2008): IBA im Blick. Innovationsschub, Inszenierung, Marketing, in: PLANERIN 5\_08, S. 3 – 4.

TU Dortmund, Fachgebiet Städtebau, Stadtgestaltung und Bauleitplanung, Fak. Raumplanung (Hrsg.)(2008): Internationale Bauausstellung Emscher Park. Die Projekte 10 Jahre danach, Essen.

A photograph of a large-scale water treatment facility. The image shows a series of concrete basins and a large dam-like structure with water cascading over it. The water is white and turbulent as it falls. The background is a clear blue sky. The overall scene is industrial and focused on water management.

# Kapitel H

## Inhaltsverzeichnis Kapitel H

---

H	Einleitung: Akteure, Strategien und Institutionen der Transformation .....	280
H1	Neuartige Sanitärsysteme – Alltagserfahrungen und Anforderungen von Nutzenden .....	282
H2	Umsetzung innovativer Wasserinfrastruktursysteme im Bestand im Zusammenspiel verschiedener Akteursgruppen .....	286
H3	Strategieoptionen und Rolle der Unternehmen in der Transformation .....	292
H4	Kooperationsmanagement .....	296
H5	Gebäudeintegrierte Lebensmittelproduktion unter Wiederverwendung von Abwasser: Umsetzungsstrategien für ROOF WATER-FARM-Konzepte .....	300
H6	Frisches Wasser und frischer Fisch vom Dach bis zum Fluss – Kommunikationsstrategien im Feld der gebäudeintegrierten Farmwirtschaft .....	304
H7	Gebührenkalkulation: Zivilrechtliche und kalkulatorische Anpassungserfordernisse zur Einführung von neuartigen Sanitärsystemen .....	310
H8	Ökonomische Wirkungspfade als Instrument zur Identifikation von finanziellen Anreizdefiziten im Rahmen der Regenwasserbewirtschaftung .....	314

Autor:

Jens Libbe

Projekt: INISnet

# H

## Einleitung: Akteure, Strategien und Institutionen der Transformation

Die Transformation der Siedlungswasserwirtschaft durch sukzessives Umsetzen neuartiger Systemlösungen weist unterschiedliche Komponenten auf: Es geht um die Nutzung der im Abwasser enthaltenen Wärme, das getrennte Erfassen und Behandeln von Abwasserteilströmen (Schwarzwasser zur energetischen Nutzung sowie Grauwasser zur Aufbereitung als Betriebswasser) sowie ein dezentrales Niederschlagswassermanagement. All dies bringt nicht allein technische, sondern gleichermaßen sozio-ökonomische und institutionelle Herausforderungen mit sich.

Voraussetzung für die Erfassung des vielfältigen Handlungsgeflechts ist ein ganzheitliches Verständnis von Infrastrukturen als sozio-technischen Systemen. Technische, ökonomische und gesellschaftliche Aspekte sind demnach gleichermaßen bei Planung, Bau und Betrieb von Infrastrukturen zu berücksichtigen. Die physische Stadttechnik, die mit ihr verbundenen Akteure und Organisationen sowie der institutionelle Rahmen in Form von Normen und Standards, finanziellen Zuweisungen, Verträgen usw. stabilisieren sich dabei gegenseitig und dauerhaft. In diesem Zusammenhang ist regelmäßig auch von Pfadabhängigkeit die Rede. Veränderungen erscheinen jedoch möglich – dies vor allem dann, wenn neue technologische Lösungen marktreif verfügbar sind, die gegenüber der etablierten Technologie Vorteile aufweisen, wenn etablierte oder neue Akteure bereit sind, diese Systemlösungen anzuwenden und wenn auch die ökonomischen und rechtlichen Voraussetzungen vorliegen.

In der Fördermaßnahme INIS zeigten zahlreiche Projekte auf, wie sich Infrastruktursysteme transformieren lassen und wie durch absichtsvolles Handeln gezielte Impulse für einen Pfadwechsel gesetzt werden können.

### Akteure

Bei den Akteuren sind zunächst einmal die Bürgerinnen und Bürger zu nennen, für die Wasserdienstleistungen erbracht werden. Als Kunden dürfen sie erwarten, dass der hohe Komfort der Wasserversorgung und der hygienisch einwandfreie Abtransport von verunreinigtem Wasser durch die Einführung neuartiger Systemlösungen nicht beeinträchtigt werden. Der technische Umgang mit Wasser mag sich zwar mit neuartigen Systemlösungen verändern; dies darf aber den problemlosen Wassergebrauch nicht stören. Je einfacher die Bedienung der Anlagen und je besser die Sanitärsysteme funktionieren, desto stabiler auch die Akzeptanz.

Frühzeitige Kommunikation über die installierte Haustechnik ist dabei elementar. Angesprochen sind dabei nicht allein Wohnungseigentümer oder Mieter, sondern auch Investoren, Gebäudeverwaltungen oder das Sanitärhandwerk.

## Strategien

Für den Systemwechsel – dies machen bereits die Ausführungen oben deutlich – bedarf es eines strategischen Konzepts. Es gibt eben kein Möglichkeitsfenster, ein gewachsenes infrastrukturelles System quasi über Nacht komplett umzubauen. Notwendig ist vielmehr die Identifikation von einerseits Teilräumen der Transformation, andererseits zeitlichen Schritten der Umsetzung. Das vorhandene technische System und seine Sanierungszyklen sind zu beachten. Wo Gebiete neu bebaut oder einer veränderten Nutzung zugeführt werden, bieten sich auch in kurzfristiger Perspektive gute Realisierungschancen.

Strategisches Handeln setzt voraus, dass es einen Akteur gibt, der die Transformation vorantreibt und

## Institutionen

Eine wichtige Frage ist, inwieweit Planung und Betrieb neuartiger technischer Lösungen durch die Kommunen und ihre Aufgabenträger koordiniert und gesteuert werden können. Beispielsweise gibt es reichlich Abstimmungsbedarf zwischen Kommune, Abwasserbetrieb und Wohnungseigentümern.

Ein erster Schritt in diesem Aufgabenfeld sind Änderungen von Abwassersatzungen. Bei Grauwassernutzung etwa verändern sich nämlich die bisher dem Abwasserpflichtigen überlassenen Schmutzwasserfrachten. In städtebaulichen, aber auch in anderen öffentlich-rechtlichen oder zivilrechtlichen Verträgen können neuartige Systemlösungen festgeschrieben und damit deren Umsetzung fixiert werden. Abwasserbeseitigungskonzepte, Wasserversorgungskonzepte und/oder Energieversorgungskonzepte bieten ebenso wie

Im Kern sollte die Kommunikation bereits im Vorfeld der Anlageninstallation ansetzen. Planung, Bau und Betrieb von neuartigen Systemlösungen bedürfen des Zusammenspiels einer Vielzahl an Akteuren. Diese Kooperationen müssen neu ausgehandelt und eingeübt werden.

die anderen relevanten Akteure einbezieht und koordiniert. Dieser Gesichtspunkt ist insofern wichtig, als der Aufwand für alle Beteiligten möglichst gering gehalten werden sollte. Hier sind, je nach örtlicher Konstellation, verschiedene Rollenzuweisungen und Organisationsformen denkbar. Neben der kommunalen Planung sind insbesondere die Abwasserentsorger und die Wohnungswirtschaft als Schlüsselakteure anzusehen. Sofern es sich um kommunale Unternehmen handelt, lässt gerade deren öffentlicher Zweck sie zu potenziellen Innovationsführern werden. Dies setzt beispielsweise beim Abwasserentsorger voraus, dass er sein Geschäftsfeld in Richtung integrierte Wasserdienstleistungen weiterentwickelt.

Bebauungspläne die Möglichkeit, seitens der kommunalen Planung notwendige Festsetzungen für technische Anlagen oder Bewirtschaftungsmodi zu treffen.

Zu regeln sind ferner Anschluss, Ausführung oder Unterhaltung der Anlagen sowie die Gewährleistung spezifischer Qualitäten. Auch die Frage des Eigentums an haustechnischen Installationen ist mit zahlreichen Regelungserfordernissen verbunden. Darüber hinaus sind verschiedene finanzielle Aspekte zu beachten. Anreizsysteme und Interessenlagen müssen aufeinander abgestimmt werden. Investitionen in die neuartigen Anlagen sind abzusichern und zugleich zusätzliche Belastungen für Eigentümer und Mieter zu vermeiden. Damit verbunden müssen Gebührenmodelle angepasst werden.

#### Autorinnen und Autor:

Jutta Deffner, Barbara Birzle-Harder und Engelbert Schramm

Projekt: netWORKS 3, KREIS

#### Literatur:

Hefter, T., B. Birzle-Harder und J. Deffner (2015): Akzeptanz von Grauwasserbehandlung und Wärmerückgewinnung im Wohnungsbau. Ergebnisse einer qualitativen Bewohnerbefragung, netWORKS-Papers, Nr. 27, Berlin, <http://edoc.difu.de/edoc.php?id=LRQ3DGET> (letzter Abruf: 04.10.2016).

Oldenburg, M., R. Rohde, M. Wuttke und W. Kuck (2015): Handbuch Unterdruckentwässerung – Ein Leitfaden für die Installation in Gebäuden, HAMBURG WASSER, Hamburg.

Schramm, E., M. Oldenburg, M. Wuttke, B. Birzle-Harder, T. Hefter und R. Rohde: Akzeptanz der Unterdrucktechnik in Wohngebäuden, 1. Wahrnehmung der Nutzenden und technische Hintergründe, in: Korrespondenz Abwasser (eingereicht).

## H1

# Neuartige Sanitärsysteme – Alltagserfahrungen und Anforderungen von Nutzenden

Neuartige Sanitärsysteme (NASS) sind im Wohnungsbau immer noch eine Rarität. Dies gilt zum Beispiel für Technologien zur Grauwasseraufbereitung und Wärmerückgewinnung aus Grauwasser auf Gebäudeebene. Auch das getrennte Abführen von Grau- und Schwarzwasser, um es zum Beispiel auf Quartiersebene energetisch zu verwerten, zählt hierzu. Beide Systeme benötigen im Bereich der Liegenschaften eine besondere Wasser- und Abwasserinfrastruktur, wie zum Beispiel ein doppeltes Rohrleitungsnetz zur Versorgung mit Trink- und Betriebswasser bzw. zur Ableitung der unterschiedlichen Abwasserqualitäten oder Unterdrucktoiletten (auch als Vakuumtoiletten bezeichnet). Für eine weitere Verbreitung dieser Technologien im Wohnungsbau spielt neben der technischen Reife die Akzeptanz bei den Bewohnerinnen und Bewohnern dieser Gebäude eine zentrale Rolle. Inwieweit diese mit der Technik zurechtkommen, ist für Anlagenplaner und -bauer, aber auch für Investoren und Vermieter relevant. Bisher liegen zwar Erkenntnisse zum technischen Betrieb und zur Wirtschaftlichkeit solcher Anlagen vor. Zu den Alltagserfahrungen und Wahrnehmungen aus Nutzersicht gibt es bisher kaum wissenschaftliche Erkenntnisse.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des ISOE – Institut für sozial-ökologische Forschung haben deshalb in zwei im Rahmen von INIS geförderten Projekten – netWORKS 3 und KREIS – untersucht, wie zum einen Anlagen zur Grauwasserbehandlung und Wärmerückgewinnung in Mehrfamilienhäusern, zum anderen ein auf Stoffstromtrennung basierendes Abwasserkonzept mit Vakuumtoiletten in einer Wohnsiedlung von deren Bewohnerinnen und Bewohnern im Alltag wahrgenommen und bewertet werden. Im Fokus der qualitativ-sozialwissenschaftlichen Studien standen dabei die Einstellungen und Alltagsroutinen der Bewohnerschaft im Umgang mit den innovativen Technologien. Ziel der Untersuchung war zum einen, konkrete Empfehlungen für die Praxisakteure in den Projekten abzuleiten, und zum anderen, Erkenntnisse zu möglichen Potenzialen und Barrieren für die weitere Verbreitung der Technologien zu gewinnen.

Im Folgenden werden die Erfahrungen der Bewohnerinnen und Bewohner mit der Grauwasserbehandlung ausführlicher dargestellt. Für den Ausblick werden Ergebnisse aus beiden Teilstudien gegenübergestellt.

## Grauwasserbehandlung im Wohnungsbau (noch) relativ wenig verbreitet

Anlagen zur Grauwasseraufbereitung mit und ohne Wärmerückgewinnung werden bisher kaum in Wohn- bzw. Mehrfamilienhäusern eingesetzt. Die Ausnahme bilden wenige Wohngebäude mit einer meist überschaubaren Anzahl von Wohneinheiten. In den letzten Jahren ist eine Reihe von Pionierprojekten entstanden, in denen Anlagen zur Grauwasseraufbereitung – vereinzelt auch mit Wärmerückgewinnung – realisiert wurden. Dabei handelt es sich vor allem um Bauvorhaben von umweltorientierten Baugemeinschaften oder innovativen Investoren und Architekten.

Im Winter 2013/2014 wurden in 45 Haushalten in vier Gebäuden in Berlin (davon zwei Gebäude mit Wärmerückgewinnung) leitfadengestützte Interviews durch-

geführt. Neben den Alltagserfahrungen ging es in den Interviews um die Themen Umwelt- und Einspareffekte der Anlagen, Wohnzufriedenheit, Imageaspekte und Zukunftsperspektiven für Grauwassertechnologien. Die qualitative Studie hatte zum Ziel, typische Sichtweisen und Aussagen durch die Befragung herauszuarbeiten.

Die untersuchten Gebäude unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Bauweise. Alle vier Gebäude verfügen über eine Anlage zur Aufbereitung von Grauwasser, welches dann als Betriebswasser insbesondere für die Toilettenspülung genutzt wird. In zwei der vier Gebäude wird zusätzlich aus dem Grauwasser (Dusch- und Badewasser) die Wärme rückgewonnen und zur Vorwärmung des Trinkwassers im Gebäude genutzt.

## Grauwasserrecycling aus Sicht der Nutzerinnen und Nutzer weitgehend alltagstauglich

Die Befragungen in den vier Gebäuden zeigen, dass der Wissensstand zu und das Interesse an den Grauwasseranlagen bei der Bewohnerschaft sehr unterschiedlich sind. Den meisten reicht es aus zu wissen, dass die Anlagen zuverlässig funktionieren. An zusätzlichen Informationen, etwa zu den ökonomischen und ökologischen Vorteilen der Anlagen, sind nur einzelne Nutzende interessiert.

Insgesamt ist eine hohe Zufriedenheit mit den Grauwasseranlagen und der Wärmerückgewinnung bei den Bewohnerinnen und Bewohnern festzustellen. Dies liegt vor allem daran, dass die Anlagen im Alltag kaum wahrnehmbar sind und weitgehend problemlos funktionieren. Dies entspricht den Ansprüchen der Nutzenden an eine moderne Haustechnik. Auch die Qualität des Betriebswassers für die Toilettenspülung wird von den Bewohnerinnen und Bewohnern überwiegend positiv eingeschätzt. Manche der Befragten nehmen jedoch eine im Vergleich zu Trinkwasser zeitweise auf-

tretende andere Beschaffenheit des Betriebswassers (Verfärbungen bzw. Eintrübungen) wahr. Die Mehrzahl der Bewohnerinnen und Bewohner, die einen Unterschied im Wasser wahrnehmen, ist gegenüber diesen Auffälligkeiten sehr tolerant, hat sich an die gelegentlich auftretenden Verfärbungen des Wassers gewöhnt und sieht diese generell als unproblematisch an. Wenn gleich die Mehrzahl mit der Qualität des Betriebswassers zufrieden ist, gibt es dennoch vereinzelt Nutzende, die sehr sensibel auf Auffälligkeiten reagieren und sich daran stören. Trotz der vereinzelt Beanstandungen gibt es nahezu keine Bedenken hinsichtlich der hygienischen Eigenschaften des Betriebswassers. Dass Trinkwasserqualität für die Toilettenspülung unnötig ist, erscheint den Befragten selbstverständlich. Im Alltagsverhalten der Bewohnerschaft zeigen sich durch die Grauwasserbehandlungsanlagen so gut wie keine Veränderungen. Lediglich einzelne Nutzerinnen und Nutzer berichten davon, dass sie die Toilette häufiger reinigen oder mehr Putzmittel verwenden als früher.



Abb.: Betriebsgebäude für Grauwasserbehandlungsanlage im Innenhof einer Wohnanlage in Berlin.  
Foto: ISOE 2014

## Gefühlter Umweltnutzen wichtiger als Kostenersparnis

Die Befragungen zeigen, dass viele Bewohnerinnen und Bewohner den Einsatz von Grauwasserbehandlungsanlagen und die Wärmerückgewinnung aus Grauwasser als Elemente des nachhaltigen Bauens befürworten. Diese werden als eine sinnvolle Ergänzung zu anderen energetischen bzw. ökologischen Maßnahmen wie z. B. der Photovoltaiknutzung oder der Passivhausbauweise betrachtet. Die meisten Bewohnerinnen und Bewohner schätzen die Technologien dementsprechend als zukunftsweisend ein. Bei einigen von ihnen ist auch ein gewisser Stolz zu erkennen, Pionier für eine solche zukunftsweisende Technologie zu sein.

Bemerkenswert ist, dass bei den Bewohnerinnen und Bewohnern das Wissen über die genauen Einspar- und Umwelteffekte relativ gering ist. Zwar sind sich die Befragten einig, dass die Grauwasseraufbereitung und die Wärmerückgewinnung einen klaren Umweltnutzen haben, sie können ihn aber nicht genauer beziffern.

## Folgerungen und Ausblick

Was bedeuten die Befragungsergebnisse zu den Wahrnehmungen, Alltagserfahrungen und Bewertungen der Nutzenden für die Praxis und die weitere Verbreitung von Anlagen?

Das Gleiche gilt auch für eventuelle monetäre Einsparungen durch die Anlagen. Finanzielle Vorteile scheinen bei den meisten Nutzenden gegenüber den Umwelteffekten durch die Einsparung von Trinkwasser und Energie sogar oft zweitrangig. Zudem wird davon ausgegangen, dass monetäre Einsparungen gering sind. Dies deutet zum einen auf höhere Einkommensgruppen der meisten Befragten hin und erklärt sich zum anderen auch mit deren ausgeprägter Nachhaltigkeitsorientierung. Die positiven Umwelteffekte haben für viele Befragte vor allem symbolischen Wert und vermitteln ihnen ein positives Gefühl. Allerdings spielt bei Mietern das innovative Sanitärsystem keine Rolle bei der Entscheidung für den Einzug in die Wohnung. Für Bauleute wiederum war nicht die Grauwasseraufbereitung an sich entscheidend, sondern die Option, ein Gebäudekonzept zu realisieren, das auch beim Thema Wasser und Abwasser auf Ressourceneffizienz setzt.

Generell lässt sich feststellen, dass die Grauwasseraufbereitung zwar keine wesentlichen, aber doch Auswirkungen im Alltag der Bewohnerinnen und Bewohner hat. Die Wärmerückgewinnung dagegen spielt nur bei der Bewertung und dem wahrgenommenen Nutzen

der Technik eine Rolle. Gänzlich anders verhält es sich bei der Vakuumtechnologie. Änderungen in Bezug auf den alltäglichen Umgang im Vergleich zu herkömmlichen Toiletten und Abwassersystemen entstehen durch eine in der Vergangenheit höhere Störanfälligkeit gegenüber Verstopfungen durch undichte Ventile und eine hohe Geräusentwicklung zumindest der älteren Toilettenmodelle. Insgesamt ist ein einwandfreies und unauffälliges Funktionieren der Technologien entscheidend für die Zufriedenheit der Nutzenden.

Die Nutzerinnen und Nutzer unterscheiden sich in ihrer Aufgeschlossenheit für und ihrem Interesse an den Technologien. Bei den untersuchten Technologien sind besonders nachhaltigkeitsorientierte Menschen sehr offen für solche Innovationen. Sie sind auch kleinen Unwägbarkeiten (z. B. Eintrübungen des Betriebswassers) gegenüber tolerant. Bei der Grauwassertechnologie gibt es sehr sauberkeitssensible Personen, die eine kritische Nutzergruppe sein können. Bei der Vakuumtechnologie sind dies vor allem geräuschsensible Personen. Bauleute und Vermieter können proaktiv, durch Wahl geeigneter Modelle von Unterdrucktoiletten, Störanfälligkeit und Geräusentwicklung herabsetzen; Verstopfungen der Ventile können Hausverwaltungen durch regelmäßige Wartungen vermeiden. Anlagenbetreiber, Hausverwaltungen und Vermieter sollten schon vor dem Einzug über die vorhandenen Technologien im Gebäude informieren. Dabei ist auch die Information über den laufenden Betrieb, insbesondere über die erzielten Einspar- und Umwelteffekte, wichtig.

Die wahrgenommenen Vorteile beider Technologien, vor allem der Wasserspareffekt, sind insgesamt für die Zufriedenheit und den wahrgenommenen Nutzen mitverantwortlich. Die Anlagen haben häufig einen hohen symbolischen Wert (Stolz, in einem innovativen Haus zu wohnen) für die Bewohnerinnen und Bewohner.

Der Umgang mit technischen Störungen ist sehr individuell. Allerdings lassen sich sehr emotionale Reaktionen im Falle von Störungen (Verstopfungen) bei der Vakuumtechnologie beobachten. Häufigste Ursache ist die nicht ordnungsgemäße Nutzung der Toilette durch Einwurf von Stör- oder Abfallstoffen in die Toilette.

Wenn nicht, wie in der Jenfelder Au (KREIS), technische Redundanzen und ausreichend Schieber geschaffen werden, wirken sich Störungen auf das gesamte Unterdrucknetz aus – dies bedeutet, dass dann zahlreiche Haushalte betroffen sind.

Investoren und Hausverwaltungen sollten sich auf die unterschiedlichen Nutzertypen und deren Bedürfnisse einstellen. Dies kann z. B. mit einer zielgruppenspezifischen Kommunikationsstrategie erreicht werden. Die Erfahrungen in einzelnen Gebäuden mit Grauwassernutzung, aber auch der Vakuumtechnologie zeigen, dass es gelegentlich Anfangsschwierigkeiten aufgrund von Ausführungsfehlern gibt. Dies unterstreicht die Wichtigkeit von fachgerechter Planung, Bauleitung und -ausführung sowie Wartung der Anlagen. Fachplanende und ausführende Firmen haben einen Informations- und Weiterbildungsbedarf, der mit Handreichungen bedient werden kann; für die Jenfelder Au wurde ein „Handbuch Unterdruckentwässerung“ für diese Zielgruppen erstellt. Auch für die Hausbetreiber erfordern eventuell mögliche Anlaufschwierigkeiten eine besondere Aufmerksamkeit und Ansprechbarkeit für Hausverwaltungen und Haustechniker. Dies gilt besonders für die ersten Wochen nach Inbetriebnahme einer Anlage, um Störungen zu vermeiden oder gegebenenfalls schnell zu beseitigen. Denn negative Erfahrungen der Bewohnerinnen und Bewohner bleiben im Gedächtnis haften und beeinträchtigen die Akzeptanz für lange Zeit.

Perspektivisch sehr positiv für eine weitere Verbreitung speziell der Grauwasseraufbereitung, Betriebswassernutzung und Wärmerückgewinnung im Wohnungsbau sind die große Offenheit und Innovationsbereitschaft von Baugemeinschaften. Vor allem ökologisch orientierte Baugemeinschaften können für die Verbreitung dieser Systeme wichtige Pioniere sein. Hersteller und Planende von Anlagen zur Grauwasseraufbereitung und Wärmerückgewinnung sollten deshalb Baugruppenbetreuer und Baugruppen, aber auch innovative Architekturbüros und Investoren gezielt ansprechen. Grauwasseraufbereitung und Wärmerückgewinnung können beispielsweise als wichtige Elemente einer energieeffizienten und ökologischen Bauweise vermarktet werden.

#### Autorinnen und Autoren:

Thomas Hillenbrand,  
Eve Menger-Krug,  
Jutta Niederste-Hollenberg  
und Udo Schratz

Projekt: TWIST++

#### Literatur:

DWA-Arbeitsgruppe KA-1.5  
(2014): Neuartige Sanitärsysteme:  
Akteursbezogene Hinweise  
für die Projektentwicklung  
und -umsetzung, in:  
KA Korrespondenz Abwasser,  
Abfall, 61, Nr. 8, S. 781 – 785.

Hiessl, H., T. Hillenbrand, S. Klug,  
M. Lange, S. Voecklinghaus,  
C. Flores und M. Weilandt (2012a):  
Nachhaltige Weiterentwicklung  
urbaner Wasserinfrastrukturen  
unter sich stark ändernden  
Randbedingungen (NAUWA).  
Endbericht, Karlsruhe,  
[http://nauwa.de/nauwa/public/  
Download/Endbericht-NAUWA.  
pdf](http://nauwa.de/nauwa/public/Download/Endbericht-NAUWA.pdf) (letzter Abruf: 25.10.2016).

Hiessl, H., T. Hillenbrand, S. Klug,  
M. Lange, S. Voecklinghaus,  
C. Flores und M. Weilandt  
(2012b): Nachhaltige Weiterentwicklung kommunaler Wasserinfrastrukturen – Strategischer Planungsprozess unter Einbindung aller wesentlichen Akteure, in: Energie-Wasser-Praxis, 63 (2012), 4, S. 13 – 16.

Menger-Krug, E., J. Niederste-Hollenberg, U. Feldmann und T. Hillenbrand (2016): Integrated Water-Energy-Transition Concept: i.WET (in Vorbereitung).

## H2

# Umsetzung innovativer Wasserinfrastruktursysteme im Bestand im Zusammenspiel verschiedener Akteursgruppen

### Ausgangssituation

Bau und Betrieb von Wasserinfrastruktursystemen bedeuten immer ein Zusammenspiel einer Vielzahl von Akteuren. Diese umfassen zumindest Ver- und Entsorger, verschiedene kommunale Stellen (wie z. B. das Tiefbau- und das Stadtplanungsamt), Genehmigungsbehörden sowie die Bürgerinnen und Bürger als Nutzer der Infrastruktur. Werden Zielsetzungen erweitert, um z. B. Ressourcen aus dem Abwasser zu nutzen, und gleichzeitig neue Herausforderungen formuliert, z. B. die Umsetzung eines umfassenden Regenwassermanagements für einen verbesserten Umgang mit Starkregen, sind die „eingespielten“ Arbeitsprozesse und Strukturen zu überarbeiten und anzupassen. Die Zahl relevanter Akteure nimmt dadurch deutlich zu (vgl. Ergebnisse der Akteurs- und Prozessanalyse bei Hiessl et al. 2012a). Für vier aggregierte Akteursgruppen erarbeitete die DWA-Arbeitsgruppe KA-1.5 (2014) spezifische Hinweise zur Umsetzung von Neuartigen Sanitärsystemen (NASS) anhand der Erfahrungen aus 22 Beispielprojekten. Abbildung 1 gibt einen schematischen Überblick über wichtige Wechselwirkungen innovativer Wasserinfrastruktursysteme mit anderen Themenfeldern.

Sind solche Veränderungen bei Neubaugebieten vorgesehen, ist es nötig, rechtzeitig auf die Planung Einfluss zu nehmen und die gegebenenfalls abzuleitenden zusätzlichen Anforderungen im Rahmen der Bauleitplanung zu berücksichtigen. Erforderliche Komponenten der Wasserinfrastruktur, die verschiedene Ebenen betreffen – innerhalb oder außerhalb der Gebäude, im privaten oder öffentlichen Raum –, können dann durch die Kopplung von Erschließungs- und Bebauungsmaßnahmen direkt aufeinander abgestimmt werden.

Sollen jedoch entsprechende Veränderungen in Bestandsgebieten umgesetzt werden, erhöht sich die Komplexität der damit verbundenen Prozesse deutlich. Erheblicher zusätzlicher Abstimmungsbedarf ergibt sich schon dadurch, dass die vorhandenen Bebauungen und Infrastrukturen in der Regel sehr unterschiedliche Nutzungsdauern aufweisen und sich der Bedarf für Sanierungsmaßnahmen deshalb deutlich differenziert darstellt. Neben der technischen Koordination der gegebenenfalls notwendigen Änderungen ist deshalb immer auch eine zusätzliche zeitliche Abstimmung der Prozesse notwendig. Zusätzlich können durch neue Wasserinfrastruktursysteme neue Aufgaben (z. B. Betrieb dezentraler Komponenten zur Wasseraufbereitung und/oder Wärmerückgewinnung) entstehen, die wiederum zusätzliche organisatorische Strukturen oder Strukturänderungen erfordern.

Im Rahmen des Verbundprojektes TWIST++ wurden für drei unterschiedliche Anwendungsfälle (urbaner und ländlicher Raum, Konversionsfläche) innovative Wasserinfrastrukturkonzepte entwickelt, die mit solchen zusätzlichen Aufgaben verbunden sind. Im Folgenden werden am Beispiel des Anwendungsfalls urbaner Raum die konkreten Änderungen beschrieben, die notwendig sind, um das Konzept unter den Randbedingungen des ausgewählten Modellgebiets umzusetzen.



Abb. 1: Neue Akteure aufgrund zusätzlicher Anforderungen für innovative Wasserinfrastruktursysteme. Quelle: Fraunhofer ISI

## Konzept i.WET – Kurzbeschreibung

Am Beispiel des innovativen Wasserinfrastrukturkonzepts i.WET (integriertes Wasser-Energie-Transitionskonzept) werden die Akteurszusammenhänge genauer beleuchtet. Das Konzept wird in Beitrag D8 detaillierter beschrieben.

i.WET umfasst die konventionelle Versorgung mit Trinkwasser (bei reduziertem Trinkwasserbedarf) sowie die Versorgung mit hochwertigem Betriebswasser aus der Aufbereitung von leicht verschmutztem Grauwasser (Dusche, Bad), aus dem auch die Wärme zurückgewonnen und wieder zur Verfügung gestellt wird. Regenwasser und überschüssiges Grauwasser werden in einem straßenbegleitenden Bodenfilter mit schnellwachsenden Gehölzen (Stichwort: „Grüne Infrastruktur“) abgeleitet. Lediglich das Schwarzwasser aus den Toiletten und das schwerer belastete Grauwasser aus Waschmaschine und Küche werden zur Kläranlage abgeführt.

## Transitionsstrategie

Im Sinne eines Systemwechsels sind grundsätzlich Konzepte erforderlich, die je nach Randbedingungen und Möglichkeiten („Windows of Opportunity“) zeitlich und örtlich variabel und in kleinen Einheiten unabhängig eingeführt und sukzessive weiterentwickelt werden können. Das i.WET-Konzept bietet entsprechende Möglichkeiten: Es lässt sich in aufeinander folgenden Transitionsschritten mit jeweils hoher zeitlicher Flexibilität umsetzen. Erst mittel- bis langfristig muss die äußere Infrastruktur bis hin zu einem Systemwechsel angepasst werden. Die entsprechenden Transitionsschritte sind in Abbildung 2 schematisch dargestellt.

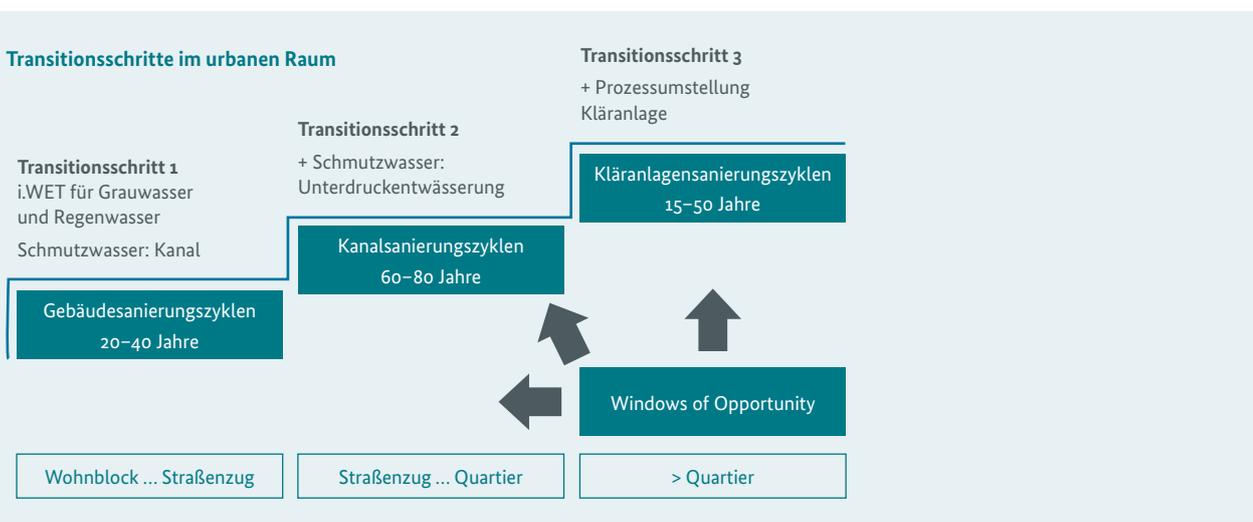


Abb. 2: Schematische Darstellung der im i.WET-Konzept erforderlichen, in verschiedenen Zeitfenstern umzusetzenden Transitionsschritte. Quelle: Fraunhofer ISI

## Wichtige Akteure – Neue Rollen und Anpassungsbedarfe

Die neuen Funktionalitäten innovativer Konzepte gehen einher mit neuen Akteuren, mindestens aber mit neuen Aufgaben für die herkömmlichen Akteure. Bei der im Rahmen des TWIST+++-Projektes planerisch vorbereiteten Umsetzung von i.WET in einem Quartier in Lünen ist ein wesentlicher neuer Akteur eine Wohnungsbaugesellschaft (Bauverein zu Lünen) als Investor, der zusätzlich Betreiberaufgaben übernimmt. Für die bisherigen Akteure Netz-Betreiber und Betreiber der Kläranlage ergeben sich im Rahmen von i.WET neue Aufgaben. Dafür können Anpassungen der rechtlichen Grundlagen (z. B. Satzungen) notwendig werden. Darüber hinaus spielen weitere Akteure eine Rolle, wie z. B. die Mieter als Nutzer der neuen Ressourcen, die Stadtwerke (SW) als Trinkwasser- und Energieversorger oder gegebenenfalls auch Straßen- oder Grünflächenämter hinsichtlich Bau und Betrieb der grünen Infrastruktur.

Zur Umsetzung des Konzepts sind grundsätzlich verschiedene Optionen mit unterschiedlichen Organisationsstrukturen denkbar. Im Folgenden wird das aufgrund der vorhandenen Randbedingungen und Akteure präferierte Konzept näher beschrieben.

- Versorgung der Mieter mit Betriebswasser und Wärme;
- Anpassung der Betriebskostenabrechnung an die umgesetzten Innovationen

### Aufgaben des Abwasserentsorgers (Stadtbetrieb Abwasserbeseitigung Lünen AöR – SAL)

- Kanalerneuerung entsprechend Abwasserbeseitigungskonzept und Sanierungsbedarf in Abstimmung mit den Erfordernissen der vorgesehenen Systemtransition;
- Erstellung und Betrieb der Energieallee im Straßen-seitenraum je nach örtlichen Randbedingungen (gegebenenfalls auch auf privatem Grundstücksge-lände umsetzbar);
- mittelfristig: Einführung und anschließend Betrieb einer Unterdruckentwässerung in Teilschritten entsprechend den Erfordernissen aus der Umsetzung des i.WET-Konzepts.

### Aufgaben der Wohnungsbaugesellschaft (Bauverein zu Lünen – BVzL)

- Anpassung der Sanitäreinrichtungen im Gebäude;
- Einführung eines zweiten Leitungsstranges zur Ableitung von leichtem Grauwasser zur Aufbereitungsanlage;
- Bau und Betrieb der Grauwasseraufbereitungsanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG) und Integration der WRG in das Gesamtenergiekonzept des Gebäudes;
- Erfassung und Aufbereitung des Niederschlagswassers;
- Einführung eines zweiten Leitungssystems zur Versorgung der Wohnungen mit Betriebswasser;

## Aufgaben des Kläranlagenbetreibers (Lippeverband – LV)

- Aufnahme und Reinigung des konzentrierten Abwasserteilstroms (Schwarzwasser und stark belastetes Grauwasser) in der anaeroben Stufe der Kläranlage;
- Ableitung des Wassers aus der Energieallee in geeignete Gewässer über vorhandene Pumpwerke. Der Anschluss der Energieallee an die Gewässer in freier Vorflut ist aufgrund der Bergsenkungseinflüsse nicht möglich.

Aus dieser Aufgabenverteilung ergeben sich Anpassungsbedürfnisse hinsichtlich des rechtlichen Rahmens. Zu regeln sind unter anderem Anschluss, Ausführung, Betrieb und Unterhaltung der Grauwasseraufbereitung und der Energieallee. Für den Abwasserentsorger können Satzungsanpassungen insoweit erforderlich werden, als er als Abwasserbeseitigungspflichtiger bei ordnungsgemäßem Betrieb der GW-Anlage auf die Überlassung von Schmutzwasser verzichtet. Außerdem ist der Betrieb der Energieallee, die in ihrer Struktur auch als Abwasserreinigungsanlage fungiert, in die Satzung aufzunehmen. Die Energieallee wird als Bestandteil der öffentlichen Abwasserentsorgung über die allgemeine Abwassergebühr finanziert.

Zur Absicherung der Investition der Wohnungsbaugesellschaft in die Grauwasseraufbereitung und zur Festlegung der Aufgabenverteilung kann eine Vereinbarung zwischen der Gesellschaft und dem Abwasserentsorger sinnvoll sein, um die mittelfristige Refinanzierung der Investition sicherzustellen (Einsparungen der Wohnungsbaugesellschaft bzw. der Mieter bei den Abwassergebühren).

## Zusammenfassung und Ausblick

Die Umsetzung innovativer Wasserinfrastruktursysteme kann mit deutlichen Änderungen der relevanten Akteure und der notwendigen Organisationsstrukturen verbunden sein. Daraus können Hemmnisse für die Umsetzung solcher Innovationen erwachsen, die sich vor allem durch entsprechende Positivbeispiele im Rahmen von Demonstrations- und Pilotprojekten überwinden lassen.

Um für die beteiligten Akteure auch ausreichende monetäre Anreize zur Umsetzung des i.WET-Konzepts zu setzen, sind folgende Aspekte relevant:

- Der verminderte Trinkwasserbezug führt kurzfristig zur Reduzierung der Trinkwasserkosten und zur Verringerung der Abwassergebühren. Mittel- bis langfristig und bei einer breiteren Umsetzung des Konzepts ist es aus Sicht des Ver- bzw. Entsorgers vor dem Hintergrund der Fixkostenproblematik nötig, die Gebühren (bzw. die Gebührenstruktur) anzupassen.
- Die Abkopplung des Regenwassers führt zu einer weiteren Reduzierung der Gebührenbelastung für die Wohnungsbaugesellschaft und damit indirekt für die Nutzer (Mieter). Die Wärmerückgewinnung aus Grauwasser hat zur Folge, dass die Betriebskosten für die Mieter sinken.
- Eine verbrauchsunabhängige Nutzungspauschale für Betriebswasser bildet einen zusätzlichen Anreiz, dieses weitgehend zu nutzen.

Grundsätzlich ist zu berücksichtigen: Aufgrund des Innovationsgrads und der besonderen Zielsetzung (Energie- und Ressourceneffizienz, Bereitstellung von Retentionsvolumen zum verbesserten Umgang mit Starkregen) des i.WET-Konzepts bestehen Fördermöglichkeiten, welche die breitere Umsetzung unterstützen können.



Abb. 3: Veranschaulichung der neuen Rollen wichtiger Akteure bei der Umsetzung des iWET-Konzepts (Abkürzungen siehe Text).  
Quelle: TWIST++

#### Autoren:

Jan Hendrik Trapp und Jens Libbe

Projekt: netWORKS 3

#### Literatur:

Hanke, S. (2016): Rechtliche Rahmenbedingungen neuartiger Wasserinfrastrukturen – zu den rechtlichen Möglichkeiten und Grenzen der Einführung von Grauwasserrecycling, Schwarzwasserbehandlung sowie Wärmerückgewinnung, Berlin (netWORKS-Papers 31).

Kerber, H., E. Schramm und M. Winker (2016): Transformationsrisiken bearbeiten: Umsetzung differenzierter Wasserinfrastruktursysteme durch Kooperation, Berlin (netWORKS-Papers 28).

Trapp, J. H., und J. Libbe (2016): Neuartige Wasserinfrastrukturen – Optionen für Unternehmensstrategien und Innovation, Berlin (netWORKS-Papers 29).

## H3

# Strategieoptionen und Rolle der Unternehmen in der Transformation

Unternehmen der Siedlungswasserwirtschaft tragen ganz wesentlich zur Lebensqualität und zur Sicherung der Daseinsvorsorge bei. Die Qualität ihrer Dienstleistungen ist weithin anerkannt und schlägt sich nieder in hoher Zufriedenheit der Kundinnen und Kunden sowie deren Vertrauen in die (kommunalen) Unternehmen. Gleichwohl stehen Deutschlands Kommunen und ihre Wasserunternehmen/-betriebe vor einigen großen Herausforderungen: Sie müssen auf weitreichende ökologische, ökonomische und gesellschaftliche Veränderungen reagieren. Diese hängen etwa mit dem Klimawandel, schwankenden Energiepreisen, Umweltrisiken (wie z. B. Spuren- bzw. Mikroschadstoffen) oder demografischen Entwicklungen (besonders Bevölkerungsrückgang und -wachstum) zusammen. Diese Veränderungen wirken sich räumlich sehr unterschiedlich aus und schlagen insbesondere auf die Kostenstrukturen in den Betrieben durch. Auch die Dynamik der Energiewende, u. a. vermittelt über veränderte Strategien der Stadtwerke, strahlt auf die Siedlungswasserwirtschaft aus – so, wenn Unternehmen nach Ansatzpunkten zur Steigerung der Energieeffizienz in der Wasserwirtschaft und nach Möglichkeiten zur Kopplung mit der Energiewirtschaft suchen. Bei der Suche nach einer erhöhten Ressourceneffizienz für die Siedlungswasserwirtschaft stehen neuartige Wasserinfrastrukturen und „Neuartige Sanitärsysteme“ (NASS) im Fokus. Diese bauen auf dem Prinzip der Stoffstromtrennung auf. Dadurch können Inhaltsstoffe besser als im konventionellen System genutzt werden.

Vor diesem Hintergrund und den sich verändernden Rahmenbedingungen wandeln sich auch die Ansprüche und Anforderungen an Infrastrukturen und Akteure der Siedlungswasserwirtschaft. Dies erfordert neue Antworten. Die Einführung neuartiger Wasserinfrastrukturen – so die These – ermöglicht neue Optionen und unternehmerische Strategien in der Siedlungswasserwirtschaft. Zugleich können veränderte unternehmerische Strategien und Geschäftsfelder die Einführung und Umsetzung neuartiger Systemlösungen in der Siedlungswasserwirtschaft befördern.

Im Dialog mit kommunalen Akteuren der Siedlungswasserwirtschaft wurden im Rahmen des Vorhabens netWORKS 3 Möglichkeiten der technisch-organisationalen Integration und Innovationspotenziale erfasst und bewertet – dies vor dem Hintergrund der Implementierung neuartiger Wasserinfrastrukturen. Folgende Bausteine neuartiger Wasserinfrastrukturen standen dabei im Mittelpunkt:

- Wärmerückgewinnung aus Abwasser (und deren Nutzung z. B. für Warmwasserbereitung oder Raumwärme),
- separate Erfassung und Behandlung von Grauwasser mit anschließender Betriebswassernutzung,
- separate Erfassung und Behandlung von Schwarzwasser mit anschließender Biogasgewinnung.

Die einzelnen Bausteine und mehr noch ihre Kombination in neuartigen Wasserinfrastrukturen eröffnen Möglichkeiten, die stadttechnischen Systeme in Hinblick auf Energie- und Ressourceneffizienz anders zu planen und vor allem sektorenübergreifend nach neuen, optimierten Lösungen zum Beispiel mit Energieversorgern zu suchen. Im vorausschauenden Miteinander und in Kooperation der Wasserunternehmen mit der räumlichen Planung und relevanten Stakeholdern (vgl. Kerber et al. 2016) lassen sich mögliche Situationen der Über- oder auch Unterlast besser als in der Vergangenheit vermeiden.

Selbstverständlich hängen die sich für einzelne Unternehmen ergebenden und plausiblen Optionen und Strategien im Rahmen der Einführung dieser neuartigen Wasserinfrastrukturen von verschiedenen Faktoren ab. Zu nennen sind hier:

- die jeweils bestehende Organisationsform (öffentlich-rechtlich, privat),
- das Organisationsmodell (integriert, kooperativ, „stand-alone“) und
- die Größe des Unternehmens.

Je nachdem, ob es sich um einen integrierten Trinkwasser- und Abwasserzweckverband oder einen kleinen Wasserverband im ländlichen Raum handelt, um den Eigenbetrieb Stadtentwässerung einer deutschen Großstadt oder ob die Trinkwasserwasserversorgung als eine Sparte im kommunalen „Stadtwerk“ (z. B. GmbH) betrieben wird: Es bieten sich vollkommen unterschiedliche rechtliche, finanzielle und (hinsichtlich Wissens- und Personalressourcen) kompetenzielle Ausgangs- und Rahmenbedingungen für die Entwicklung und Gestaltung von Strategien im Umgang mit neuartigen Wasserinfrastrukturen.

Grundsätzlich benennen Unternehmen die folgenden drei – auch kombinierbaren – Optionen, um bestehende Organisationsmodelle und unternehmerische Strategien weiterzuentwickeln:

- Neue und engere Verknüpfungen („Kopplungen“) mit anderen Infrastrukturen, insbesondere zwischen den Bereichen Abwasser, Wärme und Strom („Wasser-Energie-Nexus“): Wärmerückgewinnung aus Abwasser und getrennte Erfassung von Schwarzwasser zur Biogasgewinnung sind zwei Möglichkeiten, die direkt auf die Kopplung von Abwasser und Energie verweisen. Vielfältige Ansatzpunkte zur Kopplung von Wasser und Energie werden zum Teil heute schon erschlossen (etwa mit Blick auf Steigerung der Energieeffizienz auf Kläranlagen), weitere können systematisch identifiziert und entwickelt werden. So kann das Abwasserunternehmen Betreibern von Wärmerückgewinnungsanlagen den Abwasserkanal z. B. gegen Entgelt oder Aufwandsentschädigung überlassen. Im Abwassersystem (entweder semizentral oder zentral auf dem Klärwerk) gewonnene Energie in Form von Wärme und Biogas kann auf eigenen Anlagen genutzt oder abgegeben/vermarktet werden. Die spezifischen Energie-Lastprofile der Trinkwasserversorgung und Abwasserbehandlung ermöglichen Unternehmen der Siedlungswasserwirtschaft, sich in das intelligente Lastmanagement im Stromnetz einzubringen.
- Ausweitung der Dienstleistungen und Produkte für Planung, Betrieb und Wartung de- und semizentraler Anlagen: Infolge der Einführung neuartiger Wasserinfrastrukturen werden mehr de- und semizentrale Anlagen (z. B. Wärmerückgewinnung, Grauwasserrecycling) von Akteuren wie Haus- und Grundstückseigentümern sowie Wohnungsgesellschaften installiert und betrieben. Planung und Installation können, ja sollten (vgl. Hanke 2016) dabei in Abstimmung mit dem lokalen Wasserunternehmen erfolgen. Die öffentliche Kontrolle über die Funktionsfähigkeit der Anlagen und ihre Leistungen (Ergebnisqualität) kann – neben der Vergütung für die Planung von Anlagen sowie deren Wartung und Betrieb – eine wichtige Motivation für kommunale Unternehmen der Wasserwirtschaft sein, sich mit dieser Strategie auseinanderzusetzen.

- Vertiefung von Tätigkeiten und verbesserte Wertschöpfung im Rahmen eines integrierten Wasserressourcenmanagements und Gewässerschutzes: Mit neuartigen Wasserinfrastrukturen lassen sich nicht nur Brücken zwischen Trinkwasser und Abwasser schlagen, sondern auch Kopplungen von technischen mit „grünen und blauen Infrastrukturen“ aufbauen. Damit können weitere Aufgaben im Rahmen von Gewässerunterhaltung und landschaftspflegerischen Maßnahmen entwickelt werden.

Neue Regeln und Abstimmungen in der Planungs- wie in der Betriebsphase müssen für diese Strategieoptionen zum Teil erst noch entwickelt und vereinbart werden (vgl. Kerber et al. 2016). Abstimmungsnotwendigkeiten oder gar Interessenkonflikte können nicht nur mit Blick auf private Akteure, sondern auch mit anderen kommunalen Unternehmen auftreten, etwa wenn der Abwasserbetrieb in Geschäftsfelder (z. B. Wärme) eindringt, die traditionell von Energieversorgungsunternehmen (Stadtwerken) bedient werden. Neuartige Wasserinfrastrukturen einzuführen, eröffnet den Wasserunternehmen demnach nicht nur neue Strategieoptionen und Geschäftsfelder, sondern bedingt auch veränderte Koordinationserfordernisse und Kommunikationsbedarfe zwischen Akteuren. Auch vor diesem Hintergrund sind für das Erschließen unternehmerischer Strategieoptionen technologische, organisatorische und managementbezogene Kompetenzen neu auf- oder auszubauen. Es gilt neue Produkt- und Dienstleistungsangebote zu entwickeln und neue Marktchancen zu erkennen. Auf Basis solcher Geschäftsmodelle können Betriebe und Unternehmen der Siedlungswasserwirtschaft ihr Personalportfolio in fachlicher Breite und Tiefe derart gestalten, dass sie eine aktive(re) Rolle in integralen Stadtentwicklungs- und Infrastrukturkonzepten etwa für eine wassersensible Stadt einnehmen können.



#### Autoren und Autorin:

Engelbert Schramm, Ralf Ott,  
Jan H. Trapp, Martina Winker

#### Projekt: netWORKS 3

#### Literatur:

Hanke, S. (2016): Rechtliche Rahmenbedingungen neuartiger Wasserinfrastrukturen – zu den rechtlichen Möglichkeiten und Grenzen der Einführung von Grauwasserrecycling, Schwarzwasserbehandlung sowie Wärmerückgewinnung, netWORKS-Papers 31, Berlin.

Kerber, H., E. Schramm und M. Winker (2016): Transformationsrisiken bearbeiten: Umsetzung differenzierter Wasserinfrastruktursysteme durch Kooperation, netWORKS-Papers 28, Berlin.

Ott, R., A. Wallbrecht und N. Bieschke (2016): Institutionenökonomische Analyse der Umsetzung neuartiger Wasserinfrastrukturen, netWORKS-Papers 33, Berlin.

Schramm, E., T. Giese, T. Kluge, W. Kuck und C. Völker (2016): Verändertes Kooperationsmanagement für neuartige Sanitärsysteme in Umsetzung und Betrieb. Folgerungen aus dem Beispiel Jenfelder Au in Hamburg, in: gwf-Wasser/Abwasser 157 (2), S. 148 – 155.

## H4

# Kooperationsmanagement

## Veränderte Koordinationsbedarfe durch neuartige Wasserinfrastruktursysteme

Jedes Wasserinfrastruktursystem beruht auf einem koordinierten Zusammenwirken unterschiedlicher Akteure. Formelle wie informelle Regelungen zwischen den Akteuren (z. B. Aufgabenteilungen und Zuständigkeiten, Verabredungen über Grenzziehungen usw.) erleichtern den Betrieb des Systems; sie verringern zugleich den Koordinationsaufwand für die Betreiber der Wasserinfrastruktur. Beispielsweise erlauben es exakte Grenzziehungen zwischen öffentlicher und häuslicher Infrastruktur an der Wasseruhr (Trinkwasser), Verantwortlichkeiten wie etwa zur Übernahme von Kosten und Risiken eindeutig zuzuschreiben.

Bei konventionellen Wasserinfrastruktursystemen sind Routinelösungen und bestehende Regelungen den (meisten) Akteuren bekannt und von diesen auch anerkannt. Sie sind z. B. gesetzlich geregelt oder vertraglich gefasst, werden daher nicht immer wieder aufs Neue in Frage gestellt und müssen auch nicht in jedem Einzelfall neu verhandelt werden. Damit gestaltet sich die Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Akteuren aktuell sehr effizient. Entsprechend haben auch die Aufsichtsbehörden (z. B. Gesundheitsämter) ihre Überwachungsregime möglichst nicht ad hoc, sondern in einem verlässlichen Rahmen entwickelt.

Die Einführung neuartiger Wasserinfrastrukturen führt hier zu Veränderungen und zu einem neuen und in der Regel zunächst höheren Koordinationsaufwand. Dieser kann im Extremfall sogar verhindern, dass sich Neuerungen überhaupt in der Praxis durchsetzen. Somit spiegeln sich in den etablierten Wasserinfrastrukturen und den Vorstellungen über die Gestaltung von Wasserinfrastrukturen Regelungen und andere Institutionalisierungen wider. Zugleich wirken diese auf die Leitbilder und Gestaltungen der Infrastrukturen.

Derartige Institutionalisierungen erleichtern letztlich die Etablierung und den Betrieb von Infrastrukturlösungen; sie werden von der Institutionenökonomik als institutionelle Arrangements gefasst. Sofern die Regelungen sich nicht in Gesetzen oder technischen Normen niederschlagen oder Inhalt von Verträgen sind, werden sie zumeist unmittelbar zwischen den Akteuren (auf der Mikroebene) ausgehandelt.

Die derzeit diskutierten neuartigen Infrastruktursysteme lassen sich als neue Paradigmen fassen: Sie zeichnen sich vor allem dadurch aus, dass Wasser bzw. Abwasser nicht mehr einheitlich behandelt wird, sondern differenzierte Systeme entstehen. In diesen werden zur Versorgung mehrere Wasserqualitäten angeboten bzw. unterschiedliche Abwasserteilströme spezifisch so erfasst, dass sie sich getrennt ableiten und behandeln

lassen. Mit Blick auf einige zentrale Akteure müssen daher neue Regeln gesetzt werden, da verschiedene Zu- oder Ableitungen für den Transport benötigt werden. Beschränkt sich die wasserwirtschaftliche Innovation nicht auf das häusliche Grundstück („dezentraler

Ansatz“), sondern auf ein Stadtquartier oder Wohngebiet, so sind Abstimmungen zwischen dem Betreiber des öffentlichen Kanalnetzes und den Eigentümern der Hauskanalisation erforderlich, um beispielsweise Fehllanschlüsse zu vermeiden.

## Instrumente zur Koordination neuartiger Wasserinfrastruktursysteme

Zur Koordination neuartiger Wasserinfrastruktursysteme können verschiedene Koordinationsformen genutzt werden, wobei aus theoretischer Sicht drei Grundtypen unterschieden werden: Markt, Hierarchie und hybride Formen. Dabei kann ein Mix aus verschiedenen Koordinationsformen bei einem Infrastruktursystem Anwendung finden. Bei der Koordinationsform Hierarchie wird eine Eigenerstellung im Unternehmen durchgeführt, bei der Koordinationsform Markt finden Transaktionen mittels kurzfristiger Verträge auf Spotmärkten statt, wie es sie beispielsweise im Energiebereich beim kurzfristigen Einsatz von Kraftwerken (sog. Dispatch) gibt. Hybridformen stellen eine Zwischenform dieser idealtypischen Ausprägungen dar, beispielsweise handelt es sich um längerfristige Verträge (z. B. zur Betriebsführung von Anlagen).

Weniger abstrakt dargestellt lassen sich zur Koordination die Zuordnung von Rollen (Aufgabenbündel) zu Akteuren auf der einen Seite und auf der anderen Seite die bei der Umsetzung nutzbaren Mechanismen wie konkrete Vertragsformen, aber auch kommunale Pläne und Fachkonzepte nutzen. Die angesprochenen Rollen können über verschiedene räumliche Ebenen und Wertschöpfungsstufen der Siedlungswasserwirtschaft hinweg wahrgenommen werden.

Bei Konzepten neuartiger Wasserinfrastrukturen ist hier insbesondere die Rolle der Systementscheidung zu betrachten, welche eine hohe Bedeutung bei der effizienten Koordination des Systems innehat. In deren Rahmen findet nämlich die Wahl des entsprechenden Wasserinfrastruktursystems statt. Diese wird somit als entscheidende Aufgabe bei der Einführung und Umsetzung neuartiger Wasserinfrastrukturkonzepte gesehen. Zentral ist auch die Rolle des Normengebers (bzw. Gesetzgebers). Bei den Akteuren, die für die Wahrnehmung von Rollen in Frage kommen, ist darauf zu achten, dass die erforderlichen Ressourcen (z. B. Kapital, Wissen) vorhanden sind.

Ein Instrument zur Koordination stellen auch Verträge dar. Sie sind beispielsweise bei der Wärmerückgewinnung von Bedeutung, wenn es darum geht, wie die Wärmerückgewinnung am öffentlichen Kanal zu regeln ist (sofern der Kanalbetreiber oder Eigentümer des Kanals nicht selbst Wärme zurückgewinnen möchte). Auch die Betriebsführung von dezentralen Anlagen (wie Grauwasserbehandlungsanlagen) kann über Verträge geregelt werden. Würde man den kommunalen Abwasserversorger dazu verpflichten, die Wärmerückgewinnung am Kanal selbst durchzuführen, spräche man von der abstrakten Koordinationsform Hierarchie.

Kommunale Pläne, welche oftmals eher informellen Charakter haben, können beispielsweise zur Koordination verschiedener Interessen genutzt werden. So kann eine Kommune durch die Erarbeitung und Veröffentlichung eines kommunalen Plans die angestrebte Nutzung von Wärmerückgewinnungspotenzialen oder Ressourceneinsparungen auf Ebene der gesamten Kommune aufzeigen. Diese Pläne können die Unsicherheit von Akteuren reduzieren, da Stakeholder aufbauend auf diesen Plänen ihre Geschäftsmodelle entsprechend ausrichten und für die Zukunft planen können.

Insbesondere der Akteur, der die Innovation vorantreibt („Innovationsführer“), sollte ein gezieltes Kooperationsmanagement als seine Aufgabe begreifen. Im Rahmen von Kooperationsmanagement wird die Zusammenarbeit zwischen den Akteuren bewusst gestaltet. Wie zuvor skizziert, können die institutionellen Arrangements zwischen verschiedenen Akteuren, die von der Innovation betroffen sind, proaktiv neu geordnet werden. Dazu sind neue Vorschläge für die Verteilung der Aufgaben zu entwickeln, die den anderen Akteuren (z. B. Bauherren, Hausbesitzern) vorgeschlagen werden. Für dieses Kooperationsmanagement wurden in den INIS-Projekten KREIS und netWORKS 3 Ansatzpunkte und Instrumente identifiziert. Dadurch lässt sich der Koordinationsaufwand verringern.

## Grundprinzipien des Kooperationsmanagements

Kooperation meint die Zusammenarbeit zwischen (autonomen) Akteuren aus Politik, Wirtschaft und Gesellschaft. Alle Partner verfolgen dabei auch eigene Ziele und übernehmen bestimmte Aufgaben. Diese Zusammenarbeit kann sich hinsichtlich Intensität, zeitlicher Dauer und Zielrichtung unterscheiden. Weitere Strukturmerkmale von Kooperationen sind deren Offenheit (Flexibilität) und die Qualität der Kommunikation bzw. Koordination zwischen den Akteuren.

Insbesondere jene Kooperationsverhältnisse, die für die neuartigen Wasserinfrastrukturen zentral sind, sollten durch den Partner, der die Innovation auf den Weg bringen möchte, gestützt werden. Dies kann dadurch geschehen, dass dieser Partner frühzeitig auf andere Akteure zugeht, über die Innovation und dabei entstehende neue Aufgaben informiert und dafür wirbt, die Zusammenarbeit gemeinsam weiterzuentwickeln. Zu seinen Aufgaben gehört auch, Vorschläge zu unterbreiten, wie veränderte Aufgaben angegangen werden sollten.

Die Erfordernisse von Kommunikation, Koordination und Zusammenarbeit sind in den verschiedenen Phasen des (lokalen) Transformationsprozesses durchaus unterschiedlich. Beispielsweise ist es für konkrete Vorhaben in Stadtquartieren angemessen, die folgenden Phasen zu unterscheiden:

- Planung (sowohl in Neubau- als auch in Konversionsgebieten; auch bei einer Transformation im Bestand ist ein entsprechender Prozess erforderlich),
- Realisierung (Umsetzung, Bau),
- Betrieb (Häuser, Infrastruktur),
- Bewertung gegen Ende des Lebenszyklus eines Quartiers (leitet gegebenenfalls in die nächste Planungs- und Lebensphase über).

Bei Erarbeitung und Auswahl von Vorschlägen für entsprechende institutionelle Arrangements ist immer zu bedenken, dass deren Realisierung für einige Akteure unter Umständen mit sehr hohem Aufwand verbunden sein kann (vgl. Ott 2016). Daher ist es immer erforderlich, diesen Aufwand und damit auch eventuelle Abstimmungskosten mit in den Blick zu nehmen. Entsprechend gilt es möglichst erfolgreich realisierbare und damit robuste Konstellationen zu identifizieren und zu realisieren. Koordinationsaufwand und Koordinationsformen sowie eventuell spezifische Formen der Zusammenarbeit sollten frühzeitig und unter besonderer Berücksichtigung dieser Phasen bewertet werden. Vor allem für die Umsetzungs- und die Betriebsphase ist es sinnvoll, auf diese Weise unterschiedliche Akteurskonstellationen zu betrachten.

Konstellationen, die die betrachteten Innovationen begünstigen, lassen sich vorab mit Hilfe von sog. Kooperationsmodellen identifizieren, wie sie beispielhaft die INIS-Projekte KREIS und netWORKS 3 entwickelt haben. Dabei wird danach gefragt, wie optimale institutionelle Arrangements aussehen könnten. Diese sollten an die Erfahrungen der verschiedenen Akteure anschließen und mit deren bestehender Praxis, also den jeweiligen Handlungsroutinen und ihrem „Alltag“, gut vereinbar sein. Die Verwirklichung der Ziele und Aufgaben sowie die Kompetenzen, Motive und Erwartungen von Kooperationspartnern sollten neben dem Koordinationsaufwand berücksichtigt werden.

Der Innovationsführer ist gut beraten, im Vorfeld der Innovation oder der Frühphase ihrer Umsetzung derartige Kooperationsmodelle zu erarbeiten; nach Möglichkeit sollte nicht nur ein Modell skizziert werden, sondern mehrere, um darauf aufbauend den optimalen Vorschlag vorzubereiten (vgl. Kerber et al. 2016). Diese Kooperationsmodelle haben zunächst eine heuristische Funktion; sie können auch dazu dienen, mögliche Betreiber- bzw. Betriebsmodelle zu identifizieren. Werden in diesen Modellen die Bedingungen vor Ort zugrunde gelegt, wird es in der Praxis meist nur wenige gangbare Konstellationen und sinnvolle technische Optionen geben (vgl. Kerber et al. 2016; Schramm et al. 2016).

## Instrumente zum Kooperationsmanagement

In den verschiedenen Phasen der Transformation kann auf unterschiedliche Instrumente zurückgegriffen werden; Kommunikationsinstrumente sind ebenso wie Koordinationsinstrumente einbezogen (vgl. Übersicht). Sowohl in der Umsetzungs- als auch in der Betriebsphase erlauben Vertragsbeziehungen ein höheres Maß an Flexibilität und Anpassungsfähigkeit an die konkreten Bedingungen und Interessen als ordnungsrechtliche Satzungen (vgl. Hanke 2016; Kerber et al. 2016). Für die Wohnungswirtschaft und die Betreiber der häuslichen Abwasserleitungen kann beispielsweise ein städtebaulicher Vertrag Orientierung bieten. Auch Zertifizierungen können eine Rolle spielen, insbesondere für Betriebe des Installationshandwerks, die der Wasserinfrastruktur-Betreiber nach Eignungsprüfungen der technisch-wissenschaftlichen Fachverbände oder eventuell auch der Hersteller zulässt (vgl. Schramm et al. 2016).

### Übersicht: Instrumente zum Kooperationsmanagement in den relevanten Transformationsphasen

Instrumente zum Kooperationsmanagement in der Planungsphase

- Frühzeitige informelle Absprachen
- Integrierte Planungsprozesse
- Beteiligung an Dialogen, Veranstaltungen und Netzwerken
- Frühzeitige Vorsondierung von Rollenerwartungen bzw. Vorschlägen zur Arbeitsteilung und deren Kommunikation mit den Partnern
- Städtebauliche Verträge oder Satzungen (Richtungssicherheit für Transformation häuslicher Infrastruktur)
- Aufbau neuer Geschäftsfelder

Instrumente zum Kooperationsmanagement in der Umsetzungsphase

- Frühzeitige Informationsveranstaltungen
- Einführung einer Innovationsgovernance (beim Innovator)
- Initiierung von Fortbildungsangeboten (z.B. für Handwerker, Planer, Architekten)
- Frühzeitige Erarbeitung eventueller Risikoteilungen (insbesondere Komplexitätsreduktion der sich entwickelnden Verantwortungsstrukturen)
- Frühzeitige Erarbeitung von (internen) technischen Normen

Instrumente zum Kooperationsmanagement in der Betriebsphase

- Adäquate Betriebsführungs- oder Betreibermodelle (eventuell auch auf häuslicher Ebene)
- Frühzeitige Erarbeitung und Erörterung von Tarifmodellen
- Eventuell Erhöhung technischer Redundanzen
- Optimiertes Störfall- und Havariemanagement
- Zertifizierung von Handwerkern via technisch-wissenschaftliche Fachverbände
- Dauerhafte Flankierung getroffener Absprachen mit Satzungen

Autorin und Autor:

Susanne Schön und Wolf Raber

Projekt: ROOF WATER-FARM

## H5

# Gebäudeintegrierte Lebensmittelproduktion unter Wiederverwendung von Abwasser: Umsetzungsstrategien für ROOF WATER-FARM-Konzepte

Welche Rahmenbedingungen und Hemmnisse bestehen für die Umsetzung von ROOF WATER-FARM-(RWF-)Konzepten in Berlin, und welche Umsetzungsstrategien können darauf aufbauend entwickelt werden?

Vom Innovationsprozess her betrachtet befinden sich RWF-Konzepte noch in der Pionierphase. RWF-Betreiber agieren damit in einem neuen politisch-rechtlichen, technisch-wirtschaftlichen, sozialen und professionellen Umfeld, in das sich RWF-Praktiken erst noch einfügen und dort etablieren müssen. Die Reibungen, die dabei zwangsläufig entstehen, sind produktive Ausgangspunkte für die Weiterentwicklung der RWF-Konzepte einerseits und die Anpassung etablierter Regelungen und Praktiken an die RWF-Erfordernisse andererseits.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist es wichtig, dass die RWF-Konzepte den Sprung in die nächste Innovationsphase, die Aufbruchphase, schaffen. In der folgenden Kartierung (siehe Abbildung 1) werden die hierfür notwendigen nächsten Schritte dargestellt: Den in der Mitte kartierten fünf strategischen Ansatzpunkten sind Elemente zugeordnet, die derzeit für die Umsetzung und Verbreitung von ROOF WATER-FARMen wichtig sind. Die Kartierung dient damit als Orientierung für alle Beteiligten, die ROOF WATER-FARMen voranbringen wollen.

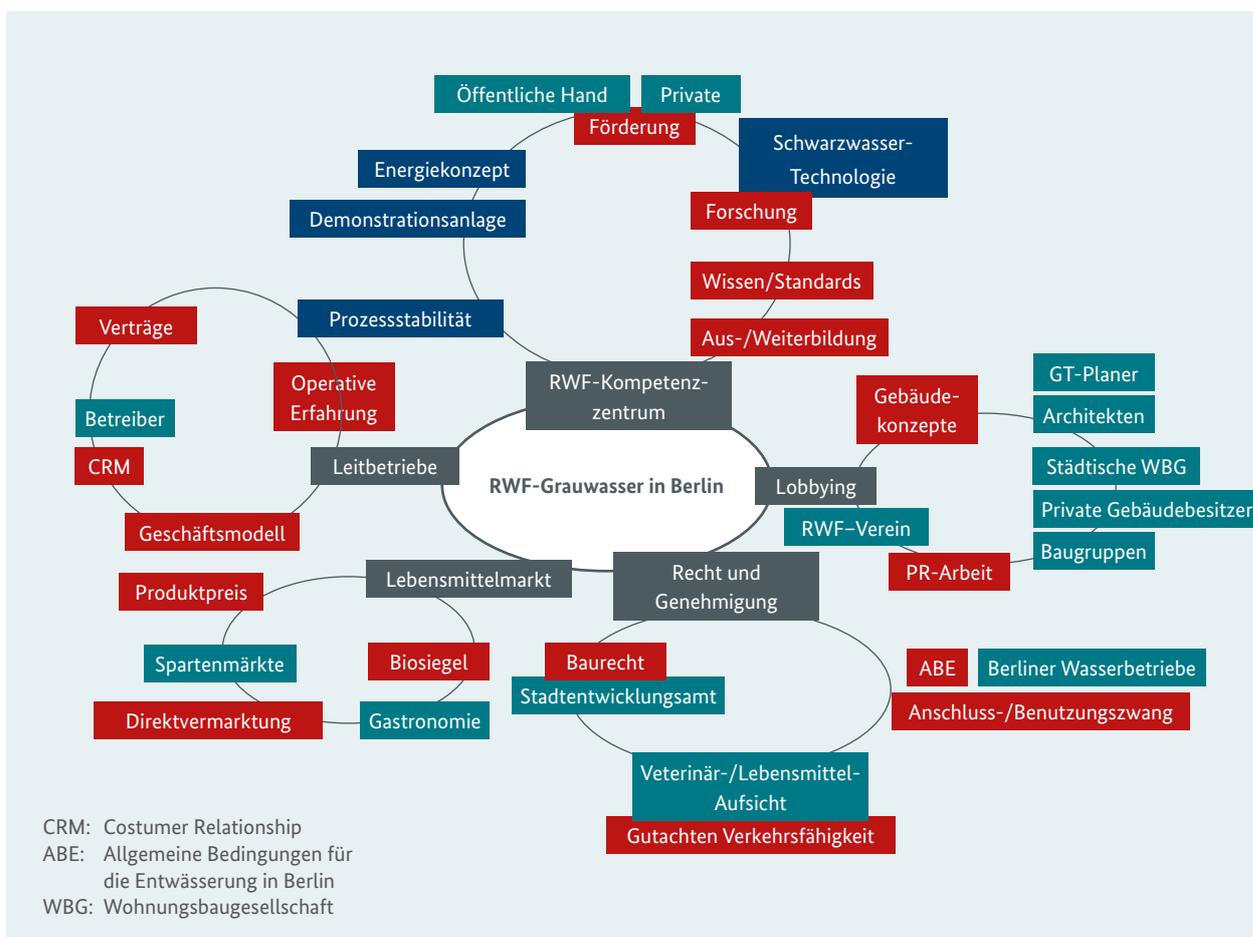


Abb. 1: Strategische Ansatzpunkte und Elemente für die Umsetzung und Verbreitung von ROOF WATER-FARM.  
Quelle: inter 3 GmbH – Institut für Ressourcenmanagement

Erster strategischer Ansatzpunkt sind **Leitbetriebe**: (Semi-)Professionelle Betreiber, die durch das Sammeln von Erfahrung und das Schritt-für-Schritt-Weiterentwickeln die Lösung einer ganzen Reihe von operativen Problemen vorantreiben. Technische Prozesse müssen mit ausreichender operativer Erfahrung unteretzt werden, so dass Prozessstabilität und verringerte Durchflussmengen keine operativen Probleme mehr darstellen. Diese Leitbetriebe müssen insbesondere funktionierende Geschäftsmodelle entwickeln und Kundenbeziehungen (CRM: Customer Relationship Management) aufbauen und regeln, sowohl in Betreiberverträgen mit den Gebäudeeigentümern als auch für die Vermarktung ihrer Lebensmittel. Ein aufnahmebereiter Lebensmittelmarkt ist nämlich Grundvoraussetzung für ein funktionsfähiges RWF-Geschäftsmodell.

Ein solcher aufnahmebereiter **Lebensmittelmarkt** ist der zweite strategische Ansatzpunkt für die Umsetzung und Verbreitung von RWF-Konzepten. Voraussetzung ist die Professionalisierung der RWF-Betriebe, um die Produktionskosten für die RWF-Lebensmittel zu senken. Sie sind dann vermutlich immer noch teurer als vergleichbare Waren im Hochpreissegment, aber nicht mehr unerschwinglich.

Dabei können insbesondere die allseits aus dem Boden sprießenden Spartenmärkte bedient werden: von veganen über verpackungsfreie bis zu regionalen Supermärkten. Auch auf Märkten kann Urban Food aus ROOF WATER-FARMen vermarktet werden, ergänzt durch die Direktvermarktung über Kisten, Abos und Lieferdienste. Darüber hinaus wäre die öffentlichkeitswirksame Belieferung „angesagter“ Restaurants hilfreich. Und schließlich sollten die ökologischen Anbauverbände auch für den bodenlosen Pflanzenanbau Richtlinien erarbeiten, um ein entsprechendes Biosiegel für RWF-Lebensmittel vergeben zu können.

Dritter strategischer Ansatzpunkt ist, dass es für alle Beteiligten **Klarheit über den rechtlichen Rahmen, die Genehmigungsvoraussetzungen und -abläufe** gibt. ROOF WATER-FARM-Konzepte treffen auf eine wohlwollende Öffentlichkeit und sind politisch durchaus gewollt. Stadtplanungämter und Bauaufsicht können sie als „städtebaulich vertretbare“ Ausnahme nach dem Baugesetzbuch genehmigen. Vergleichsweise heikler ist die Genehmigung des Inverkehrbringens von Lebensmitteln, die mit aufbereitetem Abwasser produziert wurden. Hierfür muss ein amtlich zugelassener Sachverständiger auf der Basis von Referenzstudien ein Gutachten erstellen, das die Verkehrsfähigkeit dieser Produkte bescheinigt. Ein solches Gutachten dient dann der bezirklichen Veterinär- und Lebensmittelaufsicht bzw. dem Landesamt für Gesundheit und Soziales (LaGeSo) als Genehmigungsgrundlage. Und schließlich muss perspektivisch noch gelöst werden, wie große RWF-Anlagen eine Ausnahmeregelung vom Anschluss- und Benutzungszwang erhalten können, der beispielsweise in den Allgemeinen Bedingungen für die Entwässerung in Berlin (ABE) vorgeschrieben ist. Solange es noch nicht viele Leitbetriebe gibt, stellen ROOF WATER-FARMen für die Berliner Wasserbetriebe noch kein nennenswertes Thema dar. Bei der angestrebten weiteren Verbreitung von RWF-Anlagen sollte hierfür perspektivisch eine Regelung getroffen werden; ROOF WATER-FARM-Konzepte sollten funktional in das städtische Entwässerungskonzept eingebunden werden.

**Lobbying-Aktivitäten** sind der vierte strategische Ansatzpunkt für die Umsetzung und Verbreitung von RWF-Konzepten. Hierfür müssen sich die RWF-Protagonisten und -Befürworter, wie z. B. Grauwasseranlagen-Hersteller, RWF-Betreiber, interessierte Planer und Architekten, Gastronomie und Lebensmittelvermarkter, auch einzelne Gebäudebesitzer, Akteure aus der Politik und Privatpersonen, zu einer Organisation bzw. einem Verein zusammenfinden, der sich zu einem Branchenverband weiterentwickeln könnte. Ein solcher Verein nutzt die weiterhin hohe öffentliche Aufmerksamkeit für RWF für eine offensive PR-Arbeit. Vor allem aber macht er Kontakte und informiert in Richtung potenzieller Investoren wie etwa Gebäudeeigentümer und Baugruppen und in Richtung der wichtigen Intermediäre wie etwa Architekten und Gebäudetechnikplaner. Denn die Umsetzung von RWF-Varianten ist immer noch voraussetzungsreich: Zweites Leitungsnetz, Wasseraufbereitungstechnik und Lastenaufzug sind massive Investitionen in die Gebäude-Infrastruktur, die nicht einfach wieder zurückgebaut werden können und einen langfristigen, rentablen Betrieb erfordern. Dafür müssen finanzstarke und innovationsaffine Investoren mit belastbaren Informationen und überzeugenden Konzepten angesprochen werden. Dies kann der Verein allerdings nicht alleine leisten.

Für ein wirkungsvolles „Capacity Development“ ist daher ein **ROOF WATER-FARM-Kompetenzzentrum** der fünfte strategische Ansatzpunkt. Hier könnten beispielsweise die Erfahrungen der Leitbetriebe zu belastbarem Wissen zusammengetragen, Standards entwickelt und eine Demonstrationsanlage betrieben werden. Letztere könnte sowohl der Öffentlichkeitsarbeit als auch der Aus- und Weiterbildung dienen und ließe sich für Forschungszwecke einsetzen. Hier könnte auch ein Energiekonzept entwickelt werden, das klar umreißt, unter welchen Bedingungen sich RWF-Anlagen energetisch und kostenmäßig tragen, so dass sie den Gebäudeeigentümern nicht den Gebäudepass nach Energieeinsparverordnung (EnEV) „verhageln“, und das bevorzugt Abwärmenutzungsvarianten empfiehlt. Ein solches RWF-Kompetenzzentrum benötigt zunächst noch finanzielle Unterstützung und könnte beispielsweise in einer Mischung aus öffentlicher Förderung, Stiftungszuschüssen, Mäzenatentum und Einnahmen aus Veranstaltungen und Weiterbildungen getragen werden.



Abb. 2: Akteure schauen in die Röhre. Quelle: inter 3 GmbH

Damit sind die wichtigsten strategischen Ansatzpunkte für die Umsetzung von ROOF WATER-FARM-Konzepten in Berlin – und darüber hinaus – umrissen und konkrete Maßnahmen genannt, die von unterschiedlichen Akteuren aufgegriffen und vorangetrieben werden können. Dabei ist es unerheblich, wer mit welchen Aktivitäten beginnt. Wichtig ist, dass der Innovationsprozess weiter dynamisch bleibt, dass immer irgendwo irgendetwas „passiert“ und vorangetrieben wird, dass das Thema in der professionellen und in der breiten Öffentlichkeit präsent bleibt. Dieser Überblick sollte dabei helfen, verschiedenen RWF-Interessenten und -Befürwortern mögliche aktuelle Betätigungsfelder aufzuzeigen, sie zu motivieren und zu aktivieren.

Detaillierte Informationen und weiterführende Publikationen sind auf der ROOF WATER-FARM-Website ([www.roofwaterfarm.com](http://www.roofwaterfarm.com)) zu finden.

#### Autorinnen:

Anja Steglich, Grit Bürgow,  
Angela Million und Gisela Prystav

**Projekt:** ROOF WATER-FARM  
(RWF)

#### Literatur:

Bürgow, G., A. Million und  
A. Steglich (2014):  
ROOF WATER-FARM.  
Frisches Wasser und frischer  
Fisch vom Dach bis zum Fluss,  
in: Stadt + Grün 7(2014),  
Themenheft „Flüsse und  
Gewässer in der Stadt“.

## H6

# Frisches Wasser und frischer Fisch vom Dach bis zum Fluss – Kommunikationsstrategien im Feld der gebäudeintegrierten Farmwirtschaft

Nicht sichtbare Wasserflüsse der Stadt, wie z. B. verrohrte Regen- und Abwasserflüsse, stellen eine der größten infrastrukturellen Herausforderungen des Jahrhunderts dar. Neben der Instandsetzung und Sanierung unterirdischer Leitungssysteme steht auch ein weitreichender Umbau von entsorgungsbasierten hin zu nutzungsorientierten, sektorübergreifenden Infrastrukturen an. Solche Umbauaktivitäten können nicht nur sichtbar und erlebbar für die städtischen Bewohner sein. Sie bieten Chancen, die Potenziale von Abwässern mehr als bisher zu nutzen, indem sie u. a. mit der Produktion von Lebensmitteln verbunden werden (vgl. Bürgow/Million/Steglich 2014).

In der ROOF WATER-FARM werden frische Nahrungsmittel mittels Hydroponik (wasserbasierte Pflanzenzucht) und Aquaponik (kombinierte Fisch- und Pflanzenzucht) im Stadtraum produziert und mit innovativen Methoden der Siedlungswasserwirtschaft – konkret der Grau- und Schwarzwasseraufbereitung – verbunden. Die innovative, gebäudeintegrierte Kombination von Wasseraufbereitung mit Fisch- und Pflanzenproduktion ist eine flächen- und ressourcenschonende Stadtgestaltungsstrategie, die das Flächenpotenzial von Dächern nutzt und räumliche Teilhabe und Ernährungssicherheit unterstützt. Die Entwicklung von Einzelverfahren und Verfahrenskombinationen ermöglicht eine orts- und nutzerspezifische Anwendbarkeit und zeigt Möglichkeiten der räumlichen Übertragbarkeit auf verschiedene Gebäudetypen und in verschiedene Quartiere. Wie kommuniziert man ein solches Transformationspotenzial des erlebbaren städtischen Raumes? Wer sind die Adressaten einer integrierten Infrastrukturentwicklung?



Abb. 1: Frischer Fisch vom Dach und in den Gewässern, Webkampagne des Projektes. Als blau-grüne Infrastrukturen im urbanen, verdichteten Kontext werden Wasserkreisläufe und Nahrungsproduktionsläufe in der Stadt nach Kreislaufprinzipien gestaltet, so dass frisches Wasser und frische Fische vom Dach bis zum Fließgewässer „geerntet“ werden können. Quelle: RWF, Foto: Marc Brinkmeier

## Bilder und Worte finden

Parallel zum Aufbau der Pilotanlage startete der Forschungsverbund seine Kommunikationsstrategie – gemeinsam mit professionellen Photographen, Graphik- und Webdesignern. Eine Online-Kampagne informiert über den Aufbau und die Entwicklung des Projektes. Hier werden Themenfelder angesprochen, die im Alltag potenzieller Nutzer verankert sind. Die Themenfelder „Stadt“, „Wasser“, „Infrastruktur“, „Menschen“ und „Produkte“ illustrieren die technologische Entwicklung und bilden die kommunikative Brücke zum Alltag potenzieller Nutzer und Akteure der RWF-Technologien. Ziel ist es, den Forschungsprozess transparent zu gestalten und so Interessenten und Nutzer frühzeitig einzubinden. Dieser prozessorientierte Kommunikationsansatz ermöglicht den Aufbau von Akteursnetzwerken, er wirbt um Akzeptanz für die Innovation und kann verschiedenste Fragen zu Technologieentwicklung, Stadtgestaltung und Infrastrukturumbau integrieren.

Herausforderungen, die mit integrierter Infrastrukturentwicklung verbunden sind, werden bildlich und sprachlich aufbereitet.

## Teilhabe von Anfang an

Die Durchsetzung des ROOF WATER-FARM-Konzeptes setzt nicht nur eine funktionierende Technologie voraus, sondern muss auch die Akzeptanz und die Bedarfe der potenziellen Betreiber, Nutzer oder auch Abnehmer (Stadtentwicklung, Investoren, Hauseigentümer, Siedlungswasserwirtschaft, urbane Farmer, Bewohnerschaft) treffen. Der Forschungsverbund ermöglicht es Interessenten und potenziellen Nutzern, die Technologien hautnah zu erleben, d.h., sie zu sehen, zu riechen und zu berühren. Die Pilotanlage ist – sofern es die Messungen zulassen – für die Öffentlichkeit zugänglich. Es werden saisonale Informationsveranstaltungen organisiert, die spezielle Zielgruppen der Forschung und Entwicklung einbeziehen.

Erfahrungen aus drei Jahren Forschungsbetrieb belegen den Erfolg dieser Strategie. Die Zahl der Führungen durch die Pilotanlage steigt stetig, und bisher kristallisiert sich ein erfreulich breites, fachübergreifendes und internationales Zielgruppenspektrum heraus. Bildungseinrichtungen von der Kita über Schulen bis zu Universitäten und Weiterbildungseinrichtungen, Vertreter aus Architektur, Stadt- und Technologieentwicklung, politische Interessenvertreter, Fachverbände und Fachnetzwerke besuchen die Pilotanlage und die spezifischen Informationsveranstaltungen regelmäßig. Das Projekt erfährt eine breite, internationale mediale Aufmerksamkeit, unterstützt nicht zuletzt durch die Berichterstattung seitens des Projektes in sozialen Netzwerken (Facebook) und die Beteiligung an überörtlichen Initiativen, wie dem Wissenschaftsjahr und den INIS-Netzwerktreffen. Diese Plattformen wurden in ihrer Multiplikatorfunktion intensiv genutzt.




www.roofwaterfarm.com  
<https://www.facebook.com/roofwaterfarm>

### Einladung zum Erdbeerfest!

Wir möchten Sie herzlich einladen, am 11. Juni ab 15.00 Uhr den Duft der Erdbeeren mit uns zu genießen!

Wir öffnen unsere Demonstrationsanlage im Innenhof der Bernburger Straße 22 in 10963 Berlin-Kreuzberg und ermöglichen eine Kostprobe unserer Forschung.

Folgen Sie mit uns dem „Betriebswasserfluss vom Rohr in die Grauwasseraufbereitung, in die Wels- und Karpfenzucht durch das Salat- und Erdbeerefeld ...“. Wir ermöglichen Ihnen einen Einblick in städtebauliche Fragestellungen rund um innerstädtische Wasseraufbereitung, Farmwirtschaft und Bewässerungsformen für Dachgewächshäuser.

15.00 Uhr Intro  
 16.00 - 18.00 Uhr Besichtigungen Betriebswasserhaus, Besichtigungen Wasserfarmgewächshaus  
 ab 18.00 Ausklang

Beste Grüße im Namen des gesamten Forschungsteams,  
 TU Berlin, Fachgebiet für Städtebau und Siedlungswesen (Projektkoordination).

Partner des






Abb. 2: Einladung zum saisonalen Erdbeerfest. Trotz Sturmwarnung besuchten etwa 250 Personen die Pilotanlage des Projektes.  
 Quelle: RWF, Foto: Marc Brinkmeier



Abb. 3: Screenshot der Berichterstattung in der Tagesschau zum Wissenschaftsjahr,  
URL: <http://www.tagesschau.de/inland/roof-water-farm-101.html> (Zugriff am 11.10.2016)



Abb. 4: ROOF WATER-FARM-Forschungsprojekt im deutsch-arabischen TV-Wissensmagazin „SciTech“,  
URL: <https://www.youtube.com/watch?v=TsMedPEuD6g>  
(Zugriff am 11.10.2016)

## Bildung und Ausbildung ermöglichen

Nicht nur die prozessbegleitende Einbindung von städtischen Akteuren, Entscheidungsträgern und Interessengruppen in das Projekt wird somit ermöglicht. Studierende und Schüler, Akademiker und Praktiker, aber auch sonstige Interessengruppen (etwa Urban Gardener) diskutieren medienübergreifend und entwickeln Visionen über die Anwendungsmöglichkeiten der Technologien. Konkret haben Studierende des Master Urban Design und des Master Stadt- und Regionalplanung an der TU Berlin im Wintersemester 2013/2014 für ein selbstgewähltes Gebäude die Anwendung von ROOF WATER-FARM-Konzepten erkundet und stadtgestalterische und nutzungsbezogene Veränderungen dargestellt. Dabei ging es darum, sich mit gebäudespezifischen Wasserflüssen auseinanderzusetzen, die täglichen und saisonalen Produkt- und Ressourcenflüsse zu fassen und die Verknüpfung der verschiedenen Lebensräume und Lebenswelten im Sinne von Co-Housing und Co-Working von Mensch, Fisch, Pflanze zu visualisieren. Vom Gebäude ausgehend sollte das Konzept dann in die Umgebung – in den Block, das Stadtquartier, den Fluss – „weitergestrickt“ werden.

Zu guter Letzt galt es Strategien der Vermittlung, Kommunikation und Beteiligung verschiedenster städtischer Akteure zu entwickeln, die eine Umsetzung und Bewirtschaftung von blau-grünen Infrastrukturen auf Gebäude- und Quartiersebene ermöglichen könnten (vgl. Bürgow/Million/Steglich 2014). Ferner haben Lehramtsstudierende für technische Fachrichtungen an Berufsschulen ROOF WATER-FARM-Technologien in einem Seminar studiert und pädagogische Aspekte in einem Filmprojekt aufgearbeitet. Im Frühjahr 2017 wird an der TU Berlin ein Massive Open Online Course (MOOC; deutsch: offener Massen-Online-Kurs) angeboten, der Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt weltweit für Studierende zugänglich macht.

Der Forschungsverbund integriert diese Erfahrungen in die Entwicklung und Veröffentlichung von Kommunikationsmedien für Planer, Entwickler (Gebäudepässe, Gebäudestudien, Netzwerkpläne) und Pädagogen. Die Beteiligung der Bevölkerung wird durch die Weiterführung der Online-Kampagne ermöglicht und soll perspektivisch weiter ausgebaut.

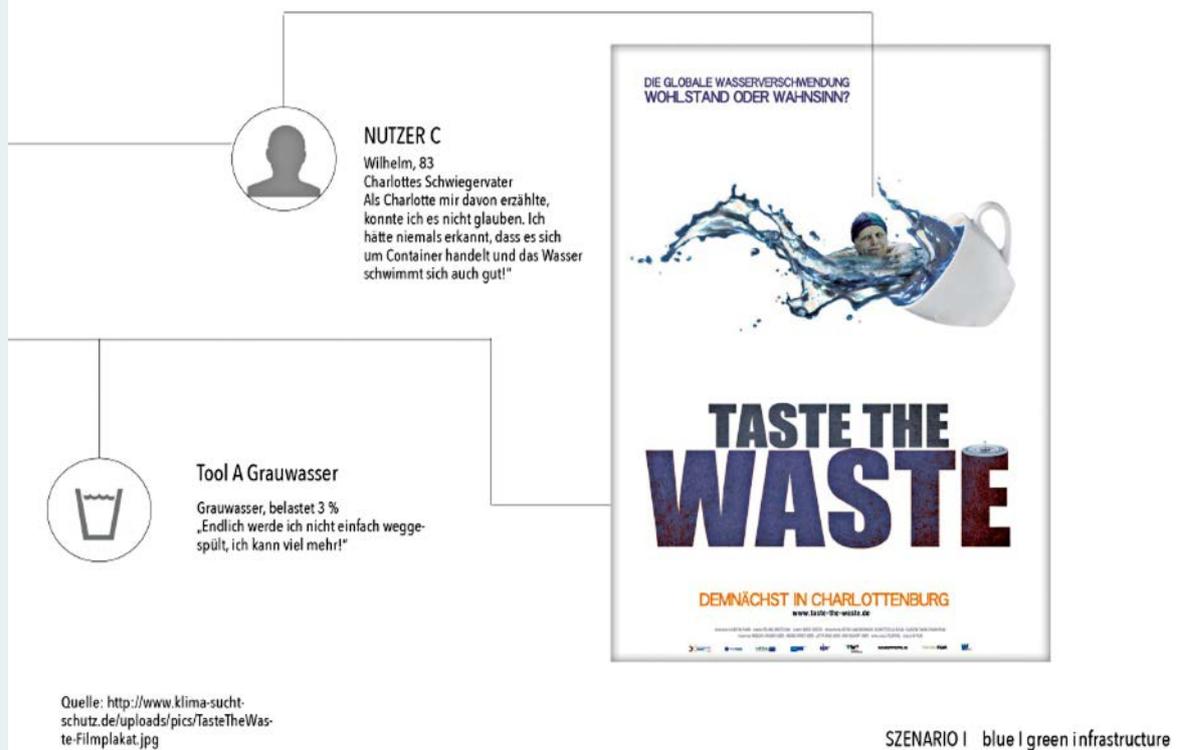


Abb. 5: Studentische Kampagne zur Grauwassernutzung in Charlottenburg, Arbeit im Rahmen des Kernseminars MA Urban Design.  
Quelle: RWF

**Autoren:**

Harald Breitenbach, Ralf Ehre  
und Robert Bellefontaine

**Projekt:** SinOptiKom

## H7

# Gebührenkalkulation: Zivilrechtliche und kalkulatorische Anpassungs- erfordernisse zur Einführung von neuartigen Sanitärsystemen

### Vorbemerkungen

Der Regelungsrahmen der Finanzierung kommunaler Wasserinfrastrukturen unterliegt dem Kommunalabgabenrecht und fällt in Deutschland in den Kompetenzbereich der Bundesländer. Die nachfolgende Darstellung bezieht sich auf das Landesrecht Rheinland-Pfalz. Träger der Abwasserbeseitigung sind die sogenannten Verbandsgemeinden, rechtlich selbstständige Gebietskörperschaften, die wiederum rechtlich selbstständige Ortsgemeinden umfassen. Abgabenrechtlich ergibt sich hieraus die Konsequenz, dass die Entgelte für die Abwasserentsorgung nicht auf Ebene der Ortsgemeinden, sondern für den gesamten Bereich einer Verbandsgemeinde kalkuliert und festgesetzt werden.

## Stoffstromtrennung mit Schwarzwasser-Ableitung zur Biogasanlage

Wird ein ressourcenorientiertes Konzept umgesetzt, sind zunächst innerhalb der Gebäude entsprechende Installationen vorzunehmen. Neben diesen Installationen in den Gebäuden sind Grauwasseraufbereitungsanlagen notwendig.

Umsetzungsregelungen, die den späteren Betrieb sicherstellen, sind hierbei unerlässlich. Eine zentrale Frage besteht hinsichtlich des Eigentums der speziellen Anlagen. Falls der einzelne Grundstückseigentümer auch das Eigentum an den Hausinstallationen zwingend erwerben muss, kann fraglich sein, ob und wie ein Zwang zur Separierung der Wasser- und Abwasserströme ausgesprochen werden kann. Unproblematisch wäre es wahrscheinlich, wenn der bestehende Ver- bzw. Entsorgungsträger, d. h. die Verbandsgemeinde, Eigentümer der Hausinstallationen wie auch der Brauchwasseraufbereitungsanlagen werden könnte. Außerhalb der Wasserwirtschaft gibt es vergleichbare Betreibermodelle z. B. in der Ausgestaltung sogenannter Contractingmodelle im Bereich der Energiewirtschaft.

### a) Kennzeichen von Contracting-Sachverhalten

Wärme-Contracting betrifft in der Regel die effizienzorientierte Modernisierung von Kunden-Heizungsanlagen durch einen Contractor. Dabei übernimmt der Contractor die Finanzierung und refinanziert sich darüber, dass er dem Kunden Heizleistungen in Rechnung stellt.

Darin zeigen sich einerseits die Reichweite von Contracting-Modellen und andererseits das Erfordernis der Zuordnung des Eigentums an den Contractor.

Die Reichweite erstreckt sich regelmäßig allein auf die zu modernisierende Wärmeerzeugungsanlage. Demgegenüber ist die Heizungsinstallation ohne besondere Bedeutung, zumal die (herkömmliche) Wärmezuleitung und -übertragung ohne weiteres auch mit einer modernisierten Erzeugungsanlage kompatibel ist.

Konstruktiv wird in Contracting-Fällen die modernisierte Wärmeerzeugungsanlage in Räumen realisiert, die vom Kunden angemietet werden. Dies ermöglicht es, die betreffende Anlage als Scheinbestandteil im Eigentum des Contractors zu realisieren und dadurch sowohl eine Sicherheitenunterlegung von Fremdfinanzierungen als auch eine Risikovorsorge im Insolvenzfall des Kunden zu schaffen. Eine Eigentumsübertragung der Hausinstallation wurde bisher in Wärme-Contracting-Sachverhalten nicht in Erwägung gezogen.



## b) Übertragung des Contracting-Sachverhalts auf grau- und schwarzwassergetrennte Abwasserentsorgung

Anders als das Contracting-Modell ist das ressourcenorientierte Konzept auf die Erneuerung der gesamten Hausinstallation (Trennung von Schwarz- und Grauwasser) angewiesen.

Soll auch das Eigentum an der Hausinstallation, das zunächst prima facie dem Grundstückseigentümer zusteht, dem abwasserbeseitigungspflichtigen Einrichtungsträger zugeordnet werden, sind die Grundsätze des Sachenrechts zu beachten, also auch das sachenrechtliche Publizitäts- oder Offenkundigkeitsprinzip. Danach muss eine dingliche (sachenrechtliche) Zuordnung jedem in der Rechtsordnung erkennbar sein. Dieses Erfordernis ist jedoch bei der Hausinstallation gerade wegen deren Einbaus in der tatsächlichen Sphäre des Kunden allenfalls eingeschränkt einzuhalten. Damit ist eine transparente Zuordnung zur Sphäre des Abwasserbeseitigungspflichtigen allenfalls eingeschränkt möglich.

Eine „Konstruktion“ von Eigentum an der Hausinstallation ist deshalb – wenn überhaupt – nur mit großem konstruktivem Aufwand möglich. Andererseits spielt für öffentlich-rechtliche Abwasserbeseitigungspflichtige die Funktion des Eigentums als Besicherungsgrundlage für Fremdfinanzierungen grundsätzlich keine Rolle.

## c) Relevanz des Eigentums für Entgeltkalkulation?

In die Kalkulation gehen insbesondere die Kapitalkosten in Form von kalkulatorischen Abschreibungen und Zinsen ein. Ein solcher Kostenansatz setzt allerdings nicht die rechtliche Eigentumszuordnung zum Abwassereinrichtungsträger voraus. Vielmehr reicht dafür eine wirtschaftliche Zuordnung, mit der ein Kalkulationsobjekt langfristig dem tatsächlichen Zugriff des Einrichtungsträgers unterliegt, aus.

Eine derartige wirtschaftliche Zuordnung wird in der Praxis in der allgemeinen Entwässerungssatzung abgrenzend vorgenommen.

Dabei ist nach Kalkulationszwecken zu unterscheiden:

### Kalkulation von Gebühren und Beiträgen

In Rheinland-Pfalz können unter anderem Aufwendungen für die erstmalige Herstellung und die Erneuerung von Grundstücksanschlüssen – allerdings räumlich beschränkt – im öffentlichen Verkehrsraum in Gebühren und Beiträge einbezogen werden (siehe § 13 Abs. 1 Satz 2 Kommunalabgabengesetz [KAG]). Wird insoweit die Grauwasseraufbereitungsanlage als Teil des Grundstücksanschlusses im öffentlichen Verkehrsraum installiert, könnte diese Anlage sogar über Gebühren oder (wiederkehrende) Beiträge finanziert werden. Probleme hinsichtlich des abgabenrechtlichen Äquivalenzprinzips ergeben sich dabei nur dann, wenn Grauwasseraufbereitungsanlagen nicht von jedem Anschlussnehmer verlangt werden.

### Erhebung von Grundstückskostenerstattungen

Soweit kein Einbezug in Gebühren oder Beiträge erfolgt, hat der Einrichtungsträger einen Anspruch auf Aufwendungsersatz für Grundstücksanschlüsse (§ 13 KAG). Dieser Kostenersatzanspruch setzt nicht voraus, dass der anspruchstellende Einrichtungsträger Eigentümer des Anschlusses ist. Äquivalenzprobleme können bei der Kostenerstattung nicht eintreten, da der Aufwendungsersatz nicht zu verteilen ist.

#### d) Sonstige Relevanz der Eigentumszuordnung?

Der Eigentümer einer Sache kann gemäß § 903 Satz 1 Bürgerliches Gesetzbuch (BGB) grundsätzlich nach Belieben verfahren und andere von jeder Einwirkung ausschließen. Das ist für den Betrieb und die Unterhaltung von Abwasseranlagen zweifelsohne zielführend. Derartige Einwirkungsmöglichkeiten können jedoch im für die Abwasserbeseitigung erforderlichen und sachdienlichen Rahmen auch ohne dezidierte Eigentumsposition bestehen. Hierzu können – quasi eigentumsbeschränkend – in der allgemeinen Abwassersatzung die für die Abwasserbeseitigung relevanten Eigenschaften des Grundstücksanschlusses vorgegeben werden (siehe auch § 58 Abs. 2 Landeswassergesetz [LWG]). Allerdings ist diese Einflussosphäre räumlich beschränkt auf den Grundstücksanschluss. Die Hausinstallation wird mithin nicht erfasst. Letztere hat jedoch bauordnungsrechtliche Maßgaben zu beachten (siehe § 40 Landesbauordnung [LBO]). Diesen Umstand kann sich wiederum der Abwassereinrichtungsträger zu eigen machen. Die Anschlussnahme an die öffentliche Abwasserbeseitigungsanlage setzt nämlich regelmäßig einen Genehmigungsantrag voraus.

Die Genehmigungsvoraussetzungen werden im Satzungsrecht vorgegeben. Dabei kann beispielsweise als Maßgabe vorgegeben werden, dass die Hausinstallation eine Trennung von Schwarz- und Grauwasser implementiert usw. Damit rückt das Genehmigungsverfahren in den Vordergrund. In diesem Verfahren kann sich der Einrichtungsträger auch die Unterlagen vorlegen lassen, die der Bauherr nach der Landesbauordnung und der Landesverordnung über Bauunterlagen und die bautechnische Prüfung vom 16.06.1987 beizubringen hat. Anhand dieser Unterlagen kann der Einrichtungsträger erkennen, ob die abwasserseitig in der allgemeinen Entwässerungssatzung geforderte Trennung von Schwarz- und Grauwasser ausgeführt wird. Ist das nicht der Fall, hat er die Anschlussgenehmigung zu versagen.

Als Fazit zu diesem Punkt kann festgehalten werden, dass eine Eigentumszuordnung durch funktionale Äquivalente adaptiert werden kann, also nicht zwingend ist.

#### e) Relevanz hinsichtlich der Grauwasseraufbereitungsanlage?

Die Grauwasseraufbereitungsanlage ist nicht zwingend grundstücksbezogen zu fordern. Vielmehr kann sie auch als dezentrale Abwasserbeseitigungsanlage konzipiert werden. Dies hat abgabenrechtliche Folgen. Als Teil der Abwasseranlage wird sie über Gebühren und Beiträge finanziert, anderenfalls kommt ein Aufwendungsersatz für den Grundstücksanschluss in Betracht (siehe bereits oben).

Unabhängig von der Frage nach dem Eigentum ergibt sich im Übrigen Änderungsbedarf im Bereich der Gebührenveranlagung. Falls die Anlagen dem Ver- bzw. Entsorgungsträger zugeordnet werden, ergibt sich für den Nutzer ein Vorteil dadurch, dass er durch die Grauwasseraufbereitung weniger Trinkwasser bezieht. Neben der Schmutzwasser- und der Niederschlagswasserentsorgung ergibt sich somit eine dritte separierte Teilleistung „Grauwasseraufbereitung“, für die eine neue eigenständige Gebühr ermittelt werden kann bzw. muss. Nur in dem umgekehrten Extremfall, dass nicht nur sämtliche Hausinstallationen, sondern auch alle Anlagen der Grauwasseraufbereitung dezentral im Eigentum der Grundstückseigentümer stehen, ergäbe sich kein Handlungsbedarf für die Gebühren, da letztlich dem Gebührenschuldner unverändert Trinkwasser zugeführt und Schwarzwasser abgeleitet wird. Die Kosten der Grauwasseraufbereitung einerseits und die Einsparung durch die verringerte Trinkwasserzufuhr andererseits wären in dieser Untervariante insofern „Privatsache“.

#### f) Fazit

Das Energie-Contracting weist verschiedentlich eine andere Struktur auf als die Komponenten des ressourcenorientierten Konzepts. Dies macht es schwierig, die Eigentumskonstruktionen des Contracting zu übertragen.

Andererseits konnte gezeigt werden, dass zur Eigentumslösung funktionelle Äquivalente ohne Eigentumskonstruktion gestaltet werden können.

In bestimmten Konstellationen wird die Einführung eines neuen Gebährentatbestands (Grauwasseraufbereitung) notwendig.

#### Autoren:

Martin Offermann,  
Clemens Strehl und Andreas Hein

Projekt: KURAS

## H8

# Ökonomische Wirkungspfade als Instrument zur Identifikation von finanziellen Anreizdefiziten im Rahmen der Regenwasserbewirtschaftung

Maßnahmen der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung finden aufgrund ihrer zahlreichen positiven Effekte und auf Basis des Grundsatzes der ortsnahen Bewirtschaftung (§ 55 Abs. 2 Wasserhaushaltsgesetz [WHG]) zunehmend Einzug im Rahmen der Entwicklung gesamtökologischer Stadtentwicklungskonzepte. Sie können auf Gebäude-, Quartiers- oder Einzugsgebietsebene umgesetzt werden und umfassen beispielsweise Maßnahmen wie Gebäudebegrünung, Entsiegelung, Versickerung, Regenwassernutzung, Reinigung oder Anlegen künstlicher Wasserflächen.

Im Zuge der Dezentralisierung der Regenwasserbewirtschaftung verschieben sich die Kosten- und Nutzenverhältnisse. Aufgrund der Limitation öffentlicher Grundstücke bedarf es gerade bei flächendeckenden Umsetzungsstrategien dezentraler Maßnahmen in Bestandsgebieten einer besonderen Berücksichtigung der Implementierungsanreize für private Grundstückseigentümer. Durch das Errichten dezentraler Anlagen auf privaten Grundstücken verlagert sich die Aufgabe der Abwasserbeseitigung nach und nach vom öffentlichen in den privaten Bereich. Damit sich dezentrale Maßnahmen in Bestandsgebieten erfolgreich realisieren lassen, ist es demnach essentiell, für alle beteiligten Akteure entsprechende Anreize zur Umsetzung solcher Maßnahmen zu schaffen. Eine mögliche Methode, mit der sich etwaige Anreizdefizite transparent darstellen lassen, ist die im INIS-Verbundforschungsprojekt KURAS entwickelte und angewendete ökonomische Wirkungspfadanalyse.

KURAS entwickelte am Beispiel zweier Berliner Stadtquartiere in Pankow und Tempelhof-Schöneberg Maßnahmenkombinationen der Regenwasserbewirtschaftung mit erhöhtem Nutzen für Bewohnerschaft und Umwelt. Durch das Umsetzen der geplanten Maßnahmen konnten u. a. positive Effekte auf Biodiversität, Grundwasser, Oberflächengewässer, Stadtklima, Freiraumqualität sowie ein Nutzen auf Gebäudeebene aufgezeigt werden. Darüber hinaus wurden die Träger von Maßnahmenkosten ermittelt und die Zahlungsflüsse zwischen den beteiligten Akteuren durch eine sog. ökonomische Wirkungspfadanalyse im Detail ausgewertet. Die durch die Umsetzung von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen ausgelösten finanziellen Mehr- oder Minderbelastungen für verschiedene betroffene Akteure wurden qualitativ und quantitativ zugeordnet.

Zu den sich verändernden Kostenstrukturen zählen z. B. zusätzliche Investitionen in Maßnahmen, veränderte Betriebskosten der (bestehenden oder angepassten) zentralen und (neuen) dezentralen Infrastruktur sowie teilweise reduzierte Niederschlagswasserentgelte. Im Ergebnis erhöht die Wirkungspfadanalyse deutlich die Transparenz mit Blick auf bestehende Mechanismen der Finanzierung und Umlagefähigkeit im Bereich der Regenwasserbewirtschaftung. Ausgehend von der

ökonomischen Analyse konnten in den untersuchten Stadtquartieren finanzielle Anreizdefizite identifiziert (Verknüpfung der Zahlungsströme) und quantifiziert (Quantifizierung der Zahlungsströme) werden, welche aus Sicht verschiedener Akteursgruppen der Umsetzung geplanter Maßnahmen entgegenstehen. Die Analyse dieser Anreizdefizite mithilfe der ökonomischen Wirkungspfade kann allgemein in fünf Schritte unterteilt werden:

## Selektion beteiligter Akteure

Die Basis der ökonomischen Wirkungspfadanalyse bildet die Identifikation maßgeblich betroffener Akteure. Manche Akteure werden dabei je nach Einzelfall variieren. Als wiederkehrende Akteure wurden ermittelt:

- der Abwasserbeseitigungspflichtige, welcher die Aufgaben der Abwasserbeseitigung und somit auch der Regenwasserbewirtschaftung wahrnimmt,
- der Straßenbaulastträger (Kommune, Landkreis, Land oder Bund), welcher in der Regel die Kosten der Straßenentwässerung zu tragen hat,
- der Grundstückseigentümer (oder Erbbauberechtigte), welcher als Kunde des Abwasserbeseitigungspflichtigen bei Inanspruchnahme von Entwässerungsleistungen die Kosten der Grundstücksentwässerung zu tragen hat,
- der Mieter, welcher bei Bestehen eines Mietverhältnisses anteilig die Kosten der Grundstücksentwässerung gemäß der Betriebskostenabrechnung zu übernehmen hat,
- der Drittmittelgeber, welcher beispielsweise durch Zuschüsse die effektiven Herstellungskosten der Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahme senkt.

## Analyse rechtlicher Zusammenhänge und Pflichten

Ausgehend von der Selektion beteiligter Akteure wird eine ausgiebige Recherche zu Gesetzen und Rechtsvorschriften sowie sonstigen vertraglichen Vereinbarungen und Dokumenten auf Bundes-, Landes- und Kommunalebene durchgeführt. Ziel ist es, Informationen zu betroffenen Akteuren sowie zur Kostenträgerschaft der

einzelnen Akteure zusammenzutragen. Relevante Zusammenhänge auf Bundesebene lassen sich dabei u. a. im Wasserhaushaltsgesetz, Abwasserabgabengesetz, Bundesfernstraßengesetz, Baugesetzbuch, Bürgerlichen Gesetzbuch und der Betriebskostenverordnung finden.

## Konstruktion von Wirkungspfaden

Um Wirkungspfade zu konstruieren, werden zunächst – ausgehend von der Umsetzung einer Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahme – die direkten Kosten ermittelt, welche in Verbindung mit Bau, Betrieb und Instandhaltung der Maßnahme stehen. Im nächsten Schritt werden alle Zahlungsströme zwischen Akteuren abgebildet, die als Folge der Implementierung ausgelöst werden.

Entsprechend der unterschiedlichen Kostenträger kann zumeist zwischen zwei Wirkungspfaden differenziert werden: zum einen dem Wirkungspfad der Umsetzung von dezentralen Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen auf Grundstücksebene, zum anderen dem Wirkungspfad der Umsetzung von zentralen oder dezentralen Maßnahmen auf Quartiers- bzw. Einzugsgebietsebene (z. B. im öffentlichen Straßenraum). Ersterer sei anhand eines Beispiels verdeutlicht (siehe Abbildung 1).

## Identifikation von Anreizdefiziten

Anschließend an die Konstruktion der Wirkungspfade können unter Berücksichtigung der positiven Effekte der Maßnahmen Anreizdefizite identifiziert werden. Defizite werden in diesem Zusammenhang als Missverhältnis von Kosten- und Nutzenträgerschaft definiert, wobei nicht nur monetäre Nutzen gemeint sind (Grundgedanke des Verursacherprinzips – wer zahlt und wer profitiert?). Auch wenn sich Nutzen nicht ohne weiteres (z. B. über eine Monetarisierung) abwägen lassen, so ist zumindest eine qualitative Abschätzung der größten Missverhältnisse möglich.

## Analyse geeigneter Anreizinstrumente

Der letzte Schritt ist eine Analyse und Auswahl geeigneter Anreizinstrumente. Welche Anreizinstrumente geeignet sind, um bestimmten Anreizdefiziten entgegenzuwirken, hängt stark vom Einzelfall ab. Dabei sind nicht nur Finanzierungsinstrumente (monetäre Anreize) zu berücksichtigen. Auch regulatorische Anreize wie die Festsetzung von Maßnahmen im Bebauungsplan oder informatorische Instrumente wie die Aufklärung über positive Effekte der Maßnahmen können Verständnis und wirkungsvolle Anreize schaffen.

Die ökonomische Wirkungspfadanalyse macht es möglich, schon durch eine rein qualitative Darstellung der Zahlungsströme Anreizdefizite abzuleiten. Sie hat sich als ein erfolgreiches Hilfsmittel erwiesen, um die finanziellen Belastungen verschiedener Akteure transparent zu machen. Die Zahlungsströme zu quantifizieren kann zudem helfen, geeignete Finanzierungsinstrumente in entsprechender Höhe (z. B. Investitionszuschüsse) auszuwählen.

Bezogen auf das Beispiel der Grundstücksentwässerung sind zurzeit maßgebliche Anreizdefizite für jene private Grundstückseigentümer vorhanden, welche die Immobilie vermieten und nicht selbst bewohnen. Zum einen kann der Vermieter in diesem Fall nicht von den direkten Nutzen (verbessertes Mikroklima, Ästhetik, Betriebskosteneinsparung usw.) der umgesetzten Maßnahmen profitieren, zum anderen trägt er im Regelfall den Großteil der Kosten (Bau- und Instandhaltungskosten).

Anreizdefizite individuell zu prüfen, ist jedoch sinnvoll, da sich die potenziellen finanziellen Vorteile dezentraler Maßnahmen nicht pauschal abschätzen lassen. In Bestandsgebieten ist beispielsweise von Interesse, ob dezentrale Maßnahmen die bestehende zentrale Abwasserinfrastruktur substituieren oder punktuell ergänzen. So kann es teilweise zu erheblichen Unterschieden bei der Anreiz- und Interessenlage kommen, je nachdem, ob Neubaugebiete oder Bestandsgebiete betrachtet werden.

## Beispiel: Ökonomischer Wirkungspfad auf Grundstücksebene

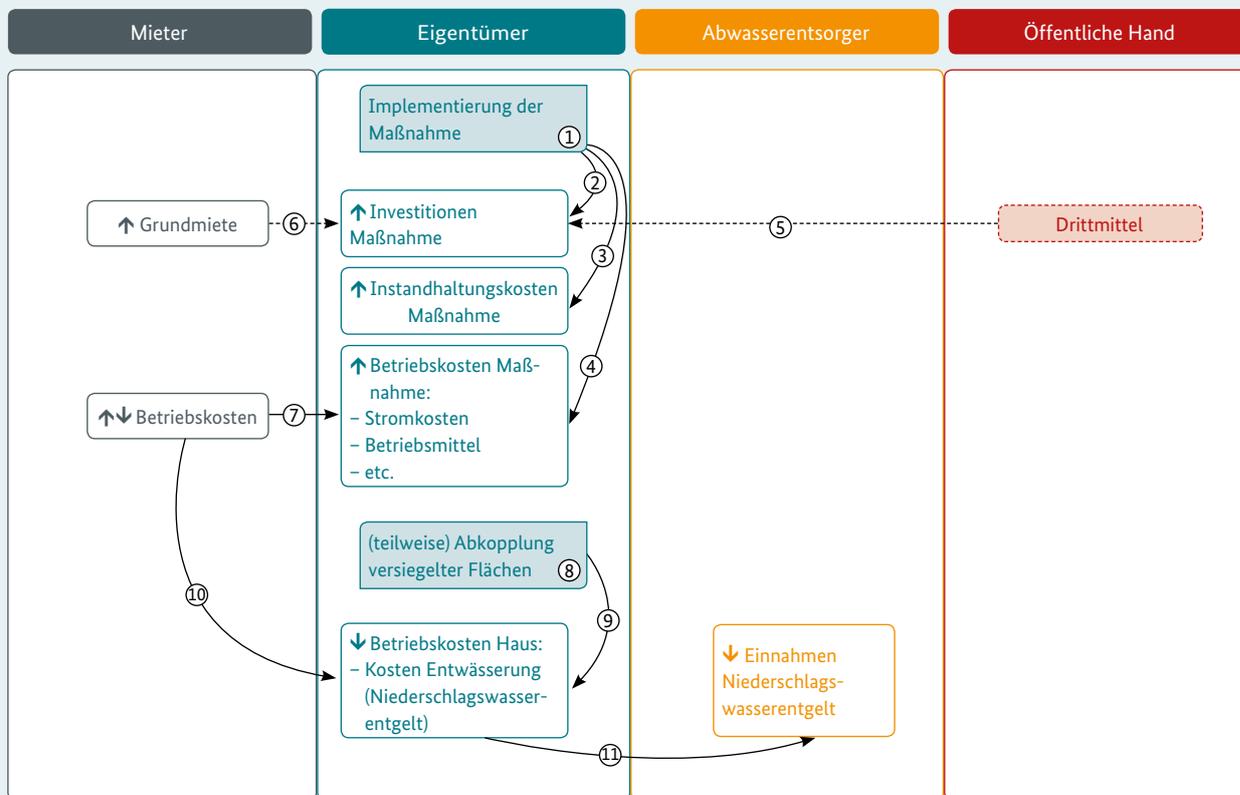


Abb. 1: Ökonomischer Wirkungspfad auf Grundstücksebene – Pfeile zwischen den Elementen geben die Richtung des Zahlungsflusses an, Pfeile innerhalb der Elemente, ob die Zahlungen durch die Umsetzung einer Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahme steigen oder sinken.  
Quelle: Eigene Darstellung.

Ausgangspunkt des Wirkungspfad ist die Umsetzung einer dezentralen Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahme auf einem Grundstück (1). Für Bau, Betrieb und Instandhaltung der Maßnahme fallen Kosten an, welche zunächst vom Grundstückseigentümer zu tragen sind (2, 3, 4). Die effektiven Baukosten der Maßnahme können bei Inanspruchnahme bestehender Zuschüsse oder zinsvergünstigter Darlehen von Drittmittelgebern reduziert werden (5).

Besteht ein Mietverhältnis, so ist der Grundstückseigentümer in seiner Rolle als Vermieter dazu berechtigt, gemäß § 559 BGB bei Modernisierungsmaßnahmen die jährliche Miete um elf Prozent der für die Wohnung aufgewendeten Kosten zu erhöhen (6). Jedoch gelten die meisten Maßnahmen in der Regel nicht als Modernisierungsmaßnahmen. Die Betriebskosten der Maßnahme kann der Vermieter gemäß § 1 BetrKV im Rahmen der Betriebskostenabrechnung auf den Mieter umlegen (7).

Kosten für Instandhaltungsmaßnahmen sind gemäß § 1 BetrKV in allen Fällen vom Vermieter selbst zu tragen.

Bei einer gesplitteten Abwassergebühr verringert sich in der Regel bei nachweislicher Reduktion der abflusswirksamen Fläche (8) auch das zu zahlende Niederschlagswasserentgelt (9). Da das Niederschlagswasserentgelt wiederum zu den Betriebskosten zählt, wird dieser monetäre Nutzen direkt über die Betriebskostenabrechnung an die Mieter weitergegeben (10).

Die Reduktion des zu zahlenden Niederschlagswasserentgelts stellt wiederum Einnahmeeinbußen auf Seiten des Entsorgungsunternehmens dar (11). Bei großflächigen Abkopplungen würde dies aufgrund der hohen Fixkosten zu einer Abwälzung der Kosten auf die verbleibenden Tarifkunden führen.



Anhang

# Anhang

Hier eine Übersicht über die 13 Verbundprojekte, deren Ansprechpersonen und entsprechende Kontaktinformationen. Es werden auch die Beiträge des jeweiligen Projekts zu diesem Handbuch aufgeführt.

## Forschungsverbund EDIT – Entwicklung und Implementierung eines Anreicherungs- und Detektionssystems für das Inline-Monitoring von wasserbürtigen Pathogenen in Trink- und Rohwasser

[www.ufz.de/index.php?de=32485](http://www.ufz.de/index.php?de=32485)

*Projektkoordination*

**Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ**

Department Aquatische Ökosystemanalyse und Management

Brückstraße 3a | 39114 Magdeburg

Dr. Daniel Karthe

[daniel.karthe@ufz.de](mailto:daniel.karthe@ufz.de)

- B1 Klimawandel und demografischer Wandel:  
Potenzielle Gefährdungen für die Trinkwasserhygiene von morgen
- C2 Innovative Hygieneüberwachung von Roh- und Trinkwasser

## Forschungsverbund KREIS – Kopplung von regenerativer Energiegewinnung mit innovativer Stadtentwässerung

[www.kreis-jenfeld.de](http://www.kreis-jenfeld.de)

*Projektkoordination*

**Bauhaus-Universität Weimar**

Professur Siedlungswasserwirtschaft

Coudraystraße 7 | 99423 Weimar

Prof. Dr.-Ing. Jörg Londong

Tel.: +49 3643 58 46 15

[joerg.londong@uni-weimar.de](mailto:joerg.londong@uni-weimar.de)

Hamburger Städtentwässerung AöR

Abteilung Technologieentwicklung

Billhorner Deich 2 | 20539 Hamburg

Dr. Kim Augustin

+49 40 788 88 26 00

[kim.augustin@hamburgwasser.de](mailto:kim.augustin@hamburgwasser.de)

- D3 Stoffliche und energetische Nutzung der Teilströme in KREIS und ihre Umsetzung im Stadtquartier Jenfelder Au
- D9 Probleme und Stolpersteine beim Umsetzen neuartiger Wasserinfrastrukturen: Diskrepanzen zwischen Theorie und Praxis
- E7 Vergleich neuartiger und konventioneller Wasserinfrastruktur unter Einbindung von Stakeholdern – Erfahrungen aus den Projekten KREIS und TWIST++
- G9 Transformationsraum IBA: Möglichkeitsraum zur Erprobung innovativer Ansätze integrierter Infrastrukturentwicklung

### Forschungsverbund KURAS – Konzepte für urbane Regenwasserbewirtschaftung und Abwassersysteme

[www.kuras-projekt.de](http://www.kuras-projekt.de)

*Projektkoordination*

#### Technische Universität Berlin

FG Fluidsystemdynamik, Sekr. K2  
 Straße des 17. Juni 135 | 10623 Berlin  
 Prof. Dr.-Ing. Paul Uwe Thamsen  
 Tel.: +49 30 31 42 52 62  
[paul-uwe.thamsen@tu-berlin.de](mailto:paul-uwe.thamsen@tu-berlin.de)

#### Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH

Cicerostraße 24 | 10709 Berlin  
 Dr. Andreas Matzinger  
 Tel.: +49 30 53 65 38 24  
[andreas.matzinger@kompetenz-wasser.de](mailto:andreas.matzinger@kompetenz-wasser.de)

- B3 Klima- und Demografieszzenarien für die urbane Abwasserentsorgung
- C4 Aktuelle Herausforderungen beim Abwassertransport
- C5 Entwicklung und Bewertung von Maßnahmen zur Anpassung der urbanen Abwasserinfrastruktur an die Zukunft
- E9 Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung – Umfassende Bewertung als Entscheidungshilfe
- G1 Städtebauliche Handlungsoptionen zur Anpassung an Auswirkungen von Überflutung und Trockenheit im urbanen Raum
- G2 Straßenbäume in Versickerungsrigolen: Neue Wege der Regenwasserbewirtschaftung
- H8 Ökonomische Wirkungspfade als Instrument zur Identifikation von finanziellen Anreizdefiziten im Rahmen der Regenwasserbewirtschaftung

### Forschungsverbund NaCoSi – Nachhaltigkeitscontrolling siedlungswasserwirtschaftlicher Systeme – Risikoprofil und Steuerungsinstrumente

[www.nacoside.de](http://www.nacoside.de)

*Projektkoordination*

#### Technische Universität Darmstadt, Institut IWAR

FG Wasserversorgung und Grundwasserschutz  
 Franziska-Braun-Straße 7 | 64287 Darmstadt

Prof. Dipl.-Ing. Dr. nat. techn. Wilhelm Urban  
 Tel.: +49 6151 162 08 05  
[w.urban@iwar.tu-darmstadt.de](mailto:w.urban@iwar.tu-darmstadt.de)

Dr. Alexander Sonnenburg  
 Tel.: +49 6151 162 08 06  
[a.sonnenburg@iwar.tu-darmstadt.de](mailto:a.sonnenburg@iwar.tu-darmstadt.de)

- E2 Nachhaltigkeitsrisiken – Gefährdung von Zielen der Siedlungswasserwirtschaft durch vielfältige Herausforderungen
- E4 Risikoidentifikation – Wirkungspfadkonzept zur systematischen Erfassung von Nachhaltigkeitsrisiken der Siedlungswasserwirtschaft
- E6 Methodische Ansätze zur Datenauswertung und Datenvisualisierung im NaCoSi-Nachhaltigkeitscontrolling
- E8 Maßnahmen zur Bewältigung von Nachhaltigkeitsrisiken: Entwicklung mithilfe von szenariobasierten Planspielen

**Forschungsverbund NAWAK – Entwicklung nachhaltiger Anpassungsstrategien für die Infrastrukturen der Wasserwirtschaft unter den Bedingungen des klimatischen und demografischen Wandels**

[www.oowv.de/wissen/wasserschutz/projekte/informationen-zum-projekt-nawak/](http://www.oowv.de/wissen/wasserschutz/projekte/informationen-zum-projekt-nawak/)

*Projektkoordination*

**Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH**

Theodor-Heuss-Straße 4 | 38122 Braunschweig

Dr. Jens Wolf

Tel.: +49 531 801 22 28

[jens.wolf@grs.de](mailto:jens.wolf@grs.de)

- B2 Klimawandel, demografischer Wandel und Auswirkungen auf Wasserressourcen
- F1 NAWAK-PIT: Ein Planungstool zur Ableitung von Anpassungsstrategien für die Wasserwirtschaft

**Forschungsverbund netWORKS 3 – Intelligente wasserwirtschaftliche Systemlösungen in Frankfurt am Main und Hamburg**

[www.networks-group.de](http://www.networks-group.de)

*Projektkoordination*

**ISOE – Institut für sozial-ökologische Forschung**

Hamburger Allee 45 | 60486 Frankfurt am Main

Dr.-Ing. Martina Winker

Tel.: +49 69 707 69 19 53

[winker@isoe.de](mailto:winker@isoe.de)

- D9 Probleme und Stolpersteine beim Umsetzen neuartiger Wasserinfrastrukturen: Diskrepanzen zwischen Theorie und Praxis
- D10 Abhängigkeiten und Interdependenzen von Siedlungs- und Baustruktur mit der Wasser- und Energieinfrastruktur
- E3 Bewertungsrahmen und -kriterien für die integrierte Bewertung neuartiger Wasserinfrastrukturen
- G7 Transformationsräume in der Stadt – erkennen und nutzen
- H1 Neuartige Sanitärsysteme – Alltagserfahrungen und Anforderungen von Nutzenden
- H3 Strategieoptionen und Rolle der Unternehmen in der Transformation
- H4 Kooperationsmanagement

**Forschungsverbund nidA200 – Nachhaltiges, innovatives und dezentrales Abwasserreinigungssystem inklusive der Mitbehandlung des Biomülls auf Basis alternativer Sanitärkonzepte**

[www.limnosun.de/projekte](http://www.limnosun.de/projekte)

*Projektkoordination*

**LimnoSun GmbH**

Eickhorster Straße 3 | 32479 Hille

Dr. Niels Christian Holm

Tel.: +49 5703 515 54 23

[holm@limnosun.de](mailto:holm@limnosun.de)

- D6 Grauwasserbehandlung mit der Algenpilotanlage

**Forschungsverbund NoNitriNox – Planung und Betrieb von ressourcen- und energieeffizienten Kläranlagen mit gezielter Vermeidung umweltgefährdender Emissionen**

[www.bmbf.nawam-inis.de/inis-projekte/nonitrinox](http://www.bmbf.nawam-inis.de/inis-projekte/nonitrinox)

*Projektkoordination*

**ifak – Institut für Automation und Kommunikation e.V.**

Werner-Heisenberg-Straße 1 | 39106 Magdeburg

Dr. Jens Alex

Tel.: +49 391 990 14 69

[jens.alex@ifak.eu](mailto:jens.alex@ifak.eu)

- C7 Betrieb von energieeffizienten Kläranlagen mit gezielter Vermeidung umweltgefährdender Emissionen
- F3 Integrierte Simulationswerkzeuge zur Planung intelligenter Abwasserinfrastruktur

**Forschungsverbund ROOF WATER-FARM –  
Sektorübergreifende Wasserressourcennutzung durch  
gebäudeintegrierte Landwirtschaft**

www.roofwaterfarm.com

*Projektkoordination*

**Technische Universität Berlin, Institut für Stadt- und  
Regionalplanung**

FG Städtebau und Siedlungswesen, Sekr. B9

Hardenbergstraße 40a | 10623 Berlin

Prof. Dr.-Ing. Angela Million (geb. Uttke)

Tel.: +49 30 31 42 81 01

a.million@isr.tu-berlin.de

- D4 Entwicklung, Aufbau und Betrieb einer Pilotanlage zur Herstellung von Flüssigdünger aus Schwarzwasser
- D5 Die getrennte Erfassung von Grauwasser – ein Weg zu mehr Ressourceneffizienz in der Siedlungswasserwirtschaft
- D7 Integrierte Systemlösungen: Wenn aus häuslichen und fischereibetrieblichen Abwässern wertvolle städtische Nahrungsmittel werden
- G5 Netzwerkpläne als kommunikatives Medium und Entscheidungshilfe für integrierte Infrastrukturgestaltung im Quartier
- G6 Anwendung der ROOF WATER-FARM- Technologien auf der Gebäudeebene für eine integrierte Infrastrukturgestaltung im Quartier
- G9 Transformationsraum IBA: Möglichkeitsraum zur Erprobung innovativer Ansätze integrierter Infrastrukturentwicklung
- H5 Gebäudeintegrierte Lebensmittelproduktion unter Wiederverwendung von Abwasser: Umsetzungsstrategien für ROOF WATER-FARM-Konzepte
- H6 Frisches Wasser und frischer Fisch vom Dach bis zum Fluss – Kommunikationsstrategien im Feld der gebäudeintegrierten Landwirtschaft

**Forschungsverbund SAMUWA – Die Stadt als hydrologisches  
System im Wandel – Schritte zu einem anpassungsfähigen  
Management des urbanen Wasserhaushalts**

www.samuwa.de

*Projektkoordination*

**Universität Stuttgart**

Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte-

und Abfallwirtschaft

Bandtäle 2 | 70569 Stuttgart

Dr.-Ing. Ulrich Dittmer

Tel.: +49 711 68569350

ulrich.dittmer@iswa.uni-stuttgart.de

M.Sc. Anna Bachmann

Tel.: +49 711 68 56 57 88

anna.bachmann@iswa.uni-stuttgart.de

- C3 Kanalnetzsteuerung zur Reduzierung der Gewässerbelastung durch Regenabflüsse
- G3 Vom Generalentwässerungsplan zum Wasserleitplan: Entwicklung integrierter Maßnahmen- und Gestaltungskonzepte
- G4 Zu einer Kultur der Kooperation: Wie können Siedlungswasserwirtschaft und Stadtentwicklung intensiver zusammenarbeiten?

**Forschungsverbund SinOptiKom – Sektorübergreifende Prozessoptimierung in der Transformation kommunaler Infrastrukturen im ländlichen Raum**

[www.sinoptikom.de](http://www.sinoptikom.de)

*Projektkoordination*

**Technische Universität Kaiserslautern**

FG Siedlungswasserwirtschaft

Postfach 3049 | 67653 Kaiserslautern

Prof. Dr.-Ing. Theo G. Schmitt

Tel.: +49 631 205 29 46

[theo.schmitt@bauing.uni-kl.de](mailto:theo.schmitt@bauing.uni-kl.de)

- B4 Wasserinfrastruktur und demografischer Wandel: Folgen im ländlichen Raum
- D1 Interaktionen zwischen Wasserwirtschaft und Energiesektor
- E5 Multikriterielle mathematische Optimierung
- F8 Intelligente Szenario-Generierung zur Visualisierung von optimierten Transformationsprozessen
- G8 Demografische und siedlungsstrukturelle Transformationsräume in ländlichen Siedlungen identifizieren und bewerten
- H7 Gebührenkalkulation: Zivilrechtliche und kalkulatorische Anpassungserfordernisse zur Einführung von neuartigen Sanitärsystemen

**Forschungsverbund SYNOPSE – Synthetische Niederschlagszeitreihen für die optimale Planung und den Betrieb von Stadtentwässerungssystemen**

[www.bmbf.nawam-inis.de/inis-projekte/synopse](http://www.bmbf.nawam-inis.de/inis-projekte/synopse)

*Projektkoordination*

**Leibniz Universität Hannover**

Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft

Appelstraße 9a | 30167 Hannover

Prof. U. Haberlandt

Tel.: +49 511 762 22 37

[haberlandt@iww.uni-hannover.de](mailto:haberlandt@iww.uni-hannover.de)

Dr.-Ing. Dipl.-Hydrol. Hannes Müller

Tel.: +49 511 762 37 29

[mueller@iww.uni-hannover.de](mailto:mueller@iww.uni-hannover.de)

- F2 Synthetische Niederschlagsmodellierung für die planerische Anwendung

**Forschungsverbund TWIST++ – Transitionswege Wasserinfrastruktursysteme: Anpassung an neue Herausforderungen im städtischen und ländlichen Raum**

[www.twistplusplus.de](http://www.twistplusplus.de)

*Projektkoordination*

**Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI)**

Breslauer Straße 48 | 76139 Karlsruhe

Dr.-Ing. Harald Hiessl

Tel.: +49 721 680 92 00

[harald.hiessl@isi.fraunhofer.de](mailto:harald.hiessl@isi.fraunhofer.de)

Dr.-Ing. Thomas Hillenbrand

Tel.: +49 721 680 91 19

[t.hillenbrand@isi.fraunhofer.de](mailto:t.hillenbrand@isi.fraunhofer.de)

- C1 Innovative Lösungen für flexible Trinkwassernetze – Ergebnisse des Projekts TWIST++
- C6 Umgang mit Teilortskanalisationen
- D2 Kombinierte Energie- und Nährstoffrückgewinnung aus Schwarzwasser bei unterschiedlichen Transitionszuständen
- D8 Innovative Systemlösungen für unterschiedliche Randbedingungen im Bestand – Ergebnisse des Projekts TWIST++
- E1 Entwicklung und Anwendung einer multikriteriellen Methode zur Nachhaltigkeitsbewertung von Wasserinfrastruktursystemen
- E7 Vergleich neuartiger und konventioneller Wasserinfrastruktur unter Einbindung von Stakeholdern – Erfahrungen aus den Projekten KREIS und TWIST++
- F5 Softwareunterstützung für die integrierte Planung innovativer Wasserinfrastruktur – modular und adaptiv
- F7 Ganzheitliches Engineering mit Game-Konzepten: Spielsimulation als Entscheidungsunterstützung und Bürgerbeteiligung
- G9 Transformationsraum IBA: Möglichkeitsraum zur Erprobung innovativer Ansätze integrierter Infrastrukturentwicklung
- H2 Umsetzung innovativer Wasserinfrastruktursysteme im Bestand im Zusammenspiel verschiedener Akteursgruppen

**INISnet**

[www.bmbf.nawam-inis.de](http://www.bmbf.nawam-inis.de)

Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH

Zimmerstr. 13–15 | 10969 Berlin

Dr. Jens Libbe

Tel.: +49 30 39 00 11 15

[libbe@difu.de](mailto:libbe@difu.de)

Dr.-Ing. Darla Nickel

Dr. Stephanie Bock

Tel.: +49 30 39 00 11 89

[bock@difu.de](mailto:bock@difu.de)

DVGW-Forschungsstelle TUHH

Technische Universität Hamburg-Harburg

Am Schwarzenberg-Campus 3 | 21073 Hamburg

Margarethe Langer

Tel.: +49 40 428 78 39 14

[margarethe.langer@tuhh.de](mailto:margarethe.langer@tuhh.de)

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA)

Theodor-Heuss-Allee 17 | 53773 Hennef

Dr. Christian Wilhelm

Tel.: +49 2242 87 21 65

[wilhelm@dwa.de](mailto:wilhelm@dwa.de)

Neben vielen anderen Produkten und Aktivitäten war INISnet für die Konzeption, Zusammenstellung und Redaktion dieser zentralen Abschlusspublikation der Fördermaßnahme INIS verantwortlich.

## Impressum

### Herausgeber

Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH (Difu)  
Zimmerstraße 13 – 15 | 10969 Berlin

### Redaktion

Koordinatorinnen und Koordinatoren des Vernetzungs- und Transfervorhabens INISnet für die BMBF-Fördermaßnahme „Intelligente und multifunktionelle Infrastruktursysteme für eine zukunftsfähige Wasserversorgung und Abwasserentsorgung (INIS)“: Jens Libbe (Difu), Darla Nickel (Difu), Stephanie Bock (Difu), Margarethe Langer (DVGW-Forschungsstelle TUHH) und Christian Wilhelm (DWA e.V.)

Klaus-Dieter Beißwenger (Difu)

### Grafisches Konzept und Layout:

DreiDreizehn Werbeagentur GmbH, Berlin  
www.313.de

Cover-Motiv: DreiDreizehn Werbeagentur GmbH, Berlin

### Bild-/Quellennachweise:

Titelfoto/Umschlag: iStockphoto.com

S. 13 Foto: BMBF; S. 15 Foto: B. Wille; S. 17: Difu/David Ausserhofer;  
S. 18 Foto: DWA; S. 19 Foto: GELSENWASSER AG

iStockphoto.com: S. 12, S. 20, S. 26, S. 50, S. 90, S. 144, S. 186,  
S. 228, S. 278, S. 311

Adobe Stock: S. 318

Photocase.de: S. 137 ts-fotografie.de/photocase.de,  
S. 141 emanoo/photocase.de, S. 165 YTK/photocase.de,  
S. 225 fotograf/photocase.de, S. 295 joexx/photocase.de

Urheber der übrigen Abbildungen sind die jeweiligen INIS-  
Verbundprojekte, soweit nicht anders angegeben.

### Download:

www.bmbf.nawam-inis.de

### Beiträge:

Autorinnen und Autoren aus den INIS-Verbundprojekten,  
Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Vernetzungs- und  
Transfervorhabens INISnet

### Ansprechpartner beim BMBF:

Dr. Christian Alecke – Bundesministerium für Bildung  
und Forschung (BMBF)  
Referat 724 – Ressourcen und Nachhaltigkeit | 53170 Bonn  
Tel.: +49 228 99 57 21 10  
christian.alecke@bmbf.bund.de

### Ansprechpartner beim Projektträger:

Dr. Reinhard Marth – Projektträgerschaft Ressourcen  
und Nachhaltigkeit  
Projektträger Jülich, Geschäftsbereich Nachhaltigkeit  
Forschungszentrum Jülich GmbH  
Zimmerstraße 26 – 27 | 10969 Berlin  
Tel.: +49 30 201 99 31 77  
r.marth@fz-juelich.de

### Ansprechpartnerinnen und -partner beim Vernetzungs- und Transfervorhaben INISnet

Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH  
Zimmerstr. 13 – 15 | 10969 Berlin  
Dr. Jens Libbe  
Tel.: +49 30 390 01 115  
libbe@difu.de  
www.difu.de

DVGW-Forschungsstelle TUHH  
(Technische Universität Hamburg)  
Am Schwarzenberg-Campus 3 | 21073 Hamburg  
Margarethe Langer  
Tel.: +49 40 428 78 39 14  
margarethe.langer@tuhh.de  
www.tuhh.de

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser  
und Abfall e.V.  
Theodor-Heuss-Allee 17 | 53773 Hennef  
Dr.-Ing. Christian Wilhelm  
Tel.: +49 2242 872 165  
wilhelm@dwa.de  
www.dwa.de

Die Fördermaßnahme „Intelligente und multifunktionelle  
Infrastruktursysteme für eine zukunftsfähige Wasserversorgung  
und Abwasserentsorgung (INIS)“ wurde im Förderschwerpunkt  
„Nachhaltiges Wassermanagement (NaWaM)“ als Bestandteil des  
BMBF-Programms „Forschung für nachhaltige Entwicklungen  
(FONA)“ vom Bundesministerium für Bildung und Forschung  
(BMBF) gefördert.

Projektträger für das BMBF: Projektträger Jülich, Forschungs-  
zentrum Jülich GmbH.

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

© Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH 2017



**Herausgeber**

Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH  
Zimmerstr. 13-15 | 10969 Berlin