



TAGUNGSBAND

Münster, 14. und 15. Februar 2023

Klimawandel - Trockenheit und Starkregen im urbanen Raum
Wassertage Münster 2023

IWARU Institut für Infrastruktur · Wasser · Ressourcen · Umwelt (Hrsg.)





7. Wassertage Münster

Klimawandel – Trockenheit und Starkregen im urbanen Raum

Tagungsband

Münster, 14. und 15. Februar 2023

IWARU Institut für Infrastruktur·Wasser·Ressourcen·Umwelt (Hrsg.)

Impressum

IWARU, Institut für Infrastruktur·Wasser·Ressourcen·Umwelt (Hrsg.): Klimawandel – Trockenheit und Starkregen im urbanen Raum. Tagungsband der 7. Wassertage Münster 2023

© 2023

FH Münster

University of Applied Science

Hüfferstraße 27

48149 Münster

verlag@fh-muenster.de

Redaktion: Fabian Elsner

Umschlaggestaltung: David Fessen

Foto Umschlag: © digi_dresden - stock.adobe.com

ISBN: 978-3-947263-34-9



Für alle Artikel, die in dem Tagungsband der Wassertage Münster veröffentlicht werden, liegt das Urheberrecht bei den Autor:innen. Die Artikel sind unter einer Open Access Creative Commons CC BY 4.0-Lizenz lizenziert, was bedeutet, dass jeder die Artikel kostenlos herunterladen und lesen kann. Darüber hinaus dürfen die Artikel wiederverwendet und zitiert werden, sofern die veröffentlichte Originalversion zitiert wird. Diese Bedingungen ermöglichen eine maximale Nutzung und Veröffentlichung der Arbeit und stellen gleichzeitig sicher, dass die Autor:innen eine angemessene Anerkennung erhalten.

Klimawandel - Trockenheit und Starkregen im urbanen Raum

Die klimabedingte Zunahme extremer Wetterereignisse ist eine der Herausforderungen in der gegenwärtig durch Krisen geprägten Zeit. Gefahren gehen von großräumigen Hochwasserereignissen und von kleinräumigen Überflutungen innerhalb besiedelter Bereiche aus. Ursache sind ausgeprägte Extremniederschläge. Das Schadpotenzial hängt maßgeblich von den lokalen Bedingungen ab. Ein Starkregen richtet im Flachland mit versickerungsfähigen Böden wesentlich weniger Schäden an als im Bereich eines Kerbtalgewässers, wenn dort die Hochwasserwelle auf bebaute Talbereiche trifft. Auch sind die Folgen einer als urbane Sturzflut bezeichneten Überflutung in dicht besiedelten Räumen in der Regel dramatischer als bei ländlich geprägten Siedlungsstrukturen. Aber nicht nur dem Problem „zu viel Wasser“, sondern auch der zunehmenden Herausforderung „zu wenig Wasser“ muss sich die Wasserwirtschaft stellen. Trockenheit und Hitze führen vor allem in Innenstädten immer häufiger zu Bedingungen, in denen das Leben und Arbeiten zur Belastung wird. Vielerorts sinkende Grundwasserspiegel stellen die Bewirtschaftung natürlicher Wasserressourcen und nicht zuletzt die öffentliche Wasserversorgung in Deutschland vor bislang weitgehend unbekannte Herausforderungen.

Einen absoluten Schutz gegen Überflutungen und vor Hitzeperioden gibt es nicht. Wir müssen Vorsorge betreiben, um die Belastungen zu begrenzen. In der letzten Zeit hat dafür der Begriff der „Resilienz“ im wasserwirtschaftlichen Kontext eine besondere Bedeutung gewonnen. Dazu erforderliche Konzepte greifen die Wassertage Münster im Jahr 2023 auf. Zu den Maßnahmen der wasserbewussten Stadtentwicklung zählen beispielsweise die gezielte Versickerung und Verdunstung von Niederschlagswasser oder die Ableitung von Oberflächenabflüssen bei seltenen Starkregen in weniger kritische Bereiche. Thematisiert wird auch der Umgang mit (Ab-)Wasser als Ressource. Hierbei werden die Bedeutung und Chancen der Wasserwiederverwendung betrachtet.

Wir laden Sie ein zu informativen Vorträgen und angeregten Diskussionen über ein Thema, das uns alle betrifft: Der nachhaltige Umgang mit Wasser im urban geprägten Umfeld.

Christian Auel, Helmut Grüning, Jens Haberkamp und Mathias Uhl

Programmbeirat

Prof. Dr. sc. Christian Auel,

Institut für Infrastruktur-Wasser-Ressourcen-Umwelt, FH Münster

Prof. Dr.-Ing. Helmut Grüning,

Institut für Infrastruktur-Wasser-Ressourcen-Umwelt, FH Münster

Prof. Dr.-Ing. Jens Haberkamp,

Institut für Infrastruktur-Wasser-Ressourcen-Umwelt, FH Münster

Prof. Dr.-Ing. André Niemann,

Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Universität Duisburg-Essen

Dipl.-Ing. Christian Sustrath,

BWK-Landesverband NRW

Prof. Dr.-Ing. Burkhard Teichgräber,

DWA-Landesverband NRW

Prof. Dr.-Ing. Mathias Uhl,

Institut für Infrastruktur-Wasser-Ressourcen-Umwelt, FH Münster

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	1
Inhaltsverzeichnis	3
Programm	18
KEYNOTE	11
Mathias Uhl	12
Wasserbewusste Stadtentwicklung	
STADTKLIMA UND KLIMAAANPASSUNGSMABNAHMEN	18
Sonja Kramer	19
Reform von Verwaltungs- und Planungsprozessen	
Birgitta Hörschemeyer, Malte Henrichs und Mathias Uhl	24
Verdunstung als Zielgröße	
SMART CITY	32
Malte Henrichs und Birgitta Hörschemeyer	33
Smarte Stadtentwässerung – Was ist das eigentlich?	
André Niemann, Thorsten Mietzel, Benjamin Freudenberg und Florian Leischner	39
Smart City meets Smart Environment - Perspektiven für die Wasserwirtschaft durch den Einsatz innovativer Schwarmsensorik	
Benjamin Burrichter und Markus Quirnbach	49
KI-basierte Überflutungsvorhersage im urbanen Raum	

ABWASSER ALS ALTERNATIVE WASSERRESSOURCE I	56
Daniel Dittmann, Maximilian Roß, Aki Sebastian Ruhl et al.	57
Verringerung von Nutzungskonkurrenzen durch Wasserwiederverwendung	
Jens Haberkamp	66
Auf dem Weg zur EU-weit geregelten Wasserwiederverwendung	
Veikko Junghans	74
Wasserwiederverwendung aus landwirtschaftlicher Perspektive	
ABWASSER ALS ALTERNATIVE WASSERRESSOURCE II	81
Franziska Gromadecki	82
Erfahrungen mit Wasserwiederverwendung im Raum Braunschweig	
UMGANG MIT STARKREGEN IM URBANEN RAUM	89
Charlotte Lepold	90
Klimaangepasste Quartiersentwicklung – Raumkonkurrenzen erfordern multifunktionale Lösungen	
Marko Siekmann	97
Überwindung rechtlicher und organisatorischer Hindernisse in der Planungspraxis	
MANAGEMENT DES HOCHWASSERRISIKOS	103
Christoph Mudersbach	104
Integrale Bewertung von Hochwasser- und Starkregengefahren	
Daniel Bachmann	110
Hochwasserrisikomanagement: Neues aus der Forschung	
Christian Massing, Christina Nickel, Reinhard Gierse und Daniel Heinenberg	119
Risikomanagement am Beispiel der Stadt Wuppertal (Starkregen/Hochwasserprioritätenkonzept)	

WASSERBEWUSSTE STADTENTWICKLUNG: URBANES GRÜN	124
Helmut Grüning, Nils Siering und Andreè Schulte	125
Wirkung und Bewirtschaftung von Baumrigolen als Be- und Entwässerungssysteme	
Thorsten Pacha	137
Herausforderungen und praktische Erfahrungen bei der Etablierung von Baumrigolen im kommunalen Bereich	
Andreas Giga	141
Entwicklung und Umsetzung von Maßnahmen zur wasserbewussten Stadtentwicklung	
URBANE FLUSSSYSTEME	146
Georg Johann	147
Hochwasserschutzeinrichtungen im Emscher-Gebiet	
Maike Stover	151
Runde Regenbecken - neue Lösungen zur stofflichen Entlastung urbaner Gewässer	
Autorenverzeichnis	158
Ausstellerverzeichnis	163

*Hinweis: Dieser Tagungsband enthält nicht die Beiträge aller Referent*innen der Veranstaltung. Soweit vorliegend, werden die hier fehlenden Beiträge nach den Wassertagen elektronisch zur Verfügung gestellt.*

Programm

Dienstag, 14.02.2023

ab 9:00 Registrierung und Begrüßungskaffee / Besuch der
Fachausstellung

BEGRÜSSUNG UND EINFÜHRUNG

- 10:00 – 10:10 **Eröffnung**
Carsten Schröder, Vizepräsident für Kooperation, Innovation und
Marketing der FH Münster
- 10:10 – 10:20 **Einführung**
Prof. Dr.-Ing. Helmut Grüning, FH Münster
- 10:20 – 10:50 **Keynote**
Wasserbewusste Stadtentwicklung - Prof. Dr.-Ing. Mathias Uhl,
FH Münster

STADTKLIMA

- 10:50 – 11:10 **Reform von Verwaltungs- und Planungsprozessen**
Dipl.-Ing. Sonja Kramer, Amt für Mobilität und Tiefbau der Stadt
Münster
- 11:10 – 11:30 **Verdunstung als Zielgröße**
Birgitta Hörnschemeyer M.Sc., FH Münster
- 11:30 – 11:40 **Diskussion**
- 11:40 – 12:10 **Kaffeepause / Besuch der Fachausstellung**

SMART CITY

- 12:10 – 12:30 **Smarte Stadtentwässerung – Was ist das eigentlich?**
Prof. Dr.-Ing. Malte Henrichs, FH Münster
- 12:30 – 12:50 **Smart City meets Smart Environment - Perspektiven für die Wasserwirtschaft durch den Einsatz innovativer Schwarm-sensorik**
Prof. Dr.-Ing. André Niemann, Dr.-Ing. Thorsten Mietzel, Universität Duisburg-Essen
- 12:50 – 13:10 **KI-basierte Überflutungsvorhersage im urbanen Raum**
Benjamin Burrichter M.Sc., Hochschule Ruhr West
- 13:10 – 13:20 **Diskussion**
- 13:20 – 14:50 **Mittagspause / Besuch der Fachausstellung**

ABWASSER ALS ALTERNATIVE WASSERRESSOURCE I

- 14:50 – 15:10 **Verringerung von Nutzungskonkurrenzen durch Wasserwiederverwendung**
Prof. Dr.-Ing. Aki S. Ruhl, TU Berlin/Umweltbundesamt
- 15:10 – 15:30 **Auf dem Weg zur EU-weit geregelten Wasserwiederverwendung**
Prof. Dr.-Ing. Jens Haberkamp, FH Münster
- 15:30 – 15:50 **Wasserwiederverwendung aus landwirtschaftlicher Perspektive**
Dr. rer. agr. Veikko Junghans, Fachverband Bewässerungslandbau Mitteldeutschland e.V.
- 15:50 – 16:00 **Diskussion**
- 16:00 – 16:30 **Mittagspause / Besuch der Fachausstellung**

ABWASSER ALS ALTERNATIVE WASSERRESSOURCE II

- 16:30 – 16:50 **Erfahrungen mit Wasserwiederverwendung im Raum Braunschweig**
Dr.-Ing. Franziska Gromadecki, Abwasserverband Braunschweig
- 16:50 – 17:10 **Wiederverwendung kommunalen Abwassers für industrielle Zwecke**
Dipl.-Ing. Kerstin Krömer, Oldenburgisch-Ostfriesischer Wasserverband
- 17:10 – 17:20 **Diskussion**
- 17:20 **Ende des ersten Tages**
- 19:00 **Abendveranstaltung**

Programm

Mittwoch, 15.02.2023

9:00 – 9:30 **Keynote**
Neueste Erkenntnisse zum Klimawandel – RDir Guido Halbig,
Deutscher Wetterdienst

UMGANG MIT STARKREGEN IM URBANEN RAUM

9.30 – 9:50 **Klimaangepasste Quartiersentwicklung – Raumkonkurrenzen erfordern multifunktionale Lösungen**

Charlotte Lepold B.Sc., MUST Städtebau GmbH

9:50 – 10:10 **Überwindung rechtlicher und organisatorischer Hindernisse in der Planungspraxis**

Dr.-Ing. Marko Siekmann, Stadt Bochum

10:10 – 10:20 **Diskussion**

10:20 – 10:50 **Kaffeepause / Besuch der Fachausstellung**

MANAGEMENT DES HOCHWASSERRISIKOS

10:50 – 11:10 **Integrale Bewertung von Hochwasser- und Starkregengefahren**

Prof. Dr.-Ing. Christoph Mudersbach, Hochschule Bochum

11:10 – 11:30 **Hochwasserrisikomanagement: Neues aus der Forschung**

Prof. Dr.-Ing. Daniel Bachmann, Hochschule Magdeburg-Stendal

11:30 – 11:50 **Risikomanagement am Beispiel der Stadt Wuppertal (Starkregen/Hochwasserprioritätenkonzept**

Dipl.-Ing. Christian Massing, WSW Energie & Wasser AG, Wuppertal

11:50 – 12:00 **Diskussion**

12:00 – 13:30 **Mittagspause / Besuch der Fachausstellung**

WASSERBEWUSSTE STADTENTWICKLUNG: URBANES GRÜN

- 13:30 – 13:50 **Wirkung und Bewirtschaftung von Baumrigolen als Be- und Entwässerungssysteme**
Prof. Dr.-Ing. Helmut Grüning, FH Münster
- 13:50 – 14:10 **Herausforderungen und praktische Erfahrungen bei der Etablierung von Baumrigolen im kommunalen Bereich**
Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Thorsten Pacha, Tiefbauamt der Stadt Bochum
- 14:10 – 14:30 **Entwicklung und Umsetzung von Maßnahmen zur wasserbewussten Stadtentwicklung**
Dipl.-Ing. Andreas Giga, Emschergenossenschaft/Lippeverband
- 14:30 – 14:40 **Diskussion**
- 14:40 – 15:10 **Kaffeepause / Besuch der Fachausstellung**

URBANE FLUSSSYSTEME

- 15:10 – 15:30 **Hochwasserschutzanlagen im Emscher-Gebiet**
Dipl.-Hydrol. Georg Johann, Emschergenossenschaft/Lippeverband
- 15:30 – 15:50 **Runde Regenbecken - neue Lösungen zur stofflichen Entlastung urbaner Gewässer**
Maïke Stover M.Sc., FH Münster
- 15:50 – 16:00 **Diskussion**
- 16:00 – 16:15 **Aktion: Teilnehmerumfrage zu weiterem Infobedarf**
Prof. Dr. sc. Christian Auel, FH Münster
- 16:15 – 16:25 **Schlusswort**
Prof. Dr.-Ing. Mathias Uhl, FH Münster
- 16:25 **Ende der Veranstaltung**

KEYNOTE

WASSERBEWUSSTE STADTENTWICKLUNG

Mathias Uhl

Kurzfassung

Die Urbanisierung hat erhebliche Auswirkungen auf die Oberflächengewässer, das Grundwasser sowie die Verdunstung in der Landschaft und in den Kommunen. Der Klimawandel belastet Stadt und Land zusätzlich mit Extremereignissen wie Starkregen, Trockenheit und Hitze. Damit einher gehen erhebliche Stressoren und Schäden für Menschen, Fauna und Flora in Kommunen und ihren Regionen.

Das international anerkannte Planungskonzept des „water sensitive urban design“ hat sich nach anfänglicher Zurückhaltung auch in Deutschland etabliert. Nach langjähriger und ausführlicher fachlicher Würdigung hat die DWA ein Positionspapier verabschiedet, das die „wasserbewusste Stadtentwicklung“ als Planungskonzept fordert. Der Beitrag stellt die Grundgedanken der wasserbewussten Stadtentwicklung vor. Handlungsziele und -schwerpunkte werden dargestellt und die Bezüge zu Rahmenkonzepten der Stadtpolitik und der Wasserwirtschaft aufgezeigt. Die vielen seit 25 Jahren realisierten Quartiere, Pilotprojekte und Forschungsprogramme belegen, dass die wasserbewusste Stadtentwicklung reif für die Praxis ist.

Schlüsselwörter

Wasserwirtschaft, Wasserinfrastruktur, Urbanisierung, Klimawandel, Stadtentwicklung

1 Rahmenbedingungen

1.1 Wasserwirtschaft und Stadtentwicklung

Wasserversorgung, Abwasserentsorgung, Hochwasser- und Überflutungsvorsorge, Gewässerschutz und -entwicklung zählen zu den klassischen Aufgaben der Wasserwirtschaft im urbanen Raum. Klima und Umwelt, Gesellschaft und Kommunen wandeln sich. Die Belastungen für den Stadtraum und die Kulturlandschaft erhöhen sich infolge fortschreitender Urbanisierung und den Folgen des Klimawandels. Gleichzeitig steigt die Vulnerabilität gegenüber Extremereignissen wie Starkregen, Hitze und Dürre in den Kommunen und den Gewässern.

Die bauliche Entwicklung der Kommunen wird durch städtebauliche Leitbilder, den Bedarf des Immobilienmarktes, die Organisation von Wohnen und Arbeiten sowie den

Bedarf an Mobilität und Lebensqualität geprägt. Der anhaltend hohe Bedarf an Neubau und Sanierung bindet Kapital auf Jahrzehnte und schafft neue Fakten für die Kommunen und die Umwelt. Für die Stadtsanierung und den -neubau müssen nachhaltige Lösungen umgesetzt werden.

1.2 Urbanisierung und Klimawandel

Die Urbanisierung gilt als der weitreichendste anthropogene Eingriff in die Landschaft (u.a. [1]) mit erheblichen Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, das hydrologische Regime, die Gewässerbeschaffenheit, die Grundwasserneubildung, die Verdunstung und ihre Kühlwirkung sowie die Extremereignisse Starkregen, Trockenheit und Hitze. Damit einher gehen erhebliche Stressoren und Schäden für Menschen, Fauna und Flora in Kommunen und ihren Regionen. Urbane Bereiche bilden zudem ein spezifisches Stadtklima aus (u. a. [2])

Die Verdunstung verbindet den Energie- und Wasserhaushalt wobei die Vegetation mit Beschattung und Verdunstung eine zentrale Ökosystemleistung zugunsten des Wasserhaushaltes und der Hitzevorsorge erbringt.

Der Klimawandel erhöht die Belastungsgrößen Niederschlag, Temperatur und Wind und damit auch die Vulnerabilität des urbanen Raumes. Urbanisierung und Klimawandel sind Langzeitprozesse, die gleichermaßen zum Handeln herausfordern.

2 Planungskonzepte

2.1 Water Sensitive Urban Design

Angeregt durch den ersten Bericht des Club of Rome „Limits to growth“ [3] begann die Forschung weltweit, die Auswirkungen anthropogener Aktivitäten auf die Umwelt zu untersuchen. Mit der 1974 etablierten Konferenzserie „International Conference on Urban Storm Drainage“ (ICUSD) schufen die International Water Association (IWA) und die International Association of Hydro-Environmental Engineering and Research (IAHR) die wesentliche Plattform zum internationalen Austausch. Das Joint Committee of Urban Drainage (JCUD) beider Verbände regte mit seinen task groups den internationalen Austausch an.

Die erheblichen Auswirkungen der Regenwasserableitung auf den Wasserhaushalt, das Grundwasser und die Oberflächengewässer wurden deutlich. Die Lösungsansätze für einen neuen Umgang mit Niederschlagswasser begannen, sich international

anzugleichen. Auf Anregung des JCUD entstand eine gründliche Studie zur Ideengeschichte und zu den Fachbegriffen für den Umgang mit Niederschlagswasser in urbanen Räumen [4].

Als ganzheitliche Konzepte, die technische, planerische und sozio-kulturelle Aspekte vereinen, überzeugten Water sensitive urban design (WSUD), green infrastructure (GI) bzw. blue-green infrastructure (BGI) und sustainable drainage system (SuDS). Sie kommen dem integralen Ansatz nachhaltiger Entwicklung am nächsten.

2.2 Wasserbewusste Stadtentwicklung

In Deutschland besann man sich vor knapp 50 Jahren auf die traditionelle Versickerung, die Regenwassernutzung und die Dachbegrünung als Alternativen zur Regenwasserableitung. Modellprojekte sowie Forschungs- und Entwicklungsvorhaben sorgten für einen soliden Fundus an Betriebserfahrungen, sowie empirisch fundierte Regelwerke der Fachverbände.

Ab etwa 2000 etwa begann ein Paradigmenwechsel vom Ableitungs- zum Retentionsprinzip und WSUD überzeugte aufgrund seiner planungstheoretischen Konsistenz. Im Jahr 2020 gründete die DWA die Koordinierungsgruppe „Wasserbewusste Stadtentwicklung“. Mit einem Positionspapier [5] wurden der konzeptionelle Rahmen von WSUD für die Verhältnisse in Deutschland übertragen und Handlungserfordernisse benannt. Mit „wasserbewusste Stadtentwicklung“ (WBS) wurde nach gründlicher Diskussion ein Begriff gewählt, der den Bedeutungsgehalt von water sensitive urban design umfassend abbildet und an den in der deutschen Sprache gut eingeführten Begriff „umweltbewusst“ anknüpft.

Wasserbewusste Stadtentwicklung (WBS) ist ein wasserwirtschaftlich, umweltwissenschaftlich sowie landschaftsarchitektonisch basierter Planungsansatz,

- der die Bewirtschaftung des Wasserkreislaufs, der ober- und unterirdischen Gewässer sowie die mit Wasser verbundene Daseins- und Klimavorsorge
- kohärent in die Stadtplanung und den Städtebau einbringt,
- um die Umwelt- und Gestaltungsqualität funktional und ästhetisch zu erhöhen
- und soziale Teilhabe zu fördern.

Im Positionspapier [5] wird das Leitbild einer wasserbewussten Stadt beschrieben:

- effiziente und regenerative Nutzung der Ressourcen Wasser, Fläche, Rohstoffe, Energie und Kapital

- gesicherte Versorgung mit Wasser hoher Qualität und ausreichender Menge
- zuverlässige, den Ökosystemen förderliche Bewirtschaftung von Abwasser
- am natürlichen Wasserhaushalt orientierte Bewirtschaftung des Niederschlagswassers mit blau-grüner Infrastruktur und multifunktionaler Flächennutzung
- effektiver Schutz und Vorsorge zur Begrenzung von Überflutungs- und Hochwasserrisiken
- leitbildkonforme, ökologisch aufgewertete Gewässer, Ufer und Auen als Teil der Stadtlandschaft
- intensive Begrünung von öffentlicher und privater Frei-, Verkehrs- und Bauwerksflächen zugunsten der Biodiversität und der Hitze- und Klimavorsorge
- guter mengenmäßiger und chemischer Zustand des Grundwassers durch einen integrierten Schutz und eine Ausrichtung an einem naturnahen Wasserhaushalt
- guter chemischer und ökologischer Zustand oder gutes Potenzial der Oberflächengewässer
- hohe Resilienz gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels auch bei wechselndem Wasserdargebot und veränderten gesellschaftlichen Strukturen
- höhere Lebensqualität für die Bevölkerung, die in Planungsprozesse einer blau-grünen Infrastruktur von Beginn an einbezogen wird
- Information der Bürger*innen zu Überflutungsvorsorge und Hitzeanpassung sowie Handlungsmöglichkeiten im privaten Bereich
- rechtliche Basis für eine gesicherte und kosteneffiziente Wasserwirtschaft mit langfristig solider Finanzierung sowie Möglichkeiten für privates und ehrenamtliches Engagement
- agile, klare Planungs- und Entscheidungsstrukturen über Sektoren und Zuständigkeiten hinweg mit aktiver Beteiligung der Öffentlichkeit
- gut vernetzte Akteure, die gemeinsam Maßnahmen effizient planen und umsetzen, Synergien verschiedener Sektoren suchen und nutzen und die Wirkung der Maßnahmen dokumentieren

3 Einbettung in strategische Rahmenkonzepte

3.1 Stadtentwicklung in Europa

Europa und Deutschland sind geprägt von einer polyzentrischen Siedlungsstruktur mit einer Vielfalt kleiner, mittelgroßer und großer Städte, die sich über Jahrhunderte aus dem Kontext der regionalen Landschaft und seines Klimas entwickelt haben. Sie haben sich als Orte des Wandels auch in vielen großen Krisen bewährt und stetig

erneuert. Ihre Lebensqualität, Sicherheit, Prosperität, ihre Kraft zu Innovation und Erneuerung, ihre Bürgergesellschaft und demokratische Freiheit sind wertgeschätzte Eigenschaften auch für die Zukunft.

3.2 Nachhaltigkeitsstrategie

Die Ziele für nachhaltige Entwicklung (SDG) der Vereinten Nationen werden in Deutschland vom Bund, den Ländern, den Kommunen, den Verbänden und den Körperschaften des öffentlichen Rechts tatkräftig unterstützt [6]. Für eine wasserbewusste Stadtentwicklung sind besonders bedeutsam SDG 6 (Wasser und Sanitärversorgung für alle), SDG 9 (Widerstandsfähige Infrastruktur und nachhaltige Industrialisierung), SDG 11 (Nachhaltige Städte und Siedlungen) und SDG 13 (Sofortmaßnahmen, um den Klimawandel und seine Auswirkungen zu bekämpfen).

3.3 Neue Leipzig Charta

In der Neuen Leipzig-Charta von 2020 [7] haben die für Stadtentwicklung verantwortlichen Ministerien Europas ein Rahmendokument für die künftige Entwicklung europäischer Städte verabschiedet. Die Kernbotschaft ist das Bekenntnis zu einer integrierten, nachhaltigen Stadtentwicklungspolitik angesichts der globalen und lokalen Herausforderungen durch Klimawandel, Verlust von Biodiversität, Ressourcenknappheit, Migration, demographischer Wandel, Pandemien und Veränderungen der Wirtschaft.

Die Neue Leipzig-Charta benennt wesentliche Qualitäten, die eine wasserbewusste Stadtentwicklung kohärent hervorragend unterstützt. Sie schafft die blau-grüne Infrastruktur, dient den Umweltqualitätszielen und der Stadt-Umland-Vernetzung, folgt dem Quartiers- und Partizipationsansatz, stärkt die Resilienz gegenüber Starkregen, Hitze und Dürre zur Klimavorsorge und bringt Wasser positiv erlebbar in die Stadt.

3.4 Nationale Wasserstrategie

Die in einem umfassenden Beteiligungsverfahren erarbeitete Nationale Wasserstrategie [8] weist in zehn strategische Themen 78 Aktionspunkte aus, von denen 37 auch die wasserbewusste Stadt (dort als wassersensible Stadt bezeichnet) betreffen. Für die wasserbewusste Stadtentwicklung haben die 9 Aktionen 7,13,14,19, 50, 51, 53, 54 und 56 besondere Bedeutung.

3.5 Weißbuch Stadtgrün

Das Weißbuch Stadtgrün [9] verdeutlicht die herausragende Rolle urbanen Grüns für den Lebensraum Stadt. Es benennt zehn Handlungsfelder mit konkreten Maßnahmen und Handlungsempfehlungen für eine gestalterisch und funktional qualitätvolle Entwicklung urbanen Grüns auch als blau-grüne Infrastruktur.

4 Literatur

- [1] Baumgartner, A.; Liebscher, H. J. (1996): Lehrbuch der Hydrologie Band 1: Allgemeine Hydrologie. Verlag Gebrüder Borntraeger Berlin Stuttgart.
- [2] Kuttler, W. (2013): Klimatologie. 2. Auflage, Verlag Schöningh, Paderborn. ISBN 978-3-8252-4059-2
- [3] Meadows, Donella H; Meadows, Dennis L; Randers, Jørgen; Behrens III, William W (1972). The Limits to Growth; A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind. New York: Universe Books. ISBN 0876631650.
- [4] Fletcher, T.D., Shuster, W., Hunt, W.F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., Trowsdale, S., Barraud, S., Semadeni-Davies, A., Bertrand-Krajewski, J.-L., Mikkelsen, P.S., Rivard, G., Uhl, M., Dagenais, D., Viklander, M. (2015): „SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage“. In: Urban Water Journal. 12 (7), S. 525–542, doi: 10.1080/1573062X.2014.916314.
- [5] DWA (2021): Wasserbewusste Entwicklung unserer Städte. DWA-Positionen. Verfasser Brunner, Dickhaut, Giga, Hetzel, Hillenbrand, Köster, Reese, Uhl. https://de.dwa.de/files/_media/content/01_DIE_DWA/Politikinformationen/Positionspapiere/Positionspapier_Wasserbewusste_Entwicklung_unserer_St%C3%A4dte_2021_Netz.pdf.
- [6] BR (2021) Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Bundesregierung (Hrsg.), Berlin. Langfassung:<https://www.bundesregierung.de/resource/blob/998006/1873516/3d3b15cd92d0261e7a0bc8f43b7839/2021-03-10-dns-2021-finale-langfassung-nicht-barrierefrei-data.pdf?download=1>
- [7] BMWSB (2022) Neue Leipzig-Charta. Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (Hrsg.), Berlin. https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/downloads/Webs/BMWSB/DE/veroeffentlichungen/wohnen/neue-leipzig-charta-2020.pdf?__blob=publicationFile&v=2
- [8] BMUV (2022) Nationale Wasserstrategie. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) (Hrsg.), Berlin. <https://www.bmuv.de/download/regierungsentwurf-nationale-wasserstrategie>
- [9] BMUB (2017) Weißbuch Stadtgrün. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (Hrsg.), Berlin. <https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/bauen/wohnen/weissbuch-stadtgruen.html>

STADTKLIMA UND KLIMAAANPASSUNGS- KONZEPTE

REFORM VON VERWALTUNGS- UND PLANUNGSPROZESSEN

Sonja Kramer

Kurzfassung

Verwaltungsprozesse zu reformieren ist bekanntermaßen ein zähes Geschäft. Obwohl die Notwendigkeit im Hinblick auf klimaangepasste Lösungen so klar auf der Hand liegt, finden sich in den meisten Fällen noch ausreichend Gründe, zu Altbewährtem zurückzukehren. Übrig bleiben neben den konventionellen Ergebnissen oftmals lediglich kleinere kosmetische Verbesserungen. Natürlich gibt es auch einzelne sehr gut gelungene Projekte mit gänzlich neuem Ansatz. Doch allzu oft werden diese noch immer als innovative Sonderlösungen gehandelt, weit entfernt davon, Standard zu sein. Dabei gilt dieses Muster nicht nur für Verwaltungen, auch Planungsprozesse und Lösungen externer Beteiligter verharren noch allzu oft in diesen traditionellen Handlungsweisen. Notwendigkeit und Ziele sind eindeutig, rechtliche und etablierte technische Möglichkeiten vorhanden. Doch warum gehört die Bewirtschaftung von Wasser noch immer nicht zum Standard?

Schlüsselwörter

Konvention, Tradition, Innovation, Reformation, Wertigkeit, Rollenverständnis, Kommunikation

1 Ausgangslage

Klimawandel – Trockenheit und Starkregen im urbanen Raum. Ein Thema, das nicht nur in der gesamten Stadtgesellschaft, sondern insbesondere auch in den Verwaltungen mittlerweile zum Standard gehören sollte. Auch die Stadt Münster wurde in den vergangenen Jahren bereits von massiven Extremereignissen getroffen: Im Juli 2014 ging das bislang stärkste in Deutschland gemessene Starkregenereignis auf die Stadt Münster nieder. 300 mm in nur 7 Stunden führten zu verheerenden Schäden in Millionenhöhe, auch zwei ums Leben gekommene Personen waren damals zu beklagen. Im August 2018 folgte das andere Extrem: eine langandauernde, extrem heiße Trockenperiode stellte die gesamte Stadt vor große Herausforderungen. Für das beliebte Innenstadtgewässer – den Aasee – führte diese Situation in Kombination mit weiteren Faktoren schließlich zu einem erheblichen Fischsterben, bei dem damals 20 Tonnen Tiere verendeten.

2 Anpassung an den Klimawandel = Innovation?

Seit dem Starkregenereignis in Münster sind mittlerweile etwa 9 Jahre vergangen, das Fischsterben im Aasee liegt bereits 5 Jahre zurück. Doch warum ist die Frage nach Anpassungen an klimatische Veränderungen noch immer so präsent? Warum fällt es noch immer so schwer, standardmäßig klimaangepasst zu planen und zu bauen? Natürlich ist es bereits an einzelnen Stellen gelungen, umsichtig mit dem Thema umzugehen und erste gelungene Projekte umzusetzen. Doch oftmals sind Planungen nach wie vor von großen Herausforderungen und langwierigen Diskussionen geprägt. Noch immer werden klimaangepasste Lösungen sowohl von verwaltungsinternen als auch von externen Beteiligten als innovative Sonderprojekte gehandelt.

Bereits im Zuge des vom BMBF geförderten Forschungsvorhabens WaSiG – Wasserhaushalt siedlungsgeprägter Gewässer, welches vor nunmehr 5 Jahren abgeschlossen wurde, haben wir festgestellt: technische Randbedingungen und rechtliche Möglichkeiten unsere Städte wasserbewusst zu gestalten sind vorhanden und etabliert.

Die Herausforderungen sind demnach vorwiegend anders gelagert. Die größte Schwierigkeit besteht in der Regel nicht darin, planerische Lösungen für eine wasserbewusste Stadtgestaltung zu entwickeln. Bei Neuerschließungen gibt es zahlreiche Varianten und auch für beengte Bestandsbereiche sind mittlerweile gute technische Möglichkeiten vorhanden, die vorhandene Situationen nennenswert verbessern.

Es sind die konventionellen Denkweisen, Arbeitsprozesse und Organisationsformen, die das maßgeblichste Hindernis darstellen. Gepaart mit einer gewissen Unsicherheit, Altbewährtes und Bekanntes zu verlassen und sich auch für gänzlich neue Vorgehensweisen zu öffnen, bilden diese Strukturen oftmals den maßgeblichsten Hinderungsgrund. Noch immer fällt es schwer aus dem Projektziel heraus zu denken und gemeinsam die beste Lösung für die jeweilige Aufgabenstellung zu entwickeln, in der die Beteiligten die Verantwortung für die eigenen fachlichen Entscheidungen tragen. Arbeitsprozesse orientieren sich noch allzu oft an den linearen, hierarchisch geprägten Organisationsstrukturen – immer auf der Suche nach Abgrenzung der eigenen Zuständigkeit und klar definierten Standards. Darüber hinaus darf Klimaanpassung nicht länger als „on top“ Aufgabe wahrgenommen werden, die im ohnehin schon gut gefüllten Arbeitsprogramm immer weiter nach hinten geschoben wird. Denn wir müssen nicht zusätzlich, sondern anders planen.

Diese Ansätze sind nicht nur in der Verwaltung allein vorzufinden. Auch in vielen beteiligten Fachbüros, Firmen etc. herrschen noch vergleichbare Strukturen und Handlungsweisen vor und sind auch dort nur schwer aufzubrechen. Darüber hinaus erschweren Honorarregelungen in der HOAI ebenso wie rechtliche Randbedingungen

im Hinblick auf Arbeitssicherheit, Haftungs- und Unterhaltungsfragen sowie zur Verkehrssicherheit integrale Ansätze. Auch wenn die Rechtsprechung Wasserbewirtschaftungsmaßnahmen ermöglicht, so sind auch hier alt hergebrachte Formulierungen nicht immer förderlich. Beispielsweise kann niemandem vorgeworfen werden, eine gezielte Bewirtschaftung des Niederschlagswassers nicht als rechtlich klar formulierte Vorgabe zu verstehen, so lange die Rechtslage noch von „Niederschlagswasserbeseitigung“ spricht.

3 Konvention – Tradition – Innovation – Reformation

Um kreative, zielgerichtete Lösungen für die einzelnen und dabei sehr vielschichtigen Aufgabenstellungen zu erarbeiten, ist es unumgänglich, die alten Strukturen zu lösen und gemeinsam neu zu denken. Denn eines haben doch alle gemeinsam: den Wunsch nach einer klimaangepassten, modernen Stadt, die auch unter sich verändernden, teils extremer werdenden Randbedingungen ein lebenswertes Umfeld bietet.

Die Wasserwirtschaft stellt hier nur einen von vielen Bausteinen dar, die zur Umsetzung dieses Ziels beitragen. Und doch ist Wasser in diesem Zusammenhang erst einmal eines: eine der wichtigsten und wertvollsten Ressourcen und maßgebliche Grundlage der Daseinsvorsorge. Und exakt als solche sollte sie von allen, die urbane Räume entwickeln, wahrgenommen werden. Die bisherige Rolle des zu entsorgenden Gutes, wenn alle anderen Entwicklungsplanungen bereits abgeschlossen sind, wird der Bedeutung des Wassers bei Weitem nicht gerecht. Wer daran denkt, dass es besser ist, im extremen Starkregenfall z.B. öffentliche Grün- oder untergeordnete Verkehrsflächen zu fluten als zuzulassen, dass die Wassermassen in die nächsten Wohnhäuser oder kritischen Infrastrukturen strömen oder in trockenen Hitzezeiten Stadtgrün besser über Regenwasserreservoirs anstelle von Plastiksäcken zu bewässern, der erkennt schnell, welche Potentiale die Wasserwirtschaft mit sich bringt, wenn man sie von Beginn an mitdenkt und zielgerichtet einsetzt.

Damit das gelingt, müssen die einzelnen Fachthemen wie Stadtplanung, Freiraum- und Verkehrsplanung ebenso wie die Wasserwirtschaft gleichwertig im Gesamtzusammenhang gedacht und erarbeitet werden. Denn wer gemeinsam und integral an einer Lösung arbeitet, der bespielt automatisch auch die Bereiche der anderen. Um in diesem Zusammenhang den Wert wasserbewusster Lösungen zu positionieren, haben wir festgestellt, dass wir besonders in einem Bereich besser werden müssen: der Kommunikation. Zunächst sind wir es, die die Rolle der Wasserwirtschaft verdeutlichen, einnehmen und entsprechend vertreten müssen. Wir müssen viel mehr informieren und verstärkt für das Thema werben. Ziel ist es, andere Beteiligte abzuholen, mitzunehmen und zu animieren, gemeinsam voneinander profitieren zu

können. Denn was ist der Stadtbaum ohne Wasser und was die Wasserbilanz ohne das Stadtgrün? Was ist die dicht besiedelte Innenstadt ohne Verdunstungskühlung und was der Notwasserweg ohne die entsprechend modellierte Fläche?

Vor diesem Hintergrund sollte deutlich werden: nicht nur die reine Notwendigkeit, die die aktuellen und zukünftigen Entwicklungen mit sich bringen, sondern vor allem auch die Mehrwerte, die diese Zielsetzung generiert, sollten Ansporn genug sein, Denk- und Arbeitsweisen, angefangen bei ersten Planungsansätzen, über Finanzierungsmöglichkeiten und Anforderungen an wasserrechtliche Genehmigungen bis hin zu Lösungen für die langfristige Unterhaltung, von Grund auf neu zu denken und effektiver anzugehen.

Die Wege dorthin können ebenso vielschichtig wie die Aufgaben sein. Wer sich von starren Vorgaben löst und auch einmal kreativer denkt, findet die unterschiedlichsten Ansätze. Die Stadt Münster hat an verschiedenen Punkten erste Wege eingeschlagen, um dieses Ziel zu erreichen.

4 Stand der Reform von Verwaltungs- und Planungsprozessen in Münster

Münster gehört nach wie vor zu den stark wachsenden Städten. Hier gilt es nicht nur, möglichst hochwertigen Wohnraum bereitzustellen, sondern auch, andere urbane Strukturen wie Dienstleistungen, Gewerbe und Industrie an diese Entwicklung anzupassen. Um klimaangepasste, wasserbewusste Lösungen in diesem Prozess zu integrieren, haben wir gemeinsam mit Kolleginnen und Kollegen der Stadtplanung sowie mit den anderen maßgeblich Beteiligten den klassischen Ablauf der Bauleitplanung in der Verwaltung angepasst. Anforderungen an städtebauliche Wettbewerbe etwa werden nunmehr gemeinsam von Stadt- und Freiraumplanern sowie der Wasserwirtschaft formuliert. Der integrale Planungsansatz und damit auch integrierte Regenwasserbewirtschaftungskonzepte gehören somit ebenso zum geforderten Entwurfsportfolio wie beispielsweise der Nachweis der erforderlichen Wohneinheiten. In den Bewertungsgremien und Jurys sind mittlerweile auch Experten aus der Wasserwirtschaft vertreten. Auch wenn diese Vorgehensweise noch nicht zum Selbstläufer und auch nicht zum Garanten für vollumfänglich klimaangepasste Lösungen geworden ist, so ist es dennoch ein erster wesentlicher Schritt in die richtige Richtung.

Ein anderes Beispiel ist das Starkregen- und Hochwasserrisikomanagement, das die Stadt Münster aktuell aufbaut und in Kürze veröffentlichen wird. Auch bei diesem Thema wurde uns vor dem Hintergrund der Tragweite und der Adressaten schnell klar: das Projekt besteht gleichermaßen aus wasserwirtschaftlichen und aus kommunikativen Aufgaben. Den wasserwirtschaftlichen Teil konnten wir vollumfänglich im

eigenen Hause der Planung Wasserwirtschaft leisten. Dank des eigens aufgebauten Simulationsmodells können wir aktuell und zukünftig verschiedenste Entwicklungen und Szenarien abbilden und laufend aktualisieren. Somit sind wir nicht nur für unsere wasserwirtschaftlichen, sondern auch für Fragestellungen anderer Fachbereiche unverzüglich sprach- und handlungsfähig, z. B. wenn es um Nachverdichtungen, Neuerschließungen oder Flächenumnutzungen geht. Doch insbesondere die entwickelten Starkregengefahrenkarten haben einen enormen und vor allem vielschichtigen Adressatenkreis: die gesamte Stadtgesellschaft. Und auch hier ist der Blick über den eigenen Tellerrand erneut mehr als lohnenswert: um die fachlichen Informationen nun leicht verständlich und auf den verschiedensten Wegen an Grundstückseigentümer, katastrophenschutzrelevante Behörden wie Feuerwehr, Polizei oder Wasserbehörden, THW, die Stadtwerke Münster, Krankenhausbetreiber, Gewerbetreibende oder auch der Politik zu vermitteln, haben wir wertvolle Unterstützung bekommen. Teil des Projektteams bilden die Stabstellen „Klima“ und „Smart City“, die die Ingenieure hinsichtlich der gezielten Kommunikation maßgeblich unterstützen.

Die Einordnung des Themas in den Bereich „Smart City“ hat dabei zwei ganz entscheidende Vorteile: zum einen profitieren wir klassischer Weise sehr technisch geprägten Ingenieurinnen und Ingenieure sehr vom kommunikativen Know-how der Kolleginnen und Kollegen. Zum anderen bietet dieses Label den Bürgerinnen und Bürgern der Stadt einen gewissen Roten Faden und Wiedererkennungswert. Das Wasserthema wird somit neben anderen öffentlich wirksamen Entwicklungen und aktuellen Aktivitäten der Stadtverwaltung eingebettet und erfährt somit eine entsprechende Präsenz und Wertigkeit.

5 Fazit und Appell

Im Zuge dieser Entwicklungen wird immer deutlicher klar: wir müssen unsere Aufgaben und konkreten Projekte zum Ausgangspunkt unseres Handelns machen, nicht die Abhandlung altgeprägter Verwaltungsprozesse und Strukturen. Wir alle sollten den Mut haben und den Einsatz zeigen das voranzutreiben, was schon längst überfällig ist: klimaangepasste Lösungen und integrales Handeln zum Standard zu machen.

VERDUNSTUNG ALS ZIELGRÖÖE DER REGENWASSER- BEWIRTSCHAFTUNG UND STADTENTWICKLUNG

Birgitta Hörnschemeyer, Malte Henrichs und Mathias Uhl

Kurzfassung

Städte stehen in Zeiten des Klimawandels, der Urbanisierung sowie des demographischen Wandels zunehmend vor Belastungen. Mit einem neuen Verständnis von blau-grünen Infrastrukturen als wichtige Funktionsträger im urbanen Raum, sind sie mit den interagierenden Maßnahmenelementen Regenspeicher und Bewässerung integriert zu bewirtschaften, um die Verdunstung und die damit einhergehenden Ökosystemleistungen bestmöglich zu fördern. Der zielgerichtete Einsatz unterschiedlicher Planungsinstrumente kann eine optimierte Entscheidungsfindung in allen Planungsphasen der Objekt- und Quartiersplanung zusätzlich fördern.

Schlüsselwörter

Verdunstung, Wasserhaushalt, Energiehaushalt, blau-grüne Infrastrukturen (BGI), wasserbewusste Stadtentwicklung

1 Einführung

Planerische Konzepte, wie das international anerkannte Konzept des „water sensitive urban design“ [1], haben sich in den letzten Jahren in Deutschland etabliert. Das Positionspapier „Wasserbewusste Entwicklung unserer Städte“ [2] skizziert die künftige Entwicklung des Umgangs mit Wasser in den Kommunen. Demnach müssen Entwässerungssysteme neben den bestehenden Handlungszielen Entsorgungssicherheit, Gewässerschutz und Nutzungssicherheit auch Aufgaben der Klimaanpassung und des Ressourcenschutzes erfüllen. Herausgestellt werden Handlungsschwerpunkte, wie die Stärkung blau-grüner Infrastrukturen, die Aufwertung der Gewässer, die multifunktionale Flächennutzung, aber auch die Verbesserung des Stadtklimas.

Mit der neuen Arbeits- und Merkblattreihe DWA-A/M 102/ BWK-A/M 3 [3] ist der Stand der Technik für die Bewirtschaftung und Behandlung von Niederschlagsabflüssen vor Einleitung in Fließgewässer neu definiert. Der Wasserhaushalt des bebauten Gebietes soll demnach einem gleichartigen unbebauten Gebiet mit Kulturlandnutzung nahekommen. Oberflächenabfluss und Grundwasserneubildung lassen sich durch

Einsatz von Versickerungsmaßnahmen meist gut an den unbebauten Zustand anpassen. Für die Anpassung der Verdunstung dagegen ist oftmals eine gezielte Förderung durch optimierte Maßnahmenwahl vonnöten.

Eine gesonderte Rolle kommt der Verdunstung zusätzlich aus stadtklimatischer Sicht zu. Als Bindeglied zwischen Wasser- und Energiehaushalt steuert sie aufgrund des Effekts der Verdunstungskühlung ebenso die urbane Hitzeentwicklung (Abbildung 1). Eine zielgerichtete Förderung der Verdunstung ist somit auch aus stadtklimatischer Sicht ratsam.

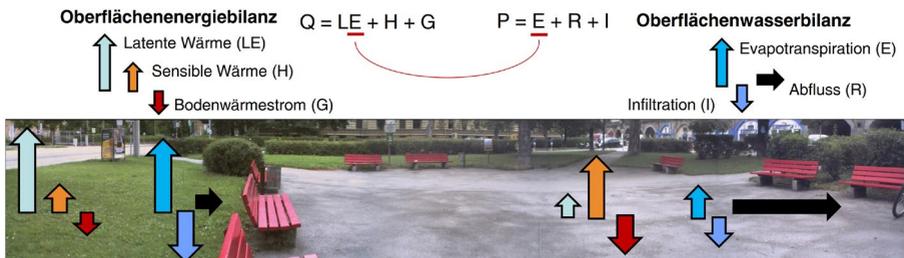


Abbildung 1: Verdunstung als Bindeglied zwischen Wasser- und Energiehaushalt [4]

2 Werkzeugkasten zur Bewirtschaftung der Verdunstung als Zielgröße

Aufgrund der Relevanz im urbanen Wasser- und Energiehaushalt ist es notwendig, der Verdunstung im planerischen Kontext einen besonderen Fokus zu geben. Planer*innen steht ein „Werkzeugkasten“ aus Maßnahmen und Instrumenten zur Verfügung, der eine bedarfsgerechte Anwendung in unterschiedlichen Phasen des Planungsprozesses zulässt. Dabei handelt es sich vorwiegend um bereits etablierte Methoden, die durch geschickte Kombination eine zielgerichtete Förderung der Verdunstung ermöglichen.

2.1 Maßnahmen

Blau-grüne Infrastrukturen (BGI) sind im urbanen Kontext als Teil des Entwässerungssystems zu sehen. Die wasserhaushaltliche Wirkung der BGI lässt sich durch eine gezielte Bewirtschaftung beeinflussen. Einflussfaktoren können beispielsweise Standortbedingungen (Beschattung und Bodencharakteristika), die Wahl der Vegetation (Verdunstungsstärke, Trockenresilienz) oder die Bewässerung (Bewässerungsziel, Steuerung) sein [5,6]. Aus diesem Grund wird eine integrierte Bewirtschaftung von BGI empfohlen, bei der die Elemente BGI, Regenspeicher und Bewässerung als ein interagierendes System verstanden und aufeinander abgestimmt werden (Abbildung 2).

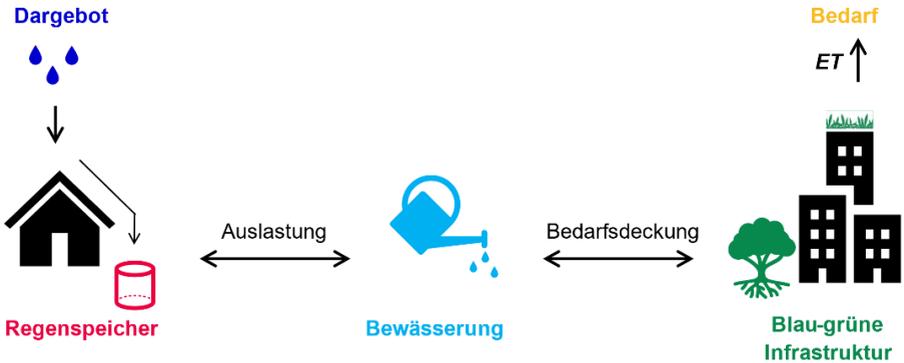


Abbildung 2: Integrierte Bewirtschaftung blau-grüner Infrastrukturen

Tabelle 1: Wirksamkeit von blau-grünen Infrastrukturen im Hinblick auf den Wasserhaushalt [3]

Maßnahme	Eignung zur		
	Minderung des Direktabflusses	Erhöhung der Grundwasserneubildung	Erhöhung der Verdunstung
Rückbau undurchlässiger Flächen	++	++	+
wasserdurchlässige Flächenbefestigung	+	+	+
Begrünung von			
– Freiflächen	++	+	++
– Dachflächen extensiv	+	–	+
– Dachflächen intensiv	++	–	++
– Gebäudefassaden	o	o	++
– Bäume, Großgehölze	o	o	++
Niederschlagswasserversickerung			
– oberirdisch	++	++	+
– unterirdisch	++	++	-
Regenwassernutzung			
– als Betriebswasser	++	–	–
– für Bewässerung	+	o	++
offene Wasserfläche	o	-	+
Rückhaltung ohne Dauerstau	o	–	o
ANMERKUNGEN			
++ sehr gut geeignet	+ gut geeignet	o wenig geeignet	– nicht geeignet

Blau-grüne Infrastrukturen sind im urbanen Raum als Anlagen der Regenwasserbewirtschaftung (RWB), Oberflächengewässer sowie öffentliche und private Grünflächen definiert. Sie nehmen Abflüsse dezentral auf, mindern damit den Abfluss durch das zentrale Entwässerungssystem und fördern die Verdunstung und Grundwasserneubildung. Neben der wasserwirtschaftlichen Funktion erfüllen sie gleichzeitig die Belange des Städtebaus, der Freiraumplanung sowie der Klimavor-sorge [2].

Die Maßnahmen der RWB haben sich in der Praxis bewährt und gelten als allgemein anerkannte Regel der Technik. In Hinblick auf den Wasserhaushalt ist die Wirkung von öffentlichen und privaten Grünflächen jedoch ebenso hervorzuheben. Das Merkblatt DWA-M 102-4 stellt eine Übersicht zur Wirksamkeit verschiedener Maßnahmengruppen auf die Komponenten des Wasserhaushaltes bereit (Tabelle 1). Mit diesem Wissen können Maßnahmen zielgerichtet ausgewählt werden. Falls möglich, sind bei der Wahl der Vegetation klimaangepasste Arten zu bevorzugen. Informationen finden sich beispielsweise in [7].

Die **Bewässerung** der Vegetation erfolgt vornehmlich in den Sommermonaten (ca. Mai bis September) und stellt die Pflanzenvitalität und somit eine fortwährende Verdunstung sicher. Aus Sicht des Ressourcenschutzes sollte der Bewässerungsbedarf bestmöglich durch Regen- oder Grauwasser gedeckt werden [8]. Für eine größtmögliche Effizienz ist eine bedarfsgerechte Auslegung der Bewässerung unter Abstimmung auf die Vegetation sowie die Standortbedingungen zu empfehlen [6]. Die Ausführung der Bewässerung kann manuell oder gesteuert erfolgen. Untersuchungen zeigen die höchsten Verdunstungsraten bei einer dynamischen Steuerung in Abhängigkeit der Bodenfeuchte [9]. Aufwand und Nutzen sind jedoch im Einzelfall abzuwägen.

Regenspeicher nach DIN 1989 [10] nehmen Niederschlagsabflüsse als Ressource zur Bewässerung und/oder für die Toilettenspülung auf. Untersuchungen zeigen, dass die Dimensionierung zukünftig bedarfs- und wirkorientierter ausfallen sollte [9]. Die Integration eines zusätzlichen Retentionsvolumens zur Entlastung der Kanalisation im Starkregenfall ist möglich. Falls ausreichend Platz zur Verfügung steht, ist aus Gründen der Kosteneffizienz die oberirdische Speicheranordnung der unterirdischen zu bevorzugen.

2.2 Instrumente

Planungsinstrumente unterstützen im Planungsprozess dabei, die o. g. Maßnahmen zu entwickeln und Entscheidungen für Vorzugslösungen begründet zu treffen. In Abhängigkeit der Planungsphase sind verschiedene Instrumente einsetzbar, die die Zielgröße Verdunstung unterschiedlich differenziert betrachten.

Mit dem DWA-A/M 102 ist die **Wasserhaushaltsbilanz** zur Bewirtschaftung des Niederschlagswassers einfach möglich. Ziel ist es, bereits im Rahmen der Bauleitplanung zu einer sachgerechten Auswahl von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung zu kommen, mit denen eine Wasserbilanz der unbebauten Kulturlandschaft weitgehend aufrechterhalten werden kann.

Als Referenzzustand für die Planung dient die Wasserbilanz des zugehörigen unbebauten Kulturlandes mit derzeitiger Nutzung. Die Differenzen der Wasserbilanzen des Referenzzustandes und des bebauten Zustandes werden durch ortsgerechte Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung im betrachteten Gebiet ausgeglichen (Abbildung 3).

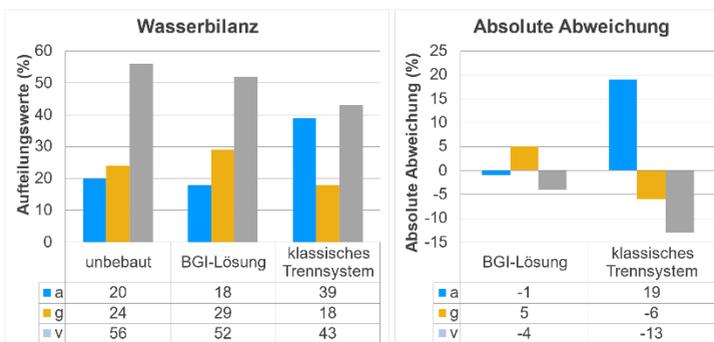


Abbildung 3: Exemplarische Ergebnisse einer Wasserhaushaltsbilanzierung

Hotspot-Analysen dienen der vereinfachten Identifikation defizitärer Bereiche und können die Entscheidung zur Maßnahmenverortung unterstützen. Sie finden einerseits bei Defizit- und Bedarfsanalysen in frühen Planungsphasen und andererseits bei der Entscheidungsfindung im späteren Planungsverlauf Anwendung. Die im BMBF-Verbundvorhaben „R2Q – RessourcenPlan im Quartier“ (FKZ 033W102) entwickelte „lokal-funktionale Bewertung“ stellt eine räumliche Potentialabschätzung unterschiedlicher urbaner Funktionen im planerischen Kontext bereit. In Abhängigkeit von Eigenschaften der Oberflächengestalt, Lage und Nutzung einer Fläche wird für die Funktion „Verdunstung“ ein geringes bis hohes Verdunstungspotential ermittelt, das in Karten übersichtlich dargestellt werden kann (Abbildung 4). In Kombination mit weitergehenden, ressourcenübergreifenden Funktionen ist eine Aussage zu übergeordneten Transformationszielen, wie z. B. Klimaanpassung, ebenfalls möglich. Die Darstellung der Auswirkungen von Planungen und künftige Situationen kann die Maßnahmenwahl oder -verortung unterstützen. Tiefgehende Informationen können dem „Leitfaden RessourcenPlan“ [9] sowie [11] entnommen werden.

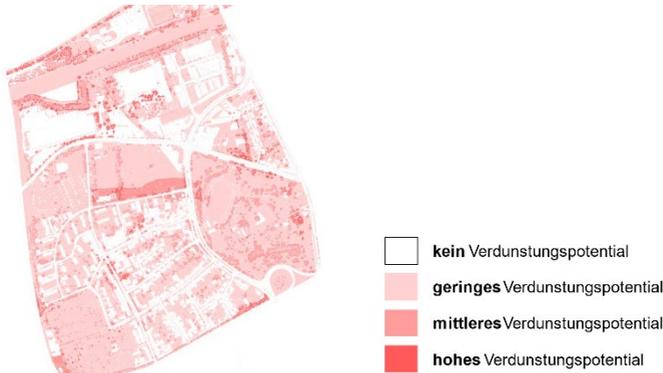


Abbildung 4: Räumliche Darstellung des Verdunstungspotentials als Ergebnis der lokal-funktionalen Bewertung

Für detailliertere Planungen im fortschreitenden Planungsprozess sind **stadthydrologische Simulationsmodelle** zweckmäßig. Die Modellierung erfolgt dabei mittels Langzeitsimulationen zur Effizienzkontrolle bzw. zum Vergleich unterschiedlicher Maßnahmenkonfigurationen. Im Kontext der Verdunstung können beispielsweise die Wasserbilanz, Trockenzustände des Bodens oder das Verhalten in Sommerperioden ausgewertet werden.

Simulationsmodelle wie das „Storm Water Management Model“ der US EPA bieten die Möglichkeit der Niederschlag-Abfluss-Simulation urbaner Entwässerungssysteme unter Integration blau-grüner Infrastrukturen. Das Teilmodell SWMM-UrbanEVA [12] beseitigt bisherige Defizite der stark vereinfachten Verdunstungsmodellierung von SWMM und eignet sich insbesondere zur Modellierung von Maßnahmen der blau-grünen Infrastruktur. Die Einflussnahme lokaler Standortbedingungen wie der Beschattung kann vereinfacht beachtet werden. Eine vollumfängliche Bilanzierung des Energiehaushalts erfolgt nicht.

Stadtklimatische Simulationsmodelle berechnen die klimatischen Bedingungen im urbanen Raum in Abhängigkeit von der Stadtstruktur und mikroklimatischen Bedingungen. Gängige Ausgabeparameter zur Beschreibung des auftretenden Hitzestresses sind biometeorologische Größen, wie z. B. der physiologischen Äquivalenttemperatur (PET) oder des universellen thermischen Klimaindexes (UTCI). Werden blau-grüne Infrastrukturen in das Modell integriert, können Effekte der Verdunstungskühlung analysiert werden (z. B. [13]).

3 Fazit

Die Verdunstung als Bindeglied zwischen Wasser- und Energiehaushalt geht als wichtige Bewirtschaftungsgröße in Planungen des Städtebaus und der Wasserwirtschaft ein. Mittels wasserbewusster Stadtplanung kann eine Förderung der Verdunstung ortsspezifisch erfolgen.

Planer*innen steht ein Werkzeugkasten mit verschiedenen Maßnahmen und Instrumenten zur Verfügung. Die enthaltenden Methoden sind bereits etabliert und entsprechen dem Stand der Technik. Ein neues Verständnis besteht für öffentliche und private Grünflächen, die als Teil der blau-grünen Infrastrukturen wichtige wasserwirtschaftliche sowie ökosystemische Funktionen im urbanen Raum übernehmen. Zu deren Förderung sind blau-grüne Infrastrukturen, Regenspeicher und Bewässerung als interagierende Elemente zu bewerten, deren „wasserbewusste“, integrierte Bewirtschaftung einen zielgerichteten und effizienten Einsatz ermöglicht. Die Anwendung unterschiedlicher Planungsinstrumente fördert dabei eine optimierte und begründete Entscheidungsfindung in allen Planungsphasen der Objekt- und Quartiersplanung.

4 Danksagung

Ein besonderer Dank gilt dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die finanzielle Förderung des Verbundvorhabens „RessourcenPlan im Quartier“ (R2Q) (Förderkennzeichen 033W102).

5 Literaturangaben

- [1] Fletcher TD, Shuster W, Hunt WF, et al. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal* 2015; 12: 525–542. doi:10.1080/1573062X.2014.916314
- [2] DWA. DWA-Positionen: Wasserbewusste Entwicklung unserer Städte. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA); 2021
- [3] DWA-A/M 102/ BWK-A/M 3. DWA-Regelwerk: Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwasserabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer - Merkblattreihe Teil 1-4. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA); 2020
- [4] Back Y, Bach PM, Jasper-Tönnies A, et al. Latente vs. sensible Wärme: Warum dezentrale Entwässerungssysteme mehr als nur versickern können und

- wie man sie optimiert. In: Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV), Hrsg. Tagungsband Aqua Urbanica 2021 - Schwammstadt - Versickerung 2.0? Innsbruck, Österreich: Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV); 2021: 138–142
- [5] Costello LR, Matheny NP, Clark JR, et al. A Guide to Estimating Irrigation Water Needs of Landscape Plantings in California. The Landscape Coefficient Method and WUCOLS III. Sacramento, California, USA: University of California Cooperative Extension California Department of Water Resources; 2000
- [6] FLL. Bewässerungsrichtlinien - Richtlinien für die Planung, Installation und Instandhaltung von Bewässerungsanlagen in Vegetationsflächen. 2. Aufl. Bonn: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL); 2015
- [7] Roloff A, Gillner S, Bonn S. Vorstellung der KlimaArtenMatrix für Stadtbaumarten (KLAM-Stadt). Gehölzenwahl im urbanen Raum unter dem Aspekt des Klimawandels. In: Bund Deutscher Baumschulen (BdB) e.V., Hrsg. Klimawandel und Gehölze. Sonderheft Grün ist Leben. Pinneberg: Signum; 2008: 30–42
- [8] Eisenberg B, Minke R, Steinmetz, H, et al. Zu viel – zu wenig: Wie können Lösungen für eine nachhaltige Bewässerung von Stadtgrün aussehen? In: Deutscher Städte und Gemeindebund (DStGB) und Deutsches Institut für Urbanistik (Difu), Hrsg. Hitze, Trockenheit und Starkregen. Klimaresilienz in der der Stadt der Zukunft. Berlin: Deutscher Städte und Gemeindebund; 2022: 23–24
- [9] R2Q. Leitfaden RessourcenPlan. Münster: IWARU Institut für Infrastruktur Wasser Ressourcen Umwelt; 2023
- [10] DIN 1989-1. Regenwassernutzungsanlagen - Teil 1: Planung, Ausführung, Betrieb und Wartung. Berlin: Beuth Verlag GmbH; 2002
- [11] Hörnschemeyer B, Söfker-Rieniets A, Niesten J, et al. The ResourcePlan - An Instrument for Resource-Efficient Development of Urban Neighborhoods. Sustainability 2022; 14: 1522. doi:10.3390/su14031522
- [12] Hörnschemeyer B, Henrichs M, Uhl M. SWMM-UrbanEVA: A Model for the Evapotranspiration of Urban Vegetation. Water 2021; 13: 243. doi:10.3390/w13020243
- [13] Sieker H, Steyer R, Büter B, et al. Untersuchung der Potentiale für die Nutzung von Regenwasser zur Verdunstungskühlung in Städten. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt; 2019

SMART CITY

SMARTE STADTENTWÄSSERUNG

WAS IST DAS EIGENTLICH?

Malte Henrichs und Birgitta Hörnschemeyer

Kurzfassung

Der Beitrag gibt eine kurze Einführung in den Themenkomplex Wasser 4.0 und die Verwendung eines digitalen Zwillings für den Betrieb von abwassertechnischen Anlagen.

Schlüsselwörter

Wasser 4.0, Digitalisierung, digitaler Zwilling

1 Einführung

Die Frage nach der smarten Stadtentwässerung beantwortet die KI ChatGPT wie folgt:

„Smarte Stadtentwässerung ist ein Konzept, bei dem moderne Technologien wie Sensoren, Datenanalyse und Automatisierung eingesetzt werden, um die Entwässerungsinfrastruktur in Städten effizienter und nachhaltiger zu gestalten. Ziel ist es, Überschwemmungen zu vermeiden, das Abwasser sicher und hygienisch zu behandeln und gleichzeitig den Ressourcenverbrauch und die Umweltauswirkungen zu minimieren.“ (abgerufen am 06.01.2023 www.chat.openai.com)

Smarte Stadtentwässerung kann als ein Baustein der smarten Wasserwirtschaft oder Wasser 4.0 eingeordnet werden. Im gesamtstädtischen Kontext ist Wasser 4.0 dem Themenkomplex Smart City zuzuordnen. Dabei stehen in der Smart City die Hauptsektoren Smart Grids (Energieversorgung), Transport (Mobilität und Transport), Smart Health (Gesundheit und Sicherheit), Smart Home (intelligente Gebäude) sowie Smart Water & Waste (Wasser und Abfall) im Mittelpunkt der Betrachtung ([1], [2], [3]). Das Konzept Wasser 4.0 verfolgt dabei die folgenden Ziele:

- Ressourcen- und energieeffiziente Wasserwirtschaft
- Nutzung intelligenter System zur wertvolleren Nutzung von Ressourcen
- Vermeidung unnötiger Wasserverluste
- Reduktion des Energieverbrauchs
- Erhöhung der Nachhaltigkeit

2 Industrie 4.0 und Wasser 4.0

Das Konzept Wasser 4.0 lehnt sich an die Industrie 4.0 an. Industrie 4.0 bezeichnet nach [1] die Vernetzung von Menschen, Maschinen, Objekten sowie Systemen der Informations- und Kommunikationstechnik mit dem Ziel eines dynamischen Managements von komplexen Systemen. Das Besondere an dieser Vernetzung stellen Echtzeitfähigkeit und Intelligenz dar. Tabelle 1 listet die historischen Stufen der industriellen und wasserwirtschaftlichen Revolution auf.

Tabelle 1: Stufen der industriellen und wasserwirtschaftlichen Revolution nach [4]

	Industriell	wasserwirtschaftlich
1. Revolution	mechanische Produktionsanlagen mechanischer Webstuhl (1784)	Einsatz von Stahl für Dampfkessel erste Dampfmaschine (1712)
2. Revolution	Arbeitsteilige Massenproduktion Fließband Schlachthof (1870)	Energiegewinnung mittels Turbinen und Pumpen Wasserkraftwerk (1897)
3. Revolution	Automatisierung SPS-Einführung (1969)	Simulationsmodelle Einsatz von IT-Systemen (1977)
4. Revolution	Digitalisierung und Vernetzung Internet der Dinge, intelligente Endgeräte, cyberphysische Systeme (2010+)	Vernetzung realer und virtueller Wassersysteme Echtzeit- und Vorhersagemodelle (2010+)

Es wird deutlich, dass das Konzept Industrie 4.0 die industrielle Produktion in den Fokus nimmt [1]. Für die Wasserwirtschaft ist dieses Konzept daher nicht direkt übertragbar, so dass eine Bewertung der vorhandenen Ansätze erfolgen sowie die Übertragbarkeit geprüft werden muss. Dabei können die Stärken von Wasser 4.0 als Matrix in den vier Unternehmensdimensionen (i) Mensch, (ii) Organisation, (iii) Technik und (iv) Geschäftsmodelle sowie in den Funktionsbereichen (i) Datenerfassung & Verarbeitung, (ii) Assistenzsysteme, (iii) Vernetzung & Integration, (iv) Dezentralisierung & Serviceorientierung und (v) Selbstorganisation & Autonomie aufgeschlüsselt werden [1].

3 Smart Water in der Smart City Charta

Die Smart City Charta [3] des BBSR stellt für die digitale Transformation die vier folgenden Leitlinien in den Mittelpunkt. Digitale Transformation braucht (i) Ziele, Strategien, und Strukturen, (ii) Transparenz, Teilhabe und Mitgestaltung, (iii) Infrastrukturen, Daten und Dienstleistungen sowie (iv) Ressourcen, Kompetenzen und Kooperationen. Dabei wird herausgestellt, dass Digitalisierung kein Selbstzweck ist, sondern „im sozialen, ökologischen wie auch ökonomischen Sinne nachhaltigen Zielen“ dient [3]. Diese Leitlinien müssen bei der Einführung bzw. weiteren Umsetzung von Wasser 4.0 konsequent berücksichtigt werden. Im Besonderen ist bei der Entwicklung von Strategien (z. B. unternehmensweite oder kommunale Digitalisierungsstrategie) darauf zu achten, dass diese die Kriterien der IT-Sicherheit erfüllen (BSI-Gesetz [5], Branchenstandard Wasser/Abwasser [6]). Generell sollten individuelle Lösungen vermieden werden, da diese mit den dynamischen Entwicklungen im IT-Bereich in Bezug auf Fortschreibung und Pflege nicht vereinbar sind [1].

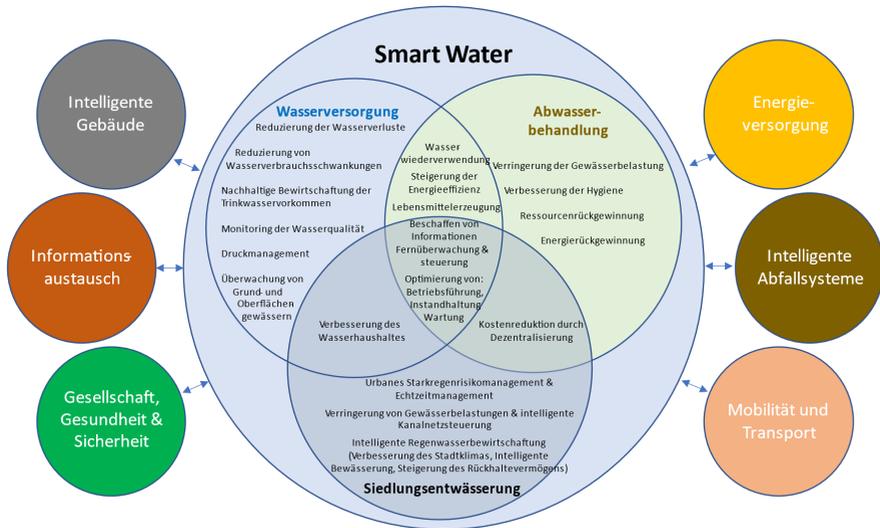


Abb. 1: Smart Water als Teil der Smart-City Konzepte [2]

Abb. 1 veranschaulicht die Verknüpfungen von Smart Water (Wasser 4.0) zu den weiteren Bereichen der Smart City. Dabei stehen nach [3] immer die Bedarfe der Menschen im Mittelpunkt. Smarte Konzepte müssen sektorübergreifend das Ziel der Klimaneutralität und Ressourceneffizienz im Fokus haben.

Smart Water besteht als Teil der Smart City aus den Teilbereichen Wasserversorgung, Abwasserbehandlung sowie Siedlungsentwässerung und hat die Aufgabe Informationen zu beschaffen und zu verarbeiten, um den Betrieb der Anlagen zu optimieren [2]. Abb. 1 listet wichtige Ziele der Wasserwirtschaft auf und ordnet diese den Teilbereichen zu.

4 Digitaler Zwilling

Der digitale Zwilling stellt ein virtuelles Abbild der physischen Welt dar (vgl. Abb. 2). Im Sinne der Stadtentwässerung könnte dieses virtuelle Abbild z. B. ein Kanalnetzmodell sein. Abb. 2 visualisiert diverse Komponenten eines so genannten cyber-physischen System (CPS), welches aus dem realen System und dem digitalen Zwilling besteht. Dieses System kann exemplarisch zur Kanalnetzsteuerung eingesetzt werden, mit den Zielen Reduktion der Gewässerbelastung und Vermeidung von hydraulischen Stößen auf einer Kläranlage.

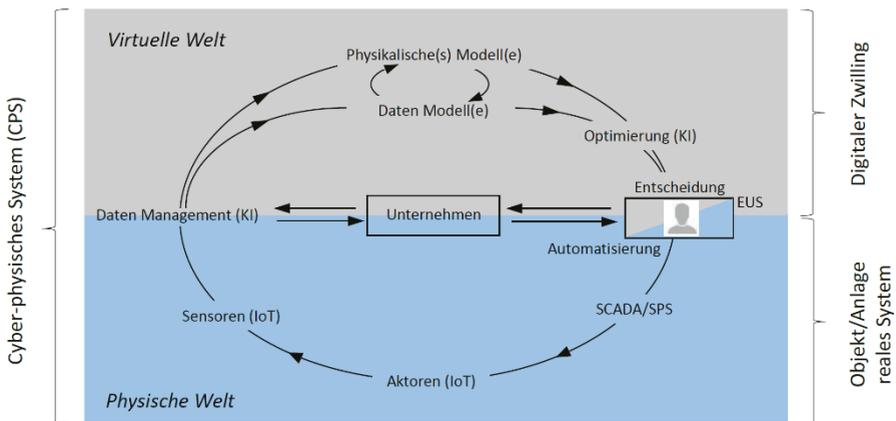


Abb. 2: Schematische Darstellung der Einbindung eines Digitalen Zwillings in ein cyber-physisches System [7]

In der physischen Welt werden hierfür die Bausteine Messen (Sensoren), Steuern (Aktoren) und Regeln (SCADA/SPS) benötigt. Die Entscheidung über die Steuerung von Schiebern und Pumpwerken im Netz erfolgt in einem manuellen System durch das Betriebspersonal in der Leitwarte.

Durch den Aufbau eines digitalen Zwillings kann auf Basis der gemessenen Daten mittels Sensoren (z.B. Wasserstände im Kanalnetz) und der Vernetzung mit Niederschlagsprognosen ein Simulationsmodell (physikalisches oder Daten Modell) in Echtzeit betrieben werden, so dass es Entlastungsmengen in ein Gewässer und Weiterleitungsmengen zur Kläranlage prognostizieren kann. Auf der Basis dieser Prognoserechnungen kann der Baustein Optimierung für die o.g. Ziele die Einstellungen der Aktoren (Schieber, Pumpen) verbessern. Durch ein Entscheidungsunterstützungssystem (EUS) findet eine Verknüpfung zwischen physischer und virtueller Welt statt. Die reale Steuerung des Systems kann entweder durch einen Vorschlag an das Betriebspersonal oder durch eine vollständige Automatisierung durch Umsetzung der Optimierungsergebnisse erfolgen.

Durch den Einsatz des beschriebenen digitalen Zwillings eines Kanalnetzes findet weiterhin ein ständiger Abgleich der Ergebnisse zwischen Simulationsmodell und Messdaten statt. Dieser Abgleich könnte dann zu einer Echtzeit-Modellkalibrierung genutzt werden. Weiterhin können hierdurch Defekte in den Sensoren erkannt werden.

5 Ausblick

Die digitale Transformation und das Zeitalter von Wasser 4.0 bringen neue Chancen und Herausforderungen für die Wasserwirtschaft mit sich. Die Betreiber von Wasserinfrastrukturen müssen für ihr jeweiliges Unternehmen differenzierte Digitalisierungsstrategien entwickeln [8]. Dies erfordert die Integration des Themenkomplexes Wasser 4.0 in die Aus- und Weiterbildung aller Fachkräfte.

Aufgrund der hohen Agilität von Entwicklungen im IT-Bereich sind Individuallösungen nur schwer auf dem aktuellen Stand zu halten. Es muss das Ziel sein, branchenspezifische Lösungen mit festgelegten Standards zu entwickeln.

Es lässt sich abschließend festhalten, dass smarte Stadtentwässerung als Baustein von Wasser 4.0 ein sehr gutes und erstrebenswertes Konzept zur Erhöhung der Ressourcen- und Energieeffizienz ist.

6 Literaturangaben

- [1] Pachaly, U. und Jumar, U. (2017): Konzepte von Industrie 4.0 für die Abwasserwirtschaft - Ein Strukturierungsansatz für die Identifizierung zentraler Handlungsfelder. KA Korrespondenz Abwasser, Abfall 64 (6). S. 484-495.

- [2] Dilly, T., Schmitt, T.G. und Dittmer, U. (2019): Smart Water: Konzepte für einen intelligenten Umgang mit Wasser in der Stadt der Zukunft. KA Korrespondenz Abwasser, Abfall 66 (10). S. 802-811.
- [3] Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (2021): Smart City Charta, Digitale Transformation in den Kommunen nachhaltig gestalten.
- [4] Vestner, R. und Keilholz, P. (2016): Was bedeutet der „4.0-Ansatz“ für die Wasserwirtschaft? GWA – Gewässerschutz, Wasser & Abwasser Band 239, S. 7/1 – 7/13.
- [5] Gesetz über das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI-Gesetz - BSIG)
- [6] DWA-M 1060 (2022): IT-Sicherheit - Branchenstandard Wasser/Abwasser.
- [7] Vestner, R.J. (2019): Der Digitale Zwilling in der Wasserwirtschaft. KA Korrespondenz Abwasser, Abfall 66 (12). S. 1014-1020.
- [8] DWA Positionen: Digitalisierung in der Wasserwirtschaft - DWA nimmt die Herausforderungen der digitalen Entwicklung an. https://de.dwa.de/files/_media/content/01_DIE_DWA/Politikinformationen/Positionspapiere/Positionspapier_Digitalisierung_in_der_Wasserwirtschaft_2020_Netz.pdf. (zuletzt abgerufen am 7.1.2023).

SMART CITY MEETS SMART ENVIRONMENT - PERSPEKTIVEN FÜR DIE WASSERWIRTSCHAFT DURCH DEN EINSATZ INNOVATIVER SCHWARMSENSORIK

**André Niemann, Thorsten Mietzel, Benjamin Freudenberg und
Florian Leischner**

Kurzfassung

Unter dem Begriff Smart City werden heute in vielen Städten IoT-Sensoren verwendet, um Parkraum zu überwachen, Daten zur Luftqualität zu sammeln, Wetterdaten zu messen, die Füllung von Abfallbehältern zu kontrollieren und vieles mehr. Wasserwirtschaftliche Aspekte spielen hier heute aber nur eine untergeordnete Rolle. In diesem Beitrag werden einige Beispiele präsentiert, wie IoT-Sensoren für die Prognose von Bewässerungsbedarf von Bäumen, die prognosegesteuerte Bewirtschaftung von dezentralen Speichern, für die Überwachung insbesondere auch von kleineren Gewässern und den fischverträglichen Betrieb von Wasserkraftanlagen genutzt werden können. Es werden darüber hinaus die verwendeten Techniken und deren betriebliche Anforderungen näher erläutert.

Schlüsselwörter

IoT-Sensoren, Smart City, Smart Water, Monitoring, Blau-grüne Infrastruktur, Vorhersagegestützter Betrieb, Schwarmsensorik

1 Neue Daten und Datenarchitekturen für die Wasserwirtschaft

Der Überbegriff Smart City fasst eine Vielzahl von Technologien und Daten zusammen, die genutzt werden, um die Lebensqualität der Bürger zu verbessern, die Effizienz und Nachhaltigkeit zu steigern und die Kosten der Bürger oder Verwaltung zu senken. Dazu gehört die Integration einer breiten Palette von Systemen wie z. B. Verkehr, Energie, Wasserver- und Entsorgung, Abfallwirtschaft und öffentliche Dienste, die alle über das Internet der Dinge (IoT) und andere digitale Technologien miteinander verbunden sind. Diese Integration ermöglicht die Sammlung und Analyse von Daten, die dazu genutzt werden können, die Leistung dieser Systeme zu optimieren und sie besser auf die Bedürfnisse der Bürger auszurichten.

Eines der Hauptziele einer Smart City besteht darin, die Lebensqualität der Einwohner zu verbessern, indem die Umweltverschmutzung, Verkehrsstaus und Kriminalität verringert und gleichzeitig öffentliche Dienstleistungen wie Gesundheitsversorgung, Bildung und öffentlicher Nahverkehr verbessert werden. Darüber hinaus zielen Smart

Cities auf eine effizientere Nutzung von Ressourcen wie Energie und Wasser sowie auf die Förderung der wirtschaftlichen Entwicklung ab.

Die Umsetzung einer intelligenten Stadt kann je nach den spezifischen Bedürfnissen der Stadt variieren, und es gibt aktuell keine Standards und keine einheitlichen Methoden zum Aufbau einer solchen. Sie umfasst aber immer die Implementierung von IoT-Sensoren, die Nutzung von Datenanalysen und meistens auch aufgrund der Datenmenge Verfahren der künstlichen Intelligenz.

IoT-Sensoren zeichnen sich im Wesentlichen dadurch aus, dass sie mit dem Internet verbunden sind und Daten sammeln und übertragen können. Diese Sensoren können für eine Vielzahl von Parametern eingesetzt werden, z. B. zur Überwachung von Temperatur, Feuchtigkeit, Bewegung, Lärm und anderen Umweltfaktoren. Sie werden unter dem Begriff Industrie 4.0 auch für die industrielle Automatisierung, die Verfolgung des Standorts von Vermögenswerten und für die Sicherheit und Überwachung eingesetzt.

Im Smart City Kontext spielen wasserwirtschaftliche Aspekte aktuell noch eine meist untergeordnete Rolle. Die trockenen Sommer der vergangenen Jahre haben den Aufwand für die Bewässerung der grünen urbanen Infrastruktur (z.B. Stadtbäumen) deutlich erhöht. Auch hier steigt der Bedarf Informationen über die Trockenheit bzw. die Feuchte der Böden in Echtzeit zu erhalten, um die Bewässerung zielgerichteter zu planen und ggf. auch die Bevölkerung zu beteiligen. Abbildung 1 skizziert die Idee einer multifunktionalen Echtzeitsteuerungsstrategie. Dezentrale Speicher können mit Hilfe von IoT-Sensorik bedarfsgerecht gesteuert werden und so bei Trockenheit die grüne Infrastruktur bewässern oder durch rechtzeitige Entleerung Retentionsvolumen für prognostizierte Niederschlagsereignissen bereitstellen.

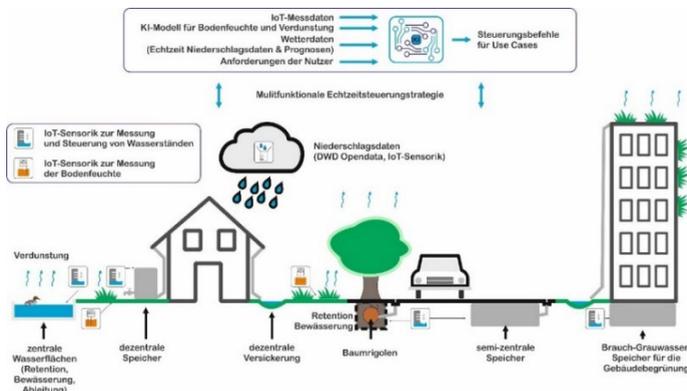


Abbildung 1: Multifunktionale Echtzeitsteuerungsstrategie für die Use Cases Vorentleerung vor Niederschlag, Bewässerung der grünen Infrastruktur, Brauchwasserbereitstellung und begrünte Fassaden

Innovative IoT-Anwendungen beschränken sich nicht mehr nur auf die Städte. In der Vision, die heute schon in vielen Pilotprojekten erprobt wird, entwickelt sich die Smart City über die Stadtgrenzen hinaus zum Smart Environment.

2 Neue Anwendungsbereiche für die Wasserwirtschaft durch IoT

Regenwasserbewirtschaftung und Gewässerentwicklung sind zentrale Aspekte der modernen Stadtplanung, auch im Rahmen von Smart-City-Initiativen. Die Umsetzung einer smarten blau-grünen Infrastruktur ist ein vielversprechender Ansatz zur Begegnung der Herausforderungen, die das Stadtklima und extreme Wetterereignisse wie Dürren und Starkregenniederschläge mit sich bringen. Eine Herausforderung dabei ist jedoch, Smart Water Lösungen in den Bestand zu integrieren. Im Rahmen des durch das Programm REACT-EU von Land NRW und EU geförderten Forschungsvorhabens Smart Green City (SGC) wurden Lösungen hierfür entwickelt [1]. Ein für die Stadt Bochum entwickeltes Werkzeug stellt eine flächendeckende Kartierung der Bodenfeuchte bereit. Es basiert im Wesentlichen auf einer Schwarmsensorik, also eine Vielzahl von Sensoren mit einer hohen räumlichen Dichte, von IoT-Bodenfeuchtesensoren und einem KI-Modell, sowie einem Dashboard zur Visualisierung. Adressaten sind hier zum einen die städtischen Betriebe, die ihre Bewässerungsstrategien und -routen bedarfsgerecht planen können. Zum anderen aber auch der Bürger, dem lokal der Bewässerungsbedarf der Stadtbäume "vor seiner Tür" dargestellt wird. Ein weiterer Teil des Projektes ist die Entwicklung einer intelligenten Zisterne. Diese soll je nach Anwendungsfall

- bei prognostizierten Niederschlägen Retentionsvolumen schaffen, indem frühzeitig Wasser aus der Zisterne abgelassen wird,
- oder bei Trockenheit die Pflanzen in der Umgebung bewässern,
- oder benachbarte Versickerungsanlagen vor einem Niederschlagsereignis bewässern, um so die Versickerungsfähigkeit der Böden zu erhöhen.

Der jeweilige Anwendungsfall und zusätzliche Parameter lassen sich über ein Dashboard für jeden einzelnen Speicher individuell einstellen. Die Methoden für einen vorhersagegestützten Betrieb werden in SGC am Beispiel von dezentralen Speichern getestet und demonstriert. Sie eignen sich aber grundsätzlich auch für die Bewirtschaftung von größeren Speichern und großen Wasserflächen im urbanen Raum.

Ebenfalls in SGC wurde der Themenschwerpunkt Baumrigolen bearbeitet. Diese Anlagen sind oft Teil von Schwammstadtkonzepten. Als solche sollen sie eine sichere Retention und Ableitung von Niederschlagwasser sicherstellen, gleichzeitig aber auch den Baum in längeren Trockenperioden mit Wasser versorgen. Aspekte wie Wurzelfäule und die Bereitstellung von ausreichendem Speichervolumen für nachfolgende

Niederschlagsereignisse müssen dabei berücksichtigt werden. Da spezielle Bemessungsrichtlinien für Baumrigolen fehlen werden sie aktuell wie Versickerungsanlagen bemessen. Das führt dazu, dass eine zeitnahe Entleerung angestrebt wird und die Aspekte der Baumbewässerung bei der Bemessung keine Rolle spielen. Im Rahmen von SGC wurde mehrere Baumrigolen mit IoT-Sensoren ausgerüstet, um so die Entleerungszeiten der Rigolen zu untersuchen. Es zeigt sich, dass, wie durch die Bemessung erwartet, die Speicher bereits nach unter 24 h geleert sind. Zukünftige Forschungsvorhaben müssen hier neue Bemessungsgrundlagen schaffen, die neben der sicheren Ableitung von Niederschlägen auch die grüne Infrastruktur berücksichtigen.

Auch in der großräumigeren Wasserwirtschaft ergeben sich neue Anwendungsbereiche und Datenarchitekturen. Vor allem durch das Katastrophenhochwasserereignis vom Juli 2021 in Teilen von Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen ist die Anwendung und die Implementierung an Messsystemen auch in kleineren Einzugsgebieten mit schnell anlaufenden Hochwasserscheiteln deutlich gestiegen. Durch die Befestigung von Sensoren an bestehender Infrastruktur wie z. B. Brücken über Gewässern kann mit IoT-Sensoren dieser Bedarf flexibel und mit überschaubarem Aufwand gedeckt werden. Insbesondere die nicht notwendigen Anschlüsse an Strom und Internet ermöglichen eine schnelle und kompakte Verfügbarkeit. Derartige Systeme können so auch als individuelle Frühwarnsysteme aufgestellt werden, welche dann die betrieblichen Anforderungen gezielt unterstützen können.

In Dürreperioden können Niedrigwassersituationen auftreten, die sich schädlich auf das Gewässerökosystem auswirken können. Besonders betroffen davon sind kleine Fließgewässer, die jedoch zugleich datentechnisch häufig kaum erfasst sind. Mit IoT-Niedrigwassersensoren und Langdistanzkommunikation lassen sich hier diese hydraulischen Stresssituationen für dezentrale Standorte sichtbar machen. Auch physiko-chemischer Stress kann anhand von Daten nachvollzogen werden. Als besonders robust und wartungsarm erweisen sich hier IoT-Temperatur- und -Leitfähigkeitssensoren. Bereits jetzt können zusätzlich auch pH-Wert, gelöster Sauerstoff und Redoxpotenzial erfasst werden. Letztgenannte eignen sich aufgrund des einhergehenden Wartungsaufwands der Sensoren jedoch zurzeit primär als temporäre, mobile Lösung einer temporären operativen Überwachung. International entstehen aktuell die ersten großräumigen – ausschließlich IoT-basierten – Monitoringsysteme in Einzugsgebieten, welche die bestehende Überwachung der Gewässerqualität zum Ziel haben [2].

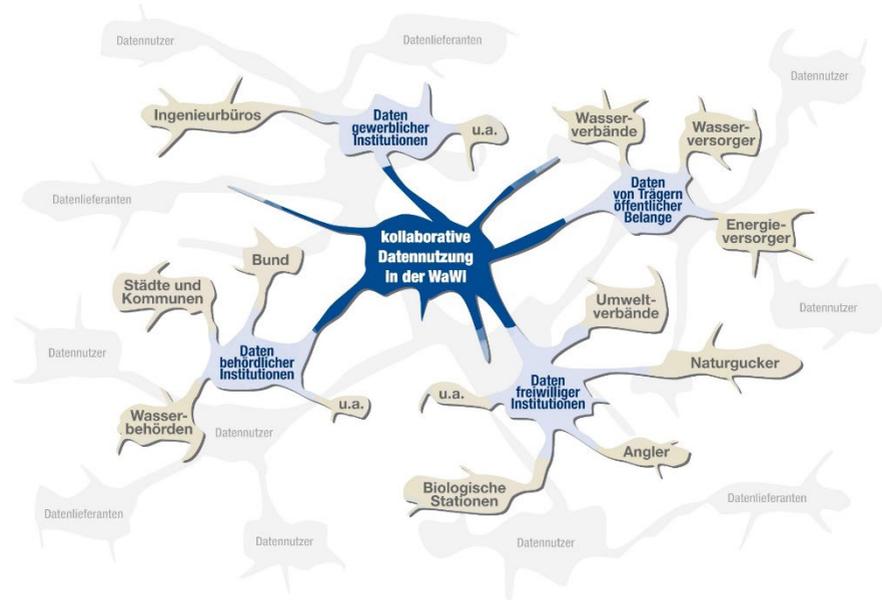


Abbildung 2: Stakeholder einer Datenarchitektur für eine shared-data Strategie für eine kollaborative Datennutzung in der Umwelt- und Wasserwirtschaft [3].

Wie IoT-Sensorik auch bei betrieblichen Fragestellungen eingesetzt werden kann, demonstriert das durch das Programm REACT-EU von Land NRW und EU geförderte Forschungsvorhaben ABOT-Modell-WKA (Validierung eines Steuerungstools für die fischverhaltenbezogene Steuerung von Wasserkraftanlagen) [4]. Die Durchgängigkeit bei Querbauwerken für stromaufwärts wandernde Fischarten wird technisch durch Fischeaufstiegsanlagen gewährleistet. Ungelöst dagegen sind Techniken, um Fischen einen sicheren Abstieg zu ermöglichen und insbesondere die Passage von laufenden Turbinen in den Wasserkraftwerken zu vermeiden. Ziel des ABOT-Modell-WKA ist es daher, auf Basis von abiotischen Parametern das zeitliche Auftreten von Fischwanderungen vorherzusagen und den Betrieb der Wasserkraftanlage entsprechend zu steuern. Wesentliche Parameter sind hier signifikante Änderungen in der Gewässertemperatur und dem Abfluss die, je nach Fischart, Fischwanderungen auslösen. Im Rahmen des Projektes wurden hier zwei Standorte an der Ruhr ausgewählt und die Ruhr über eine Länge von 43 km mit zwölf IoT-Sensoren zur Wasserstands- und Temperaturmessung ausgestattet. Unter Einbeziehung der bestehenden drei vom Ruhrverband betriebenen Pegelstationen wurde damit ein Netzwerk aus Sensoren entlang der Flussstrecke aufgebaut (vgl. Abbildung 3). Dadurch, dass die kompakten

Sensoren keinerlei kabelgebundene Infrastruktur benötigen, war eine Installation der Sensoren auch an Standorten möglich, die mit konventionellen Sensoren nur sehr aufwändig hätten instrumentiert werden können. Das ABOT-Model berechnet schließlich aus diesen Parametern und weiteren (z. B. der Jahreszeit und der Mondphase) die Wahrscheinlichkeit, dass es in den nächsten Stunden zu einer Fischwanderung kommt und gibt dem Betreiber die Möglichkeit, den Betrieb der Wasserkraftanlage angemessen zu steuern.



Abbildung 3: Darstellung der für das ABOT-Projekt installierten IoT-Sensorik zur Prognose von Fischwanderungen

3 Voraussetzungen zur Nutzung von IoT-basierten Monitoringkonzepten

IoT-Sensoren können mit Batterien, Solarenergie oder die Umwandlung von Bewegungsenergie betrieben werden und versenden Daten drahtlos über Technologien wie Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, Mobilfunk oder sog. Long Range Netzwerke wie LoRa oder NB-IoT.

Unter LoRa (kurz für Long Range) versteht man eine drahtlose Kommunikationstechnologie, die für den Einsatz in Weitverkehrsnetzen mit geringem Stromverbrauch (LPWANs) konzipiert ist. Sie verwendet ein proprietäres Modulationsschema namens Chirp Spread Spectrum (CSS), um Daten über ein breites Frequenzband zu übertragen, was eine Kommunikation mit großer Reichweite und geringem Stromverbrauch ermöglicht. Die Technologie eignet sich hervorragend für die hier beschriebenen Anwendungen im Smart City / Smart Water Kontext.

Das LoRaWAN-Protokoll ist ein offener Standard, welcher die Kommunikation zwischen Gateways, Netzwerkservern und Endpunkten definiert. Solche LoRaWAN-Netze werden heute schon in vielen Städten z. B. von den lokalen Stadtwerken betrieben, die diese für die eigenen Dienste nutzen (z. B. das Ablesen von Strom- und Wasserzähler), den Zugang aber auch dritten, z. T. gegen Gebühr, zur Verfügung stellen. Darüber hinaus hat sich das Open-Source Netzwerk The Things Network (TTN) zum Ziel gesetzt eine öffentliche Infrastruktur auf LoRa-Basis zu schaffen, die für jedermann zugänglich ist. Das Netzwerk basiert auf Open-Source-Software und offenen Standards, die es jedem ermöglichen, IoT-Anwendungen zu entwickeln und einzusetzen, ohne dass proprietäre Software oder eine teure Infrastruktur erforderlich sind. TTN bietet außerdem eine webbasierte Schnittstelle und API, die die Verwaltung und Steuerung von Geräten und Anwendungen im Netzwerk vereinfacht.

Auch wenn die LoRa-Technologie hohe Reichweiten verspricht, so hat sich in der Praxis gezeigt, dass diese doch eher theoretisch und unter besten Bedingungen erreichbar ist. Eine Bebauung wie in Großstädten reduziert die Reichweite deutlich und erfordert nach eigenen Erfahrungen den Betrieb eines eigenen Gateways im Abstand zum betriebenen Sensor von deutlich unter einem Kilometer. Gerade im innerstädtischen Bereich stellt daher die Übertragungstechnik NB-IoT eine gute Alternative dar. NB-IoT (Narrowband Internet of Things) ist ein weiterer Standard, der zu den Low-Power-Wide-Area-Netzwerken gehört, die für den Einsatz im Internet der Dinge (IoT) konzipiert wurde. Im Gegensatz zu LoRa handelt es sich aber um eine zellulare Technologie, d. h. sie nutzt bestehende Mobilfunknetze zur Datenübertragung. Im Gegensatz zu konventionellem Mobilfunk nutzt die Technologie aber eine schmalbandige Funkfrequenz, die es ihr ermöglicht, Daten über eine große Reichweite bei geringem Stromverbrauch zu übertragen. Darüber hinaus bietet NB-IoT eine tiefe Durchdringung von Innenräumen und ermöglicht den Anschluss von Geräten, die über herkömmliche Mobilfunknetze nicht erreichbar sind.

Wenn bei der Anbindung von LoRa-Gateways auf eine bestehende Internetinfrastruktur wie z. B. DSL oder Glasfaser zurückgegriffen werden kann, fallen durch den Betrieb keine zusätzlichen Kosten an. In der Praxis hat sich jedoch gezeigt, dass, bei Nutzung von LTE oder 5G-Mobilfunkanbindung, monatliche Datenmengen von mehreren 100 MB verbraucht werden. Dies kann durchaus zu relevanten Kosten führen. Bei NB-IoT fallen hingegen zunächst nur Anschaffungskosten für die SIM-Karte im niedrigen zweistelligen Eurobereich an und je nach Tarif sind hier schon mehrere 100 MB für eine Laufzeit von bis zu 10 Jahren enthalten. Da bei der Datenübertragung von IoT-Sensoren oft nur wenige Bytes übertragen werden muss hier meist kein zusätzliches Datenvolumen erworben werden.

IT-Infrastruktur

Diese Übertragungstechniken überbrücken nur die „letzte Meile“ und stellen eine Anbindung an das Internet dar. Hier müssen die Daten empfangen und in ein Zielsystem weitergeleitet werden. Es kommen Protokolle wie MQTT, OPC UA und CoAP o. a. zum Einsatz. Im Zielsystem werden diese Daten empfangen und in eine Datenbank geschrieben. Für das Speichern von Sensordaten sind i. d. R. zeitreihenbasierte Datenbanken eine gute Wahl. Eine Zeitreihendatenbank besteht aus einem Zeitstempel, dem zugehörigen Messwert, sowie optional Metainformationen. Im Vergleich zu relationalen Datenbanken sind zeitreihenbasierte Datenbanken für die Speicherung und Abfrage von Zeitseriendaten optimiert und dadurch schneller, aber auch besser skalierbar.

Im Anschluss an das Speichern in der Datenbank sollten die Daten auf Plausibilität überprüft werden und ggf. korrigiert werden. Aufgrund der durch viele IoT-Sensoren generierten, hohen Datenmengen kommen hier überwiegen automatisierte Verfahren in Frage, die zumindest fehlerhafte Messwerte identifizieren. Eine Toolbox hierfür wird aktuell im vom BMBF geförderten Forschungsvorhaben KIWaSUS entwickelt [5, 6]. Hierbei kommen sowohl klassische, vorwiegend statistische Verfahren zum Einsatz, als auch Verfahren der künstlichen Intelligenz. Dargestellt werden diese Daten über Dashboards, die je nach Anwendungsfall individuell konfiguriert werden können.

Ein beispielhafter Weg der Daten vom Sensor bis zur Darstellung in einem Dashboard ist in Abbildung 4 dargestellt. Abgesehen von Teilen der Hardware und NB-IoT werden in diesem Beispiel ausschließlich kostenlose Open-Source-Lösungen eingesetzt. Die Datenmenge, auch bei einer Anzahl von Sensoren im dreistelligen Bereich, ist dabei sehr überschaubar, und so reichen für die Verarbeitung und die Speicherung schon virtuelle Maschinen, die für wenige Euro im Monat angemietet werden können, um den Anforderungen gerecht zu werden. Für die in diesem Beitrag benannten Beispiele wäre ein Schaden durch Cyberangriffe oder Manipulation der Daten sehr gering gewesen. Bei sensibleren Anwendungen, zu denen die Warnung vor Hochwasser z. B. gehört, sind IT-Sicherheitsaspekte unbedingt zu berücksichtigen.

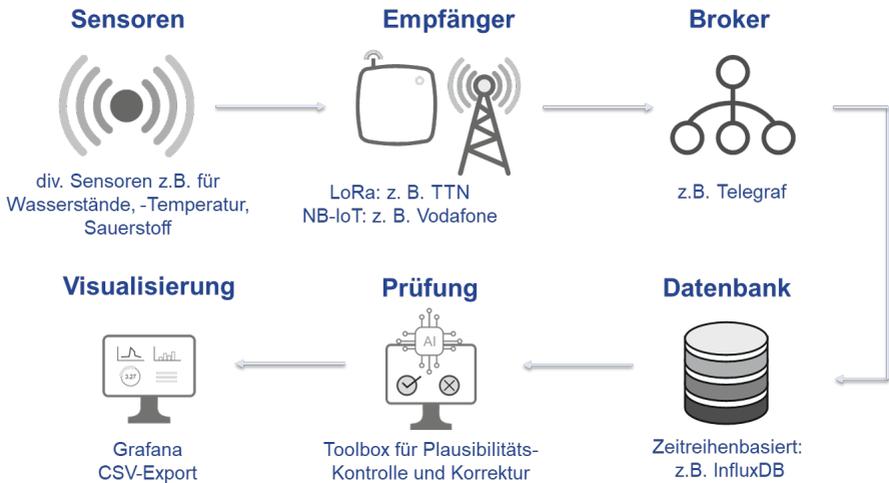


Abbildung 4: Beispielhafter Weg der Daten vom Sensor zur Visualisierung

4 Ausblick und Perspektiven für die Wasserwirtschaft

Der Beitrag demonstriert beispielhaft einige Möglichkeiten und den aktuellen Status quo einer Datennutzbarmachung in allen Sektoren der Wasserwirtschaft. Durch die breite Anwendung von IoT basierten Sensoren ergeben sich neue Perspektiven für die betriebliche Überwachung wasserwirtschaftlicher Anlagen und auch für die Umweltüberwachung und den Gewässerschutz. Überall steigende Datenmengen und die Möglichkeiten der Vernetzung zeigen, dass das Thema der Datennutzbarmachung nicht nur relevant für den Smart City Kontext ist, sondern dass die Vernetzung etwa auch mit Behörden und weiteren Akteuren ein Potential beinhaltet. Insgesamt ergeben sich somit neue Möglichkeiten für den Betrieb wasserwirtschaftlicher Anlagen und den integralen Klima- und Gewässerschutz. Datenstrategien, Datenpflege und Qualitätssicherung werden weiter an Bedeutung gewinnen. Die Möglichkeiten, die sich durch die immer weiter voranschreitende digitale Datenwelt ergeben, können zum heutigen Zeitpunkt, wenn überhaupt, nur erahnt werden. Die Digitalisierung des Umweltzustands findet statt.

5 Literaturangaben

- [1] Forschungsvorhaben „Smart Green City“ im Auftrag des Landes Nordrhein-Westfalen unter Einsatz von Mitteln aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) 2014-2020 „Investition in Wachstum und Beschäftigung“. Förderkennzeichen: EFRE-0802007, Laufzeit: 1.1.2022 - 31.5.2023.
- [2] A. Niemann, T. Mietzel, G. Johnen, and B. Freudenberg, “Datennutzung und -aufbereitung: shared Data-Economy in der Wasserwirtschaft,” in *Gewässerschutz - Wasser & Abwasser – GWA, Gewässerschutz – Wasser & Abwasser*, T. Wintgens Eds, Ed., Aachen: Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH, 2023.
- [3] A. Niemann, T. Mietzel, M. Oelmann, K. Wencki, B. Freudenberg, and G. Johnen, “Die digitale Wasserwirtschaft von morgen – Perspektiven zur zukünftigen Datenverfügbarkeit, Datenpflege und Datenanalyse sowie deren gezielter Nutzung,” in *Gewässerschutz - Wasser & Abwasser – GWA, Gewässerschutz – Wasser & Abwasser*, T. Wintgens and J. Pinnekamp, Eds., Aachen: Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH, 2022.
- [4] Forschungsvorhaben „Validierung eines Steuerungstools für die fischverhaltensbezogene Steuerung von Wasserkraftanlagen (Abot-Modell-WKA)“ im Auftrag des Landes Nordrhein-Westfalen unter Einsatz von Mitteln aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) 2014-2020 „Investition in Wachstum und Beschäftigung“. Förderkennzeichen: EFRE-0802038 Laufzeit: 1.3.2022-31.5.2023.
- [5] S. Frentrup et al., “Intelligentes Management von Datenströmen und KI-Anwendungen in KIWaSuS,” *KA Korrespondenz Abwasser, Abfall*, vol. 69, no. 4, pp. 264–270, 2022.
- [6] Forschungsvorhaben „KI-basiertes Warnsystem für Starkregen und urbane Sturzfluten (KIWaSuS)“ im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung. Förderkennzeichen: 13N15559, Laufzeit: 1.4.2021 – 31.03.2024.

KI-BASIERTE ÜBERFLUTUNGSVORHERSAGE IM URBANEN RAUM

Benjamin Burrichter und Markus Quirnbach

Kurzfassung

Starkregenereignisse als Auslöser von pluvialen Überflutungen zeichnen sich durch kurze Vorwarnzeiten aus. Die Vorhersage pluvialer Überflutungen erfordert dementsprechend schnelle Berechnungsansätze, um trotz der kurzen Vorlaufzeiten eine Vorhersage zu ermöglichen. Im Forschungsprojekt KIWaSuS wurde für diesen Anwendungsfall ein KI-basiertes Vorhersagemodell entwickelt, das auf Grundlage einer Starkregenvorhersage sowie einem LowCost-Sensornetzwerk in der Lage ist, die resultierende Überflutungssituation zu prognostizieren.

Schlüsselwörter

Pluviale Überflutung, Echtzeitvorhersage, Maschinelles Lernen, Künstlich Neuronale Netze

1 Einleitung

Starkregenereignisse führen insbesondere in hochverdichteten urbanen Gebieten immer wieder zu urbanen Sturzfluten und damit einhergehend zu einem hohen Sicherheitsrisiko für die betroffene Bevölkerung. Das Fatale an diesen Ereignissen ist, dass diese im Gegensatz zu fluvialen Hochwasserereignissen oder Sturmfluten

- immer und überall auftreten können und
- sich durch kurze Vorlaufzeiten kennzeichnen.

Die Gefahr, die von solchen Ereignissen ausgeht, wird vielerorts bereits durch Starkregengefahrenkarten für einzelne Szenarien dargestellt. Die zur Erzeugung dieser Karten verwendeten hydrodynamischen Berechnungsmodelle sind jedoch extrem rechenintensiv und somit nicht für den Echtzeiteinsatz in Warnsystemen geeignet. Um dieser Problematik zu entgegenen, wird im Forschungsvorhaben KIWaSuS¹ ein Warnsystem vor Starkregen und urbanen Sturzfluten entwickelt. Gegenüber hydrodynamischen Ansätzen wird dabei auf Verfahren der Künstlichen Intelligenz (KI) in Form von Maschinellen Lernverfahren (ML) zur Ermittlung pluvialer Überflutungen zurückgegriffen. Einmal trainiert sind diese Modelle in der Lage, innerhalb weniger

¹ Weitere Informationen zum Projekt befinden sich auf (www.kiwasus.de)

Sekunden für ein bevorstehendes Niederschlagsereignis die Überflutungssituation zu berechnen. Diese Fähigkeit ermöglicht den Echtzeiteinsatz in Warnsystemen, um Bürger*innen und den Akteuren des kommunalen Krisenmanagements im Ereignisfall ein proaktives Handeln zu ermöglichen.

Das KI-basierte Modell zur Überflutungsvorhersage soll in der Lage sein, für eine Niederschlagsvorhersage von bis zu zwei Stunden die resultierende Überflutungssituation nahezu verzögerungsfrei abzuleiten. Gegenüber weiteren Untersuchungen, die bereits erfolgreich KI zur Überflutungsberechnung eingesetzt haben (u. a. [1], [2], [3], [4]) soll das Modell nicht ein Raster mit den maximalen Wasserständen für ein Ereignis, sondern eine Sequenz von Überflutungsrastern für die kommenden Zeitschritte ausgeben. Es können somit für jeden Zeitschritt die auftretenden Wasserstände abgebildet werden. Die Pixel sollen dabei analog zu gewöhnlichen Starkregengefahrenkarten die Wasserstände in Meter ausweisen.

2 Material und Methoden

Das Modell wird für ein Untersuchungsgebiet in Gelsenkirchen entwickelt, das eine Fläche von ca. 3,1 km² umfasst. Abb. 1 zeigt den übergeordneten Systemaufbau. Das Überflutungsvorhersagemodell besteht im Detail aus einem Modell zur Vorhersage von Überstauvolumina (Modell 1) und einem Modell zur Vorhersage von Überflutungsflächen (Modell 2). Im Betrieb erhalten beide Modelle über ein lokales LowCost Sensorsystem sowie über Radardaten des Deutschen Wetterdienstes Niederschlagsmessungen der vergangenen Zeitschritte. Ergänzend werden Niederschlagsprognosen für die kommenden zwei Stunden über ein speziell im Projekt entwickeltes KI-basiertes Vorhersagemodell erzeugt [5]. Das Modell 1 erhält zusätzlich über ein weiteres LowCost-Sensorsystem Durchflussmessungen an mehreren Punkten im Kanalnetz für die vergangenen Zeitschritte. Die prognostizierte Überstausituation stellt dann wiederum eine Eingabe für das zweite Modell zur Prognose der Überflutungsflächen dar.

Nachfolgend wird der Fokus auf das Modell 2 zur Vorhersage von Überflutungsflächen gelegt. Das für die Modellentwicklung zu Grunde liegende ML-Verfahren sind Künstlich Neuronale Netze. Wie beim Maschinellen Lernen üblich, bilden auch bei Künstlich Neuronalen Netzen Daten die Grundlage für die Modellentwicklung. Diese werden dem Verfahren als Pärchen von Eingaben und dazugehörigen Zielgrößen in einem sogenannten Trainingsprozess zur Verfügung gestellt. Während des Trainings werden die Modellparameter dann in einem iterativen Prozess mit Hilfe eines Optimierungsalgorithmus angepasst. Als Modellarchitektur wurde der in [6] verwendete Aufbau, bestehend aus mehreren in einer Autoencoder Struktur angeordneten konvolutionellen Schichten in Anlehnung an [2], weiterentwickelt. Hierzu wurden die

Überstauvolumina nicht als Sequenz von Überstaurastern, sondern als Graphen vorgegeben. Darüber hinaus wurde die Anzahl der Schichten verdoppelt.

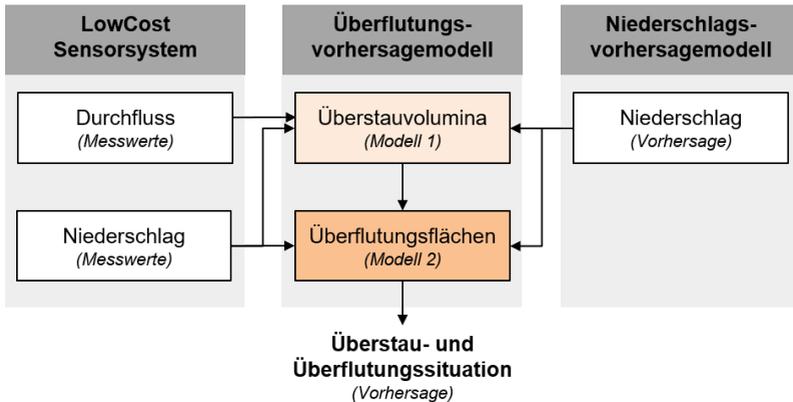


Abb. 1: Übergeordneter Aufbau des Vorhersagesystems für urbane Überflutungen

Damit das trainierte Modell am Ende in der Lage ist, für die volle Bandbreite aller potentiell in der Realität möglichen Starkregenereignisse die resultierende Überflutungssituation vorherzusagen, ist ein umfangreicher und repräsentativer Datensatz aus Trainingspärchen erforderlich. Da Starkregenereignisse einerseits sehr selten auftreten und andererseits derzeit keine geeigneten Verfahren zur systematischen Erfassung von Überflutungsflächen zur Verfügung stehen, wurde für die Modellentwicklung ein künstlicher Datensatz mit Hilfe eines hydrodynamischen Modells erzeugt. Ziel ist es, dementsprechend den Unterschied zwischen hydrodynamischen und ML Modell weitestgehend zu reduzieren. Das trainierte Modell liefert dann möglichst identische Ergebnisse bei einem Bruchteil an benötigter Rechendauer. Das Vorgehen zur Erzeugung des Datensatzes ist in [7] beschrieben. Von den dort erwähnten 258 Ereignissen wurden 26 Ereignisse zum Testen zurückgehalten, die allesamt von der am nächsten zum Untersuchungsgebiet liegenden Station stammen. Die Datenpärchen der übrigen Ereignisse wurden zu 85 % für das Training und zu 15 % zum Validieren verwendet.

3 Ergebnisse und Diskussion

Zur Auswertung der Vorhersageergebnisse wurden der Critical Success Index (CSI) sowie der Root Mean Squared Error (RMSE) als Gütekriterien herangezogen. Während der CSI ein Maß zur Bewertung der Lagegenauigkeit darstellt, wird mit dem RMSE die direkte Abweichung zwischen prognostizierten (ML-Modell) und simulierten (HD-Modell) Wasserständen verglichen [8]. In [4] wurde zusätzlich ein Grenzwert von

0,05 m festgelegt, ab dem ein Pixel als „überflutet“ gilt und bei der Ermittlung der Gütekriterien berücksichtigt wird. Zur besseren Bewertung der Lagegenauigkeit wurde dieser Ansatz hier auf fünf Grenzwerte zwischen 0,02 m und 0,5 m (Abb. 2) erweitert, für die der CSI getrennt berechnet wurde.

Das Ergebnis für alle 26 Testereignisse ist in Abb. 2 dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass nur an vier der 26 Ereignisse ein Wasserstand von mehr als 0,5 m erreicht wurde, weshalb beim CSI der Boxplot für den Grenzwert 0,5 nicht repräsentativ ist. Da der untere Whisker vom Ereignis mit der geringsten Wiederkehrzeit stammt, zeigt der Boxplot aber dennoch, dass das Modell potenziell in der Lage ist, hohe Wasserstände mit einer guten Lagegenauigkeit zu prognostizieren. Die wesentlichen Erkenntnisse sind:

- Der RMSE weist zwischen den Ereignissen nur eine geringe Streuung auf und liegt mit einem Median von ca. 0,04 m in einem für den Anwendungsfall „Echtzeit Krisenmanagement“ akzeptablen Rahmen.
- Der Median beim CSI variiert außer bei einem Grenzwert von 0,5 kaum, die Streuung der Ergebnisse nimmt hingegen bei höheren Grenzwerten zu.
- Durch die angepasste Modellarchitektur konnten die Ergebnisse gegenüber [6] deutlich verbessert werden und liegen in etwa in einem Bereich von [4], die sich auf die Vorhersage der maximalen Wasserstände für ein abgelaufenes Ereignis und somit ein einfacheres Lernproblem konzentrieren.

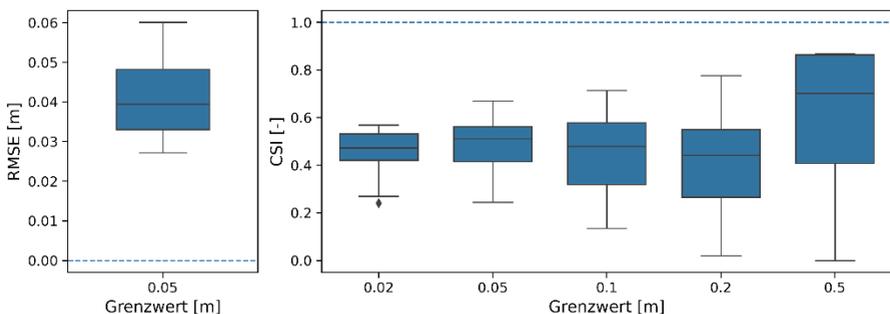


Abb. 2: Verteilung der Metriken über alle Ereignisse im Testdatensatz. Die gestrichelte Linie gibt jeweils den optimalen Wert an.

Am 03.07.2009 wurde das Untersuchungsgebiet von einem besonders extremen Starkregenereignis mit einer Wiederkehrzeit von mehr als 200 Jahren heimgesucht. Abb. 3: Exemplarisches Vorhersageergebnis für das Starkregenereignis vom 03.07.2009 ($T > 200$ a) Abb. 3 zeigt oben die zugehörige Niederschlagsganglinie für das Ereignis. Zur exemplarischen Darstellung der Vorhersageergebnisse werden für

den Zeitpunkt 17:30 Uhr die Vorhersageergebnisse für die Zeitpunkte $t + 15$, $t + 30$ und $t + 60$ Minuten für einen Ausschnitt des Untersuchungsgebietes dargestellt.

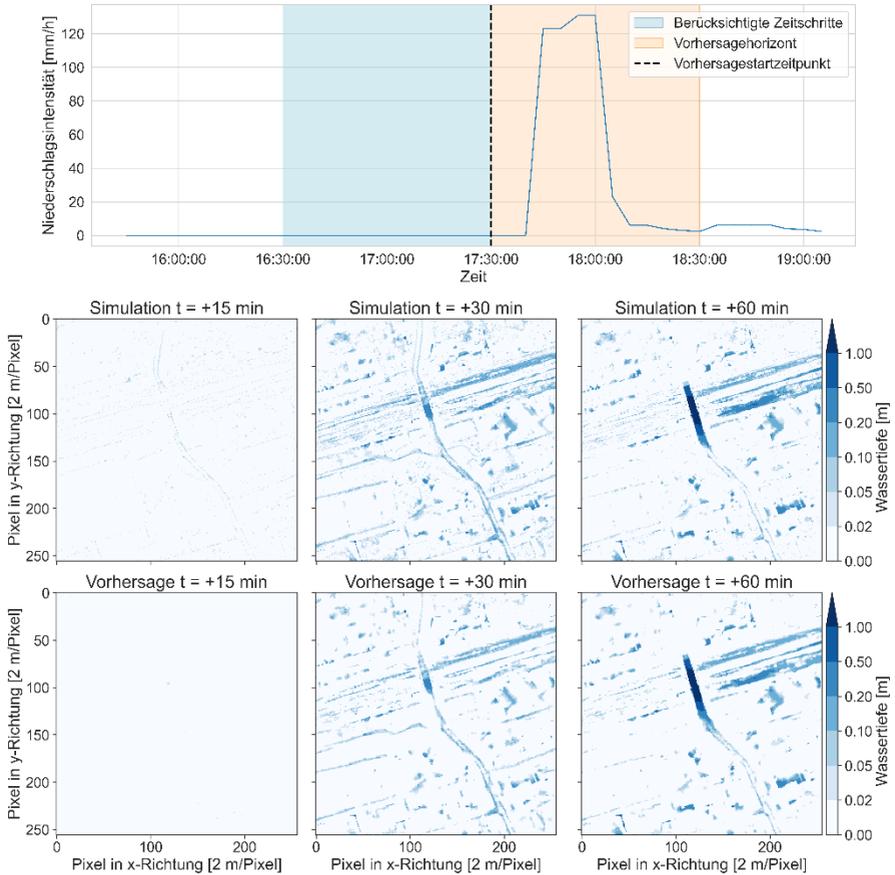


Abb. 3: Exemplarisches Vorhersageergebnis für das Starkregeneignis vom 03.07.2009 ($T > 200$ a)

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die vorgestellten Ergebnisse bestätigen die Erkenntnisse von [1], [2], [3] und [4] das KI-basierte Modelle an den Ergebnissen hydrodynamischer Modelle angelehnt werden können und im Anschluss in der Lage sind, Überflutungsflächen zu berechnen. Der wesentliche Vorteil liegt in den deutlich kürzeren Rechenzeiten von wenigen Sekunden bei gleichzeitig ausreichender Genauigkeit. Der hier vorgestellte Modellaufbau zeigt darüber hinaus, dass KI-Modelle so trainiert werden können, dass sie zu jedem

beliebigen Zeitpunkt eine Vorhersage für die kommenden Zeitschritte als Sequenz von Überflutungsrastern ausgeben.

5 Dank

Ein besonderer Dank gilt dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), das das Projekt KIWaSuS unter dem Förderkennzeichen 13N15556 fördert.

6 Literatur

- [1] Berkhahn, S.; Fuchs, L.; Neuweiler, I.: An ensemble neural network model for real-time prediction of urban floods. *Journal of Hydrology* 575 (2019), S. 743–754.
- [2] Guo, Z.; Leitão, J. P.; Simões, N. E. et al.: Data-driven flood emulation: Speeding up urban flood predictions by deep convolutional neural networks. *Journal of Flood Risk Management* 14 (2021), Heft 1.
- [3] Hofmann, J.; Schüttrumpf, H.: floodGAN: Using Deep Adversarial Learning to Predict Pluvial Flooding in Real Time. *Water* 13 (2021), Heft 16, S. 2255.
- [4] Löwe, R.; Böhm, J.; Jensen, D. G. et al.: U-FLOOD – Topographic deep learning for predicting urban pluvial flood water depth. *Journal of Hydrology* 603 (2021), S. 126898.
- [5] Koltermann da Silva, J.; Burrichter, B.; Quirnbach, M.: Radarbasiertes Kurzzeit-Niederschlagsvorhersagemodell von Starkregen in KIWaSuS. In: Grün statt grau. Mit Blau-Grünen Infrastrukturen gemeinsam die Siedlungsentwässerung der Zukunft planen. *Aqua Urbanica*, Glattfelden, Schweiz, 14. /15. November 2022, S. 232–237, 2022.
- [6] Burrichter, B.; Koltermann da Silva, J.; Quirnbach, M.: KI-basierte Vorhersage kanalinduzierter Überflutungen. In: Grün statt grau. Mit Blau-Grünen Infrastrukturen gemeinsam die Siedlungsentwässerung der Zukunft planen. *Aqua Urbanica*, Glattfelden, Schweiz, 14. /15. November 2022, S. 218–225, 2022.
- [7] Koltermann da Silva, J.; Burrichter, B.; Quirnbach, M.: Vorhersagemodelle in KIWaSuS: Vorverarbeitungsschritte für die Entwicklung von KI-Modellen. In: Disse, M.; Ludwig, R.; Reisenbüchler, M. (Hrsg.): *Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung. Im Wandel - Klima, Wasser und Gesellschaft: Prozesse - Methoden - Kommunikation. Tag der Hydrologie*, München, 22./23. März 2022. Heft 43.22, S. 81–90, 2022.

- [8] Bennett, N. D.; Croke, B. F.; Guariso, G. et al.: Characterising performance of environmental models. *Environmental Modelling & Software* 40 (2013), S. 1–20.

ABWASSER ALS ALTERNATIVE WASSERRESSOURCE I

VERRINGERUNG VON NUTZUNGSKONKURRENZEN DURCH WASSERWIEDERVERWENDUNG

Daniel Dittmann, Maximilian Roß, Aki Sebastian Ruhl et al.

Kurzfassung

Auch in Deutschland nehmen Dürren und damit verbunden der Stress auf Wasserressourcen zu. Wasserwiederverwendung, geregelt durch die neue EU-Verordnung (2020/741), kann dem entgegenwirken. Das Forschungsprojekt PU₂R befasst sich mit der dezentralen Aufbereitung häuslichen Abwassers und setzt dafür einen Membranbelebungsreaktor (MBR) mit Aktivkohledosierung, nachgeschalteter UV-Desinfektion und optionaler Phosphatfällung ein. Transport- und Abbauprozesse im Boden werden an Lysimetern untersucht und modelliert, Aufnahmepfade in Pflanzen werden mit Topfversuchen im wissenschaftlichen Gewächshaus erforscht. Neben der landwirtschaftlichen Bewässerung bietet auch die Wasserwiederverwendung für das öffentliche Grün, am Beispiel von Golfplätzen, großes Potential.

Schlüsselwörter

Membranbelebungsreaktor, Dezentrale Aufbereitung, Düngermittelsubstitution, Organische Mikroverunreinigungen, Lysimeter, Topfversuche, Öffentliches Grün

1 Die neue EU-Verordnung zu Mindestanforderungen für die Wasserwiederverwendung zur landwirtschaftlichen Bewässerung

Mit der EU-Verordnung (2020/741) über Mindestanforderungen an die Wasserwiederverwendung werden erstmals europaweite Regelungen, die einen Einsatz aufbereitetes Abwassers für die landwirtschaftliche Bewässerung erlauben, getroffen [1]. Die Verordnung wird am 26. Juni 2023 in Kraft treten und unterscheidet vier Güteklassen des aufbereiteten Wassers in Abhängigkeit des Verwendungszwecks und der Bewässerungsmethode (vgl. dazu Tabelle 1 im Beitrag von Prof. Haberkamp).

Für jede Güteklasse sind Wasserqualitätsanforderungen sowie Mindesthäufigkeiten für die Routineüberwachung von aufbereitetem Wasser für die landwirtschaftliche Bewässerung, die der Betreiber der Aufbereitungsanlage erfüllen muss, vorgeschrieben. Dazu zählen die Analysenparameter E. coli, biologischer Sauerstoffbedarf in fünf Tagen (BSB₅), Schwebstoffe und Trübung. Für Wasser der Güteklasse A muss vor Inbetriebnahme und bei jeder Modernisierung der Anlage eine Validierungsüberwachung auf Bakterien, Viren und Protozoen erfolgen.

Zusätzlich fordert die Verordnung ein standortbezogenes Risikomanagement, welches u.a. aus folgenden Elementen besteht:

- Beschreibung des Wasserwiederwendungssystems
- Identifizierung potentieller Gefahren, der Umweltgegebenheiten, Bevölkerungsgruppen und Individuen, die dem Risiko ausgesetzt sind
- Risikobewertung im Hinblick auf die Risiken für Umwelt, Mensch und Tier, einschließlich Berücksichtigung bestehender Regelungen
- Festlegung zusätzlicher Anforderungen; Identifizierung von Vorsorgemaßnahmen
- Sicherstellung von Qualitätskontrollsystemen
- Umweltüberwachungssysteme und Ermittlung negativer Auswirkungen
- Sicherstellung eines Notfallmanagements.

Ein Leitliniendokument steht zur Verfügung, welches bei der Umsetzung der Verordnung unterstützen soll [2].

2 Das Forschungsprojekt PU₂R zur Wasserwiederverwendung

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) hat bereits seit 2016 mit der Fördermaßnahme WavE einen Schwerpunkt auf die Wasserwiederverwendung gelegt. Aktuell laufen unter WavE II mehrere Verbundprojekte zum Themenkomplex „Wasserwiederverwendung durch Nutzung von behandeltem kommunalem Abwasser“. Eines davon ist **PU₂R (Point-of-Use Re-Use: Dezentrale landwirtschaftliche Wiederverwendung von häuslichem Abwasser zur Verringerung von Nutzungskonkurrenzen)**, in dem sieben Forschungsinstitute und Unternehmen gemeinsam mit dem Umweltbundesamt und zwei assoziierten Partnern (Abb. 1) das Potential und Risiken einer dezentralen Wasserwiederverwendung an einem konkreten Beispiel in Brandenburg untersuchen [3].

Weite Teile im mittleren bis südlichen Brandenburg haben in den vergangenen Jahren extreme Dürre erfahren. Im Zuge der erwarteten klimatischen Veränderungen wird sich diese Situation noch zuspitzen, und es sind zukünftig vermehrt Ernteausfälle bzw. hohe Bewässerungsbedarfe zu erwarten, bei ausbleibender Grundwasserneubildung und sinkenden Grundwasserpegeln. Landwirtschaftliche und andere Nutzungen und Trinkwassergewinnung könnten so in Konkurrenz um die begrenzte Ressource Wasser treten. Um diese Nutzungskonkurrenz abzumildern wird in PU₂R das Potential und die Machbarkeit, häusliches Abwasser vor Ort zu Bewässerungswasser aufzubereiten, untersucht. Immerhin sind 11 % aller Haushalte in Brandenburg nicht an das

öffentliche Kanalnetz angeschlossen und sammeln ihr Abwasser teilweise in abflusslosen Klärgruben. Anstatt dieses mit Tankwagen abzupumpen und zur nächsten Abwasserübergabestelle zu fahren, soll eine mobile Aufbereitungsanlage (Membranbelebungsreaktor, MBR) das Wasser dezentral behandeln. Kombiniert mit einer Tröpfchenbewässerung könnte die limitierte Ressource Wasser somit möglichst effizient genutzt werden.

In PU₂R stehen neben der Einhaltung der Mindestanforderungen der EU-Verordnung auch die Vermeidung und Quantifizierung potentieller Umwelt- und Gesundheitsbelastungen (z. B. durch organische Spurenstoffe), die sich entlang der Transportpfade Boden–Grundwasser und Boden–Pflanze ergeben, im Fokus. Die Forschungsergebnisse sollen praxisnah und mit Hilfe verständlicher Instrumente verfügbar gemacht werden und so die Wasserwiederverwendung für die landwirtschaftliche Nutzung beim Risikomanagement unterstützen. Abgerundet wird das Projekt durch eine Potentialanalyse zur Identifikation regionaler Hotspots, zur Ermittlung des ökonomischen Potentials und ökologischer Auswirkungen sowie der Durchführung mehrerer Stakeholder-Dialoge („Runde Tische“), um die Einführung der Wasserwiederverwendung in Deutschland umfassend bewerten zu können. Bereits während der Projektlaufzeit fließen die Ergebnisse in Regulierungs- und Normungsgremien ein.



Abb. 1: Logos des Projektes und der Partner, des Fördermittelgebers und der Fördermaßnahme.

3 Dezentrale Aufbereitung von häuslichen Abwässern

Für die schnelle bedarfsgerechte Aufbereitung am Ort des Anfalls und des Bedarfs wird eine MBR-Anlage in einem Container mit ca. 10 m² Grundfläche installiert (Abb. 2). Die kompakte Bauweise soll es erlauben, die gesamte Anlage mit einem LKW zu transportieren und so die Aufbereitung flexibel nahe der häuslichen Klärgrube, in denen das anfallende Abwasser bis dato dezentral gespeichert wird, durchzuführen und das aufbereitete Wasser für die lokale landwirtschaftliche Bewässerung wiederzuverwenden.



Abb. 2: Mobiler Membranbelebungsreaktor zur dezentralen Aufbereitung kommunalen Abwassers (ähnlich des in PU₂R entwickelten MBR)

Zur Sicherstellung der Anforderungen aus der EU-Verordnung werden im Projekt verschiedene Erweiterungen der MBR-Anlage getestet und kombiniert. Die MBR-Technik selbst sorgt bereits für den mechanischen Rückhalt von Pathogenen und eröffnet die Möglichkeiten der Zugabe von Aktivkohle (und optional Fällmitteln), um die Wasserqualität bezüglich gelöster Inhaltsstoffe steuern zu können. Dazu gehören auch die

Einstellung des Nährstoffgehalts im aufbereiteten Wasser (Stickstoff und Phosphor), welcher als Dünger für die zu bewässernden Nutzpflanzen dienen und somit den Düngemiteleinsatz teilweise substituieren kann. Eine weitere Schadstoffbarriere stellt eine nachgestaltete UV-Desinfektion dar, mit der auch Viren abgetötet oder inaktiviert werden können. Eine Kreislaufführung erlaubt zudem die erneute Desinfektion bereits aufbereiteten und zwischengespeicherten Wassers. Neben der Option einer Aktivkohleadosierung (Adsorption) können auch im UV-Reaktor durch photochemische Oxidation organische Spurenstoffe eliminiert werden. Verfahrensvarianten ergeben sich durch die Verwendung unterschiedlicher Strahler/Wellenlängenzusammensetzungen und die zusätzliche Dosierung von Wasserstoffperoxid (H_2O_2), welches die Radikalausbeute erhöht, weitere Abbauprozesse induziert und die Spurenstoffelimination dadurch erhöhen kann.

4 Prozesse im Boden

Die fortschrittliche Aufbereitung des Wassers zur Wiederverwendung stellt sicher, dass die Keimbelastung oder andere hygienische Beeinträchtigungen der Pflanzen auf dem Acker stark reduziert sind. Bei Transport-, Rückhalt- und Abbauprozessen anderer Wasserinhaltsstoffe (z. B. organischer Spurenstoffe) im Ackerboden gibt es nach wie vor Forschungsbedarf. Im Forschungsvorhaben PU₂R werden dazu auf verschiedenen Größenskalen umfangreiche Untersuchungen vorgenommen. So wurden ungestörte Bodenkörper des realen Versuchsackers entnommen (Abb. 3) und zum Versuchsfeld des Umweltbundesamtes in Marienfelde transportiert. Als sogenannte Lysimeter können diese realen Ackerböden in individuellen Experimenten unterschiedlich bepflanzt, bewässert und geerntet werden (Abb. 4). Der spezielle Aufbau erlaubt es, den Wasserhaushalt des Bodenkörpers vollständig zu bilanzieren. So steht der rund 3 Tonnen schwere Bodenzylinder auf Waagen, und das Drainagewasser wird vollständig aufgefangen, quantifiziert und beprobt (Abb. 5).

Laborexperimente am selben Bodenmaterial charakterisieren den Ackerboden und liefern Parameter, die zur theoretischen Simulation von Prozessen im Boden herangezogen werden können. Diese Simulationen können dann mit den Beobachtungen an den Lysimetern und auf dem Acker in Brandenburg verglichen und angepasst werden, um das Verhalten von Inhaltsstoffen, die durch das Wasser der Wiederverwendung aufgebracht werden, beschreiben und vorhersagen zu können.



Abb. 3: Gewinnung eines Bodenkörpers auf einem Acker in Brandenburg.



Abb. 4: Einbau des ungestörten Bodenkörpers als Lysimeter am Umweltbundesamt in Berlin-Marienfelde



Abb. 5: Lysimeter (eingebauter Bodenkörper) von unten, mit Schläuchen (an Saugkerzen) zur Beprobung

Dabei geht es in erster Linie um den Schutz des Grundwassers auf dem Transportpfad Boden–Grundwasser, aber auch um die gezielte Anpassung der Aufbereitungsprozesse an potenzielle Problemstoffe.

Die Forschungserkenntnisse können praxisnah im Rahmen der in der EU-Verordnung vorgesehenen Risikomanagementpläne für die Risikoabschätzung von Wasserwiederverwendungsprojekten herangezogen werden.

5 Bewässerungsversuche

Die Transportpfade Wasser–Pflanze und Wasser–Boden–Pflanze werden ebenfalls in den Lysimetern (Abb. 6) und im Gewächshaus der Humboldt Universität zu Berlin untersucht. Hierzu werden Modellversuche (Topfversuche) mit unterschiedlichen Pflanzen und Wässern durchgeführt und die Mineralstoffaufnahme und -verteilung in Pflanzenteilen (Wurzeln, Spross, Ernteorgane) analysiert. Dabei finden die Boden- und Pflanzeigenschaften Wurzelverteilung, Stoffmobilität in der Rhizosphäre, Stoffaufnahme und Stoffverteilung innerhalb der Pflanze im Xylem und Phloem Berücksichtigung.

Die dafür notwendige chemische und mikrobiologische Analytik des Wassers, des Bodens und der Pflanzen(teile) wird am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung in

Leipzig und am Umweltbundesamt in Berlin und Bad Elster durchgeführt. Verschiedene Aufbereitungsverfahren sind für die Fragestellungen zu entwickeln und zu optimieren. Dazu gehören die Bestimmung von Transformationsprodukten mittels Non-Target-Screening, Suspect-Screening und Quantifizierung und mikrobiologische Analytik zur Bestimmung der Gesamtzahl an Coliphagen (F-spezifische und somatische) als Indikatorparameter, humane Adenoviren als Pathogene und die Untersuchung von Antibiotikaresistenzen (kulturbasiert und molekularbiologisch). Quantitative PCR und zellbiologische Methoden zur Virusvermehrung und -quantifizierung (ICC-qPCR) finden ebenfalls Anwendung.



Abb. 6: Anbau von Sommerbraugerste im Lysimeter.

6 Potentiale für das öffentliche Grün, Beispiel Golfplatz

Neben der landwirtschaftlichen Bewässerung erlaubt die EU-Verordnung auch die Wasserwiederverwendung für Zwecke im Zusammenhang mit Freizeit und Umwelt, in Deutschland zusammengefasst als „öffentliches Grün“. Großes Interesse haben daher auch Golfplatzbetreiber bekundet, die zum Erhalt ihrer grünen Rasenflächen schon immer viel bewässern müssen (Abb. 7) und dafür entsprechende Wasserentnahmerechte (aus Grund- und Oberflächengewässern) benötigen. Auch hier sind in absehbarer Zeit Nutzungskonkurrenzen mit z. B. der Trinkwassergewinnung oder der landwirtschaftlichen Bewässerung nicht auszuschließen, Wasserwiederverwendung ist somit auch für Golfplätze eine vielversprechende Zukunftsoption, die es auf wissenschaftlicher Grundlage zu erforschen gilt.



Abb. 7: Golfplatz Kemnitz des Märkischen Golfclubs Potsdam mit teilweise bewässerten Grünflächen.

7 Literaturangaben

- [1] Verordnung (EU) 2020/741 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Mai 2020 über Mindestanforderungen an die Wasserwiederverwendung
- [2] Leitlinie (EU) 2022/C 298/01 zur Anwendung der Verordnung 2020/741 über Mindestanforderungen an die Wasserwiederverwendung
- [3] Umweltbundesamt, PU2R Projekt-Homepage: www.umweltbundesamt.de/pu2r (Zugriff: 13.12.2022)

AUF DEM WEG ZUR EU-WEIT GEREGLTEN WASSERWIEDERVERWENDUNG

Jens Haberkamp

Kurzfassung

Im Zuge des Klimawandels wird der landwirtschaftliche Bewässerungsbedarf auch in Deutschland zukünftig steigen. Die EU-Verordnung 2020/741 stellt Mindestanforderungen an die Wiederverwendung weitergehend aufbereiteten kommunalen Abwassers zur landwirtschaftlichen Bewässerung, um die Nutzung natürlicher Wasserressourcen hierfür zu begrenzen. Die EU-Verordnung wird am 26. Juni 2023 Gültigkeit erlangen und soll in Deutschland in das Wasserhaushaltsgesetz eingebettet und um eine neue Bundesverordnung ergänzt werden. Zentrales Element der Wasserwiederverwendung wird der für jeden Einzelfall zu erstellende Risikomanagementplan sein, der der Minimierung möglicher hiermit verbundener Risiken dient. Als Hilfestellung für die praktische Umsetzung von Wasserwiederverwendung wird die DWA die Merkblattreihe M-1200 veröffentlichen.

Schlüsselwörter,

Wasserwiederverwendung, Kommunalabwasser, Bewässerung, weitergehende Abwasserbehandlung, Risikomanagementplan, EU-Verordnung 2020/741

1 Hintergrund

Die trockenen Sommer der Jahre 2018 bis 2020 sowie 2022 haben gezeigt, dass infolge des Klimawandels auch in Deutschland zunehmend Dürreperioden zu erwarten sind. Der Anteil bewässerter landwirtschaftlicher Flächen stieg in Deutschland von ca. 2,7 % im Jahr 2015 bereits auf über 3 % im Jahr 2019 (Daten nach [1], [2] und [3]). Diese Zahlen spiegeln jedoch nur diejenigen landwirtschaftlichen Flächen wider,



auf denen in den jeweiligen Bezugsjahren die Möglichkeit zur Bewässerung bestand; und dass über 95 % der Flächen bislang noch nicht mit Bewässerungseinrichtungen ausgestattet waren, wurde in den vergangenen Sommern vielerorts durch vertrocknete Felder veranschaulicht (Abb. 1). Daher ist zu erwarten, dass der Bewässerungswasserbedarf in Deutschland zur Minderung weiterer Ernteeinbußen steigen wird.

Abb. 1: Maisfeld (Münster, Sept. 2022)

In wasserarmen Regionen wird die Wiederverwendung aufbereitetes Kommunalabwassers für die landwirtschaftliche und Grünflächenbewässerung sowie für urbane Zwecke bereits seit langem praktiziert – so auch in einigen südeuropäischen Ländern, wie z. B. Spanien und Zypern [4]. In Deutschland wird Wasserwiederverwendung dagegen nur in den Regionen Braunschweig und Wolfsburg seit einigen Jahrzehnten im größeren Maßstab durchgeführt [5], spielte aber ansonsten vor dem Hintergrund der bisherigen Wasserverfügbarkeit kaum eine Rolle. Mit den vorrangigen Zielen einer EU-weiten Vereinheitlichung der damit verbundenen Anforderungen im Sinne des Gesundheits- und Umweltschutzes sowie einer Steigerung der nachhaltigen Nutzung recycelten Wassers zum Schutze natürlicher Wasserressourcen wurde am 25. Mai 2020 die EU-Verordnung 2020/741 über Mindestanforderungen an die Wasserwiederverwendung [6] verabschiedet. Nach einer dreijährigen Übergangszeit wird diese Verordnung am 26. Juni 2023 in den EU-Mitgliedstaaten unmittelbare Gültigkeit erlangen. Die Anforderungen der EU-Verordnung werden durch ergänzende Leitlinien zur Erleichterung ihrer Anwendung weiter konkretisiert [7].

2 Anforderungen der EU-Verordnung 2020/741

Der Anwendungsbereich der EU-Verordnung über Mindestanforderungen an die Wasserwiederverwendung [6] beschränkt sich auf die Nutzung weitergehend aufbereitetes Wassers aus kommunalen Kläranlagen für die landwirtschaftliche Bewässerung. Weitere potentielle Anwendungen durch die Mitgliedstaaten, z. B. für industrielle oder mit Umwelt und Freizeit verbundene Zwecke, werden jedoch ausdrücklich nicht ausgeschlossen, sofern der Schutz von Umwelt, Mensch und Tier gewährleistet ist. Den EU-Mitgliedstaaten wird das Recht eingeräumt, einzelne Flussgebietseinheiten mit hinreichender Begründung von der Wasserwiederverwendung auszuschließen. Ein derartiger Ausschluss muss jedoch im allgemeinen Kontext einer integrierten Wasserbewirtschaftung der Mitgliedstaaten stehen und mindestens alle sechs Jahre u. a. unter Berücksichtigung von Entwicklungen des Klimawandels überprüft werden.

Für die Wasserwiederverwendung muss mechanisch-biologisch behandeltes Abwasser zu sog. aufbereitetem Wasser weitergehend gereinigt werden. Unter Berücksichtigung der landwirtschaftlichen Verwendungszwecke und der Bewässerungsmethoden werden vier Güteklassen aufbereitetes Wassers unterschieden (Tabelle). Über die europäische Kommunalabwasserrichtlinie [8] hinausgehende Mindestanforderungen an die Qualität des aufbereitetes Wassers werden hinsichtlich der chemisch-physikalischen Parameter BSB₅, Feststoffe und Trübung nur für Wasser der Güteklasse A gestellt. Für alle Güteklassen bestehen hingegen Mindestanforderungen bzgl. der mikrobiologischen Parameter *E. coli* (von Güteklasse A bis D abnehmende Anforderungen), Legionellen und Eier intestinaler Nematoden. Die EU-Verordnung fordert

hinsichtlich der Aufbereitung für alle Güteklassen eine mechanisch-biologische Abwasserbehandlung mit anschließender Desinfektion sowie für Güteklasse A zusätzlich eine Filtration [6].

Tabelle 1: Mindestgüteklassen aufbereiteten Wassers mit zulässigen landwirtschaftlichen Verwendungszwecken und Bewässerungsmethoden (nach [6])

Güte-klasse	Kategorie der Kulturpflanzen	Bewässerungsmethode
A	Roh verzehrte Nahrungsmittelpflanzen, deren essbarer Teil unmittelbar mit dem aufbereiteten Wasser in Kontakt kommt, und roh verzehrte Hackfrüchte (d. h. Wurzel- und Knollenfrüchte)	Alle Bewässerungsmethoden
B	Roh verzehrte Nahrungsmittelpflanzen, deren essbarer Teil über dem Boden erzeugt wird und nicht unmittelbar mit dem aufbereiteten Wasser in Kontakt kommt, verarbeitete Nahrungsmittelpflanzen und Non-Food-Kulturen, einschließlich Futterkulturen für milch- oder fleischerzeugende Tiere	Alle Bewässerungsmethoden
C	Roh verzehrte Nahrungsmittelpflanzen, deren essbarer Teil über dem Boden erzeugt wird und nicht unmittelbar mit dem aufbereiteten Wasser in Kontakt kommt, verarbeitete Nahrungsmittelpflanzen und Non-Food-Kulturen, einschließlich Futterkulturen für milch- oder fleischerzeugende Tiere	Tropfbewässerung oder andere Bewässerungsmethode, bei der unmittelbarer Kontakt mit essbaren Teilen der Pflanze vermieden wird
D	Industrie- und Energiepflanzen sowie aus Saatgut gewonnene Pflanzen (d. h. Pflanzen zur Saatgutproduktion)	Alle Bewässerungsmethoden

Ein Kernelement der EU-Anforderungen an die Wasserwiederverwendung stellt der Risikomanagementplan dar, der für jedes Projekt unter Federführung des Betreibers der weitergehenden Aufbereitungsanlage einzelfallspezifisch erarbeitet werden muss [6]. Das Risikomanagement dient dem Schutz von Menschen (z. B. Anwender, Konsumenten erzeugter Produkte und allgemeine Öffentlichkeit), Tieren und Umwelt (v. a. Boden und Grundwasser) vor potentiellen Risiken durch den Einsatz aufbereiteten Wassers. Bei der Erstellung eines Risikomanagementplans werden zunächst mögliche Gefahren identifiziert und die damit verbundenen Risiken unter Berücksichtigung von Expositionswegen, Eintrittswahrscheinlichkeiten und Schadensausmaß bewertet.

Darauf aufbauend werden Maßnahmen zu Vorsorge, Überwachung sowie Management und Kommunikation insbesondere im Störfall festgelegt. Bereits zu Beginn der Erarbeitung eines Risikomanagementplans sind alle an einem Wasserwiederverwendungssystem beteiligten Akteure zu ermitteln und frühzeitig einzubinden [7].

Um Bedenken der Öffentlichkeit auszuräumen und eine breite Akzeptanz im Hinblick auf Wasserwiederverwendungssysteme zu schaffen, ist großer Wert auf die Zugänglichkeit von Informationen sowie eine sachliche Sensibilisierung der Bevölkerung unter Berücksichtigung der einzelfallspezifischen Notwendigkeit, Nutzen, Kosten und Risiken zu legen [7].

3 Nationale Umsetzung der EU-Verordnung 2020/741

Die EU-Verordnung 2020/741 muss im Gegensatz zu EU-Richtlinien nicht in nationales Recht umgesetzt werden, sondern gilt ab dem 26. Juni 2023 unmittelbar in den EU-Mitgliedstaaten. Den Mitgliedstaaten steht jedoch frei, die nationale Umsetzung von Wasserwiederverwendung auf Grundlage der EU-Verordnung weiter zu spezifizieren und ggf. zusätzliche Anforderungen zu stellen. Hierzu wurde von der Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) 2020 eine Ad-hoc-Kleingruppe unter Leitung des Bundesumweltministeriums eingesetzt, um mit Einbindung nachgeordneter Behörden (u. a. Bundesinstitut für Risikobewertung) Regelungsvorschläge für die Eingliederung der EU-Verordnung in bundesdeutsches Recht zu erarbeiten.

Die Empfehlungen der LAWA-Ad-hoc-Kleingruppe wurden in einem Endbericht [9] zusammengefasst und im Mai 2022 von der LAWA-Vollversammlung angenommen. Auf Grundlage der LAWA-Empfehlungen soll die Anwendung von Wasserwiederverwendung in das Wasserhaushaltsgesetz eingebettet und durch eine Bundesverordnung ergänzt werden. Ein Referentenentwurf der beabsichtigten Bundesverordnung stand bis Januar 2023 noch nicht zur Verfügung. Es ist jedoch davon auszugehen, dass diese inhaltlich weitgehend die Empfehlungen der LAWA widerspiegeln und in einigen Punkten über die Anforderungen der EU-Verordnung hinausgehen wird, u. a. [9]:

- Eine Bewässerung mit aufbereitetem Wasser soll nur außerhalb der Wasserschutzgebietszone II zulässig sein und entsprechend der guten fachlichen Praxis bedarfsgerecht erfolgen, um Stoffeinträge in das Grundwasser weitestgehend zu verhindern.
- Die Wasserwiederverwendung zur Bewässerung von Pflanzen, deren roh verzehrbare Anteil im Boden oder bodennah wächst und mit dem aufbereiteten Wasser in Kontakt kommt, sowie von hydroponischen Kulturen von Pflanzen zum Rohverzehr soll zum Schutz insbesondere vor humanpathogenen Viren und Protozoen vorerst ausgeschlossen werden.

- Weitergehende Qualitätsanforderungen an aufbereitetes Wasser erfordern auch für den Güteklassen B und C entsprechende Anwendungen eine Filtration im Zuge der weitergehenden Aufbereitung.
- Für Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) soll im Sinne des Gesundheits-, Grundwasser- und Bodenschutzes ein Grenzwert für aufbereitetes Wasser eingeführt werden, der sich zunächst an der EU-Trinkwasserrichtlinie [10] orientieren soll (d. h. $\text{PFAS}_{\Sigma 20} < 0,10 \mu\text{g/l}$).

Konkrete Anforderungen hinsichtlich weiterer organischer Spurenstoffe (Pharmaka, Haushalts- und Industriechemikalien) werden in der Bundesverordnung voraussichtlich nicht gestellt. Stattdessen sollen potentielle Risiken aufgrund von Spurenstoffen im Rahmen des Risikomanagements einzelfallspezifisch untersucht und bewertet werden. Darauf basierend können im Risikomanagementplan ggf. zusätzliche Anforderungen an die weitergehende Aufbereitung gestellt werden.

Der Betreiber der weitergehenden Aufbereitungsanlage muss bei der zuständigen Behörde eine Aufbereitungsgenehmigung beantragen, deren zentraler Bestandteil ein umfassender Risikomanagementplan sein wird. Über die EU-Leitlinien [7] hinausgehende detaillierte Hinweise zur Erstellung eines Risikomanagementplans werden in [11] gegeben (vgl. Abschnitt 4). Der Endnutzer des aufbereiteten Wassers hat eine gesonderte Aufbringungserlaubnis zu beantragen, mit der er zur Einhaltung der im Risikomanagementplan festgelegten und ggf. weiteren Anforderungen verpflichtet wird.

4 DWA-Merkblattreihe M 1200

Parallel zu den politisch-behördlichen Aktivitäten zur nationalen Umsetzung der EU-Verordnung (vgl. Abschnitt 3) wird innerhalb der DWA seit 2021 von den Arbeitsgruppen KA-8.4 und GB-4.1 die dreiteilige Merkblattreihe M 1200 erarbeitet, mit der Anwendern und Behörden eine Handlungshilfe bei der Implementierung von Wasserwiederverwendungsprojekten gegeben wird. Die LAWA verweist in ihren Empfehlungen [9] u. a. hinsichtlich des Risikomanagements, weitergehender Aufbereitungsverfahren sowie pflanzenspezifischer Belange ausdrücklich auf das DWA-M 1200 als für die Wasserwiederverwendung relevantes untergesetzliches Regelwerk.

DWA-M 1200-1 [11] fasst u. a. die im Zusammenhang mit Wasserwiederverwendung zu berücksichtigenden Wasserinhaltsstoffe sowie die in Deutschland gültigen regulatorischen Anforderungen zusammen. Es bietet eine ausführliche Anleitung zur Erstellung eines Risikomanagementplans, der neben einer Identifikation und Bewertung möglicher Risiken auch die Ableitung von Anforderungen und Maßnahmen zu deren Minimierung umfasst. Darüber hinaus werden die Erfordernisse und Grundzüge

von Genehmigungsverfahren sowie Aspekte der Wirtschaftlichkeit und Finanzierung von Wasserwiederverwendungssystemen dargestellt.

DWA-M 1200-2 [12] stellt geeignete Verfahren zur weitergehenden Aufbereitung mechanisch-biologisch behandelten Kommunalabwassers und Ansätze zur Validierung der Aufbereitungsverfahren zur Gewährleistung der geforderten Wasserqualität dar. Über die Wasseraufbereitung hinaus werden mit Indirekteinleitungen im Einzugsgebiet sowie Speicherung und Transport des aufbereiteten Wassers weitere wesentliche Komponenten von Wasserwiederverwendungssystemen berücksichtigt, die Einfluss auf die Wasserqualität haben können.

DWA-M 1200-3 [13] betrachtet die Bewässerung mit aufbereitetem Wasser in der Landwirtschaft, im Gartenbau und von Grünflächen hinsichtlich möglicher Auswirkungen auf das jeweilige Ökosystem. Dies beinhaltet vorrangig anwendungsspezifische Aspekte, wie z. B. pflanzenphysiologisch relevante Wassereigenschaften sowie Systeme zur Verteilung und Aufbringung von aufbereitetem Wasser.

Die DWA-Merkblattreihe M 1200 beschränkt sich nicht auf die Verwendung von aufbereitetem Wasser für Bewässerungszwecke. Insbesondere DWA-M 1200-1 [11] ist bewusst allgemeingültig gestaltet, so dass es auf weitere (z. B. urbane) Anwendungen übertragbar ist.

5 Fazit und Ausblick

Wasserwiederverwendung wird durch eine infolge des Klimawandels zu erwartende Verknappung natürlicher Wasserressourcen auch in Deutschland an Relevanz gewinnen. Die EU-Verordnung 2020/741 definiert EU-weite Mindestanforderungen für die Implementierung von Wasserwiederverwendung zur landwirtschaftlichen Bewässerung und wird am 26. Juni 2023 in den EU-Mitgliedstaaten unmittelbare Gültigkeit erlangen. Eine Bundesverordnung wird die Umsetzung der EU-Vorgaben in Deutschland weiter spezifizieren. Mit der DWA-Merkblattreihe M 1200 wird Planern, Anwendern sowie Genehmigungsbehörden zukünftig ein hilfreicher Leitfaden für die sichere Nutzung von aufbereitetem Wasser zur Verfügung stehen.

6 Literaturangaben

- [1] Statistisches Bundesamt, Land- und Forstwirtschaft, Fischerei – Bewässerung in landwirtschaftlichen Betrieben/Agrarstrukturerhebung 2016, Wiesbaden 2017

- [2] Statistisches Bundesamt, Land- und Forstwirtschaft, Fischerei – Bewässerung in landwirtschaftlichen Betrieben/Landwirtschaftszählung 2020, Wiesbaden 2021
- [3] Statistisches Bundesamt, Land- und Forstwirtschaft, Fischerei – Bodennutzung der Betriebe (Struktur der Bodennutzung) 2022, Wiesbaden 2022
- [4] Lazarova, V., Asano, T., Bahri, A. & Anderson, J., Milestones in Water Reuse – The Best Success Stories, IWA Publishing, London 2013
- [5] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), DWA Topics: Non-Potable Water Reuse – Development, Technologies and International Framework for Agricultural, Urban and Industrial Uses, Hennef 2019
- [6] Verordnung (EU) 2020/741 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Mai 2020 über Mindestanforderungen an die Wasserwiederverwendung, Brüssel 2020
- [7] Leitlinien zur Anwendung der Verordnung 2020/741 über Mindestanforderungen an die Wasserwiederverwendung (2022/C 298/01), Bekanntmachung der EU-Kommission vom 05.08.2022, Brüssel 2022
- [8] Richtlinie des Rates vom 21. Mai 1991 über die Behandlung von kommunalem Abwasser (91/271/EWG), Brüssel 1991
- [9] LAWA, Endbericht der LAWA-Ad hoc AG/KG Water Reuse an die 163. LAWA-Vollversammlung, Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), Berlin 2022
- [10] Richtlinie (EU) 2020/2184 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2020 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch, Brüssel 2020
- [11] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), DWA-M 1200-1: Wasserwiederverwendung für landwirtschaftliche und urbane Zwecke in Deutschland – Teil 1: Grundsätze zur Wasserwiederverwendung für unterschiedliche Nutzungen (in Bearbeitung)
- [12] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), DWA-M 1200-2: Wasserwiederverwendung für landwirtschaftliche und urbane Zwecke in Deutschland – Teil 2: Anforderungen an die weitergehende Wasseraufbereitung (in Bearbeitung)

- [13] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), DWA-M 1200-3: Wasserwiederverwendung für landwirtschaftliche und urbane Zwecke in Deutschland – Teil 3: Verwendung von aufbereitetem Wasser für die Bewässerung in Landwirtschaft, Gartenbau und Grünflächen (in Bearbeitung)

WASSERWIEDERVERWENDUNG AUS LANDWIRTSCHAFTLICHER PERSPEKTIVE

Veikko Junghans

Vorbemerkung

Durch die unterschiedlichen Erhebungszeiträume und Veröffentlichungszeitpunkte statistischer Erhebungen u.a. in der Wasserwirtschaft, beziehen sich die Anteile der Wassernutzungen, Fördermengen, Flächenanteile etc. nicht immer auf das gleiche Bezugsjahr. Folgende statistischen Angaben haben daher immer einen konkreten Bezugszeitpunkt.

Ausgangslage der Wassernutzung in Deutschland

In Deutschland werden derzeit nur etwa 3 % der landwirtschaftlichen Nutzflächen bewässert, wobei es regionale Unterschiede gibt. Es wurde zudem in den letzten Jahren eine Zunahme von Flächen verzeichnet, die bewässert werden oder die für die Bewässerung vorbereitet werden (Statistisches Bundesamt 2010, 2014, 2016 sowie eigene Daten).

In Deutschland wurden 2019 etwa 15,3 Mrd. m³ Wasser durch die nichtöffentliche Wasserversorgung sowie etwa 5,4 Mrd. m³ Rohwasser durch die öffentliche Wasserversorgung gefördert (Statistisches Bundesamt, 2023).

Die Bewässerung landwirtschaftlicher und auch gärtnerischer Flächen und Kulturen wird im Wesentlichen durch die nichtöffentliche Wasserversorgung gewährleistet. Grundwasser stellt in Deutschland mit etwa 74 % (Stand 2009) die Hauptquelle für die Bewässerung in Deutschland (Statistisches Bundesamt 2011 Fachserie 3 Heft 5). Nach neueren Angaben betrug der Anteil des Grundwassers an der gesamt Bewässerungswassermenge im Jahr 2016 ca. 76 %, der Rest stammt aus Oberflächenwasser oder Uferfiltrat (Umweltbundesamt, 2022 basierend auf Statistisches Bundesamt, verschiedene Jahrgänge, Fachserie 19 Umwelt, Reihe 2.2).

Für die Bewässerung wurden in Deutschland im Jahr 2019 etwa 2,5 % des geförderten Wassers der nichtöffentlichen Wasserförderung verwendet. Das sind ca. 382 Mio. m³ (Statistisches Bundesamt, 2023). Im Jahr 2009 wurden noch etwa 300 Mio. m³ Wasser für die Bewässerung benötigt (Statistisches Bundesamt 2011, Fachserie 3 Heft 5).

Das Abwasseraufkommen der öffentlichen Kläranlagen im Jahren 2016 betrug etwa 9,6 Mrd. m³, davon etwa die Hälfte Schmutzwasser (Statistisches Bundesamt, 2018,

Fachserie 19, R 2.1.2). Hinzu kommen noch Abwasseraufkommen (behandeltes und unbehandeltes) aus Industrie und Gewerbe sowie anfallende Kühlwassermengen der Energieversorger in Höhe von insgesamt etwa 16,6 Mrd. m³, die den Oberflächengewässern direkt wieder zur Verfügung gestellt werden. Mit 12 Mrd. m³ stellte die Energieversorgung den Großteil der Wiedereinleitung (Statistisches Bundesamt 2018, Fachserie 19, Reihe 2.2).

Klimatische Situation der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion in Deutschland

Betrug in der Referenzperiode 1961-1990 die saisonale (März bis August) klimatische Wasserbilanz (KWB) in Deutschland (BRD und DDR Gebiet) noch etwa 0 mm, wurde im aktuellen Referenzzeitraum 1991-2020 eine saisonale klimatische Wasserbilanz von etwa -80 mm verzeichnet. Das heißt vereinfacht, dass in der Vegetationssaison allen Pflanzenbeständen etwa 80 mm Niederschlag für ein ausreichendes Wachstum fehlten. Da sich zwischen den beiden betrachteten Perioden durchschnittliche saisonale Niederschläge kaum verändert haben (425 mm vs. 412 mm), ist dieses Defizit hauptsächlich auf den gestiegenen atmosphärischen Verdunstungsanspruch zurückzuführen. Dieser ist u. a. abhängig von der Lufttemperatur (ca. +1,2 °C zwischen den Perioden). Zugleich wurden die trockensten Jahre (in Bezug zur saisonalen KWB) der letzten 30-jährigen Periode in der Dekade zwischen 2010 und 2020 verzeichnet.

In vielen Regionen Deutschlands fällt das klimatische Wasserdefizit deutlich negativer aus als im deutschlandweiten Schnitt (Tabelle 1). Diese trockensten Regionen Deutschlands stellen die landwirtschaftliche Pflanzenproduktion vor große betriebswirtschaftliche Herausforderungen.

Tabelle 1: Saisonale klimatische Wasserbilanz in der Vegetationssaison März bis August (KWBv) für ausgewählte Flächenländer im historischen Vergleich [Werte in mm] (DWD, 2023)

Bundesland	KWBv 1961-1990	KWBv 1971-2000	KWBv 1991-2020
Brandenburg	-152	-160	-216
Mecklenburg-Vorpommern	-119	-132	-162
Sachsen-Anhalt	-134	-145	-207
Sachsen	-35	-32	-76
Thüringen	-21	-32	-65

Für viele Betriebe ist es daher notwendig, auf eine Zusatzwasserversorgung zurückzugreifen, wenn eine ertragsabgesicherte Fruchtfolge zu gewährleisten ist.

DWA M-590 stellt die für die Landwirtschaft und den Gartenbau benötigten durchschnittlichen Zusatzwassermengen in Abhängigkeit von Bodenwasserbereitstellungsgruppen und Klimaregionen dar. Als Folge der deutlich gestiegenen Verdunstungsansprüche der letzten Dekade, sind die derzeit im DWA M-590 aufgeführten Zahlen veraltet und werden aktuell überarbeitet. Tabelle 2 stellt für ausgewählte Fruchtarten den Zusatzwasserbedarf einer 80%igen Versorgungssicherheit dar, und bezieht sich auf die mittleren Trockenjahre in der Periode 1981-2010 sowie die voraussichtlichen Erhöhungen in Bezug zur Periode 1991-2020.

Tabelle 2: Zusatzwasserbedarf nach DWA M-590 der Periode 1981-2010 für ausgewählte Fruchtarten sowie voraussichtliche Änderungen der Überarbeitung (gilt für: niedrigste Bodenwasserbereitstellungsgruppe (Bodenzahl <30), trockene Jahre, trockenster Klimaraum (KWBv < -150 mm für 1981-2010 bzw. KWBv < -200 mm für 1991-2020))

Fruchtart	benötigter Zusatzwasserbedarf bei 80%iger Versorgungssicherheit¹ in der Periode 1981-2010	voraussichtliche Erhöhung des Zusatzwasserbedarfes bei Berücksichtigung der Periode 1991-2020
Kartoffeln	130-150 mm	+50%
Winterweizen	130-155 mm	+20%
Sommerbraugerste	110-130 mm	+30%

¹ Die 80%ige Versorgungssicherheit bedeutet, dass für extrem trockene Jahre (Dürrejahre) der Wasserbedarf nicht ausreicht.

Neben den in Tabelle aufgeführten Kulturen ist für alle landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Kulturen mit einem Anstieg des physiologischen Wasserbedarfs im Vergleich zur Periode 1981-2010 zu rechnen.

Das DWA M-590 kann aus methodischen Gründen nur für zurückliegende Perioden zuverlässige Aussagen treffen. Die Berücksichtigung der Entwicklung der nächsten Jahrzehnte ist bei einer reinen Anwendung des DWA M-590 nicht möglich.

Es ist davon auszugehen, dass in den kommenden Jahrzehnten ein weiterer Anstieg der Durchschnittstemperaturen stattfinden wird, der wiederum eine weitere Erhöhung des physiologischen Wasserbedarfes der gesamten Vegetation, inklusive aller landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Kulturen zur Folge haben wird (Bewässerungsbedürftigkeit).

Ausgangslage zur Verfügbarkeit von Bewässerungswasser und Genehmigungen von Wasserentnahmen zur Bewässerung

Deutschland ist mit einem Wassernutzungsindex ca. 13 % am annuellen Wasserdarbot (Stand 2016, UBA 2019) aus Sicht der nationalen Wasserbewirtschaftung ausreichend mit Wasser ausgestattet. Die Grundwasserkörper sind überwiegend in einem guten mengenmäßigen Zustand (Stand 2021, UBA, 2022), d. h. der Ausnutzungsgrad in Bezug zur (angenommen) Grundwasserneubildung beträgt in weiten Teilen weniger als 20 % (Maaßen, 2016 in UBA 34/2016). Unter anderem bedingt durch den Kohlentagebau gibt es hier regionale Ausnahmen und ungünstige Zustände, die im lokalen Einzelfall mitunter eine Genehmigung zur Entnahme zu Bewässerungszwecken verkomplizieren oder gänzlich versagen können.

Landwirtschaftliche Entnahmen von Wasser aus Grund- und Oberflächengewässern zum Zweck der Bewässerung sind genehmigungspflichtig und unterliegen u. a. dem UVP-G, dem WHG als auch den Regelungen der Landeswassergesetze. Bei der Antragstellung sind in Abhängigkeit der Entnahmemengen entweder die oberen Wasserbehörden oder die unteren Wasserbehörden zu beteiligen. Zugleich sind Auswirkungen der Wasserentnahmen und auch die Gewinnbarkeit durch ein hydrogeologisches Gutachten zu klären und zu prüfen. In der Regel werden auch die zuständigen Naturschutzbehörden bei der Antragsbearbeitung beteiligt. Bei der Entnahme aus Oberflächengewässern sind in der Regel auch die Wasser- und Schifffahrtsämter zu beteiligen.

In den letzten Jahren sind oftmals deutliche Überschreitungen angemessener Bearbeitungsfristen nach §75 Satz 2 VwGO bei Antragsverfahren zur Entnahme von Bewässerungswasser zu verzeichnen. Dies liegt sowohl begründet in der Komplexität der Bewertungen als auch in ungenügenden Verwaltungskapazitäten aber auch fehlender oder ungenügender Standardisierungen bei der Bewertung solcher Entnahmen. Es kommt zudem häufig und auch vermehrt zu unnötigen und vermeidbaren Mehraufwänden seitens der Antragsteller sowie der Genehmigungsbehörden.

Aktueller Stand der Wiederverwendung von Wasser aus kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen

Derzeit finden sich in Wolfsburg und Braunschweig die größten Flächen Deutschlands, die mit Klarwasser bewässert werden. Diese beiden Komplexe werden seit mehreren Jahrzehnten betrieben. Neben diesen finden sich im Bundesgebiet ein paar kleinere Komplexe auf lokaler Ebene.

Insgesamt werden in allen Gebieten, die eine Klarwasserbewässerung umsetzen, je nach Jahr zwischen 3 bis 5 Mio. m³ Klarwasser, d.h. maximal 0,5‰ des jährlichen Klarwasseraufkommens, in der landwirtschaftlichen Bewässerung verwendet.

In den beiden großen Gebieten Braunschweig und Wolfsburg wird seit Jahrzehnten ein begleitendes Monitoring umgesetzt, welche u. a. die Untersuchungen von Sickerwasserströmen beinhaltet.

Diskussion, Schlussfolgerungen und Ausblick

Ausgehend vom öffentlichen Abwasseraufkommen des Jahres 2016 ist die Menge des anfallenden kommunalen öffentlichen Abwassers etwa 27,5-mal so hoch wie der für das Jahr 2016 angenommene Bewässerungswasserbedarf in Höhe von 350 Mio. m³. Wird nur das halbe öffentliche Abwasseraufkommen während der Vegetationsperiode verwendet, ergibt sich immer noch der Faktor 13,75. Bei gleichbleibender Bewässerungswassermenge pro Saison könnten damit etwa 40 % der landwirtschaftlichen Nutzflächen bewässert werden. Allerdings ist dieses Beispiel durch infrastrukturelle Bedingungen, hier die Lage der Anlagen in Bezug zu potentiell bewässerbaren Flächen, zu korrigieren.

Abwasserbehandlungsanlagen der Größenklasse 5 (EW >100k) weisen mit etwa 3 % aller öffentlichen Anlagen eine Abwassermenge von etwa 4 Mrd. m³ bzw. 45 % der deutschlandweiten Klarwassermenge auf (Stand 2019, Statistisches Bundesamt 2022, Fachserie 19 Reihe 2.1.2) und liegen entsprechend ihrer Auslegung nahe urbaner und vor allem dichtbesiedelter Flächen ohne direkten Anschluss an bewässerbare Flächen. Anlagen der Größenklassen GK1 bis GK3 (EW <10k, 75 % aller Anlagen) produzierten im gleichen Jahr mit etwa 1,1 Mrd. m³ etwa 13 % der annualen Klarwassermenge. Diese liegen in der Regel im ruralen Bereich und mit einem potentiell besseren Anschluss an potentiell bewässerbare Flächen.

Ausgehend von der Klarwassermenge dieser Anlagen sowie den saisonalen Einschränkungen bei der Entnahme eines Teilstroms wird angenommen, dass aus diesen Anlagen weniger als 1/3 der Abwassermengen, d. h. <<400 Mio. m³, überhaupt als Bewässerungswasser zur Verfügung stehen könnte. Diese Menge entspräche in etwa der aktuellen gesamtdeutschen Bewässerungswassermenge.

Die Fokussierung auf die Größenklassen 1 bis 3 wird vorgenommen, da hier ein Anschluss an bewässerbare Flächen ohne längere Wege und größere Verteilungsnetze durch Klarwassernutzer ggf. noch selber umgesetzt werden könnte. Es wird angenommen, dass die Nutzung von Klarwasserteilströmen aus Anlagen der Größenklassen 4 und 5 nur durch große Investitionen realisiert werden kann, die die

finanziellen Möglichkeiten landwirtschaftlicher Betriebe übersteigen. Sollen Teilströme aus solchen Anlagen auch zur Nutzung kommen, ist ein nationales Investitionsprogramm unvermeidlich. Dieses müsste an weitere Nutzungsarten außer der Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen gekoppelt werden, um volkswirtschaftlich tragbare Synergien zu erzielen und in die nationale Wasserwirtschaftsplanung mit integriert werden.

Unabhängig von Kosten, Machbarkeit etc. könnten durch die vollständige Nutzung des anfallenden gereinigten Abwassers einerseits in manchen Oberflächengewässern durch das völlige Ausbleiben des Klarwasseranteils ökologische Probleme auftreten, wenn durch die Wasserwiederverwendung die ökologisch notwendige Mindestwasserführung nicht mehr gewährleistet würde. Andererseits kann die Wiederverwendung von Klarwasser in den Sommermonaten die stoffliche und thermische Belastung insbesondere in kleineren Oberflächengewässern reduzieren, und stellt hier historisch einen Grund der Genehmigung bisheriger Klarwasserwiederverwendungskomplexe dar.

Im kommunalen Abwasser kommen neben den anorganischen Elementen auch organische Spurenstoffe vor. Diese gelangen derzeit je nach Situation in unterschiedlichen Konzentration und Frachten in den global verbundenen Wasserkreislauf. Mit Stand 2019 wurde nur 2,6 % bzw. 233 Mio. m³ des Abwassers in öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen einer Spurenstoffelimination unterzogen (Statistisches Bundesamt 2022, Fachserie 19 Reihe 2.1.2). Im Hinblick auf die aktuelle Belastung der Umwelt mit diesen Stoffen ist die nationale Diskussion der Risiken und Gefahren der Wasserwiederverwendung nicht immer gänzlich nachvollziehbar und potentiellen Anwendern nur schwer vermittelbar.

Es ist festzuhalten, dass jegliches Wasser, welches als Bewässerungswasser zusätzlich zur Verfügung steht, für die Pflanzenproduktion benötigt wird, setzt man die Bewässerungsbedürftigkeit von Kulturen als alleiniges Entscheidungskriterium an. Dies betrifft insbesondere die trockensten Regionen Deutschlands. Die Wasserwiederverwendung von aufbereitetem Abwasser kann hierfür eine Lösung darstellen, wenn Investitionen hierzu sich langfristig amortisieren. Die ökonomische Bewertung der Bewässerung von Fruchtfolgen (Bewässerungswürdigkeit) kann nur auf betrieblicher Ebene erfolgen.

Für eine Umsetzung der Wasserwiederverwendung in Landwirtschaft und Gartenbau, vielleicht auch in anderen Bereichen, sind aus Sicht der potentiellen Wassernutzer allerdings noch viele Aspekte unklar. Folge Listung (ohne Anspruch auf Vollständigkeit) gibt hierzu Beispiele.

- Preis des Wassers aus Klarwasserteilströmen

- Unklare Situation für infrastrukturelle Investitionen zum Transport des Wassers zum Ort des Verbrauches
- Unklare Haftungsfragen für den Anwender, insbesondere im Hinblick auf Boden- und Gewässerschutz
- Vermarktbarkeit der Produkte
- Akzeptanz in der Bevölkerung sowie bei Behörden
- Absehbarer Genehmigungsmehraufwand seitens der Antragsteller
- Absehbare Zunahme der Dauer aller wasserrechtlicher Genehmigungsverfahren
- Absehbarer Dokumentations- und Monitoringmehraufwand sowie damit einhergehender Kosten auf Seiten der Anwender und Nutzer
- Absehbare Zunahme von behördlichen Auflagen zur Nutzung von Klarwasser und aufbereitetem Abwasser
- Unklare Zuständigkeiten für Genehmigungen und während des Betriebes
- Unklare allgemeine Rechtslage

ABWASSER ALS ALTERNATIVE WASSERRESSOURCE II

ERFAHRUNGEN MIT DER WASSERWIEDERVERWENDUNG IM RAUM BRAUNSCHWEIG

Franziska Gromadecki

Kurzfassung

Der Abwasserverband Braunschweig wurde 1954 gegründet. Seine Aufgabe ist es, auf ca. 2.700 Hektar landwirtschaftlicher Fläche behandeltes Abwasser zu verregnen und so sowohl das Wasser als auch die darin enthaltenen Pflanzennährstoffe sinnvoll zu nutzen. Diese Abwasserwertung führt durch Wasser- und Nährstoffnutzung in der Landwirtschaft zu dauerhaft sicheren und hohen Erträgen und durch die Nutzung des Abwassers als Beregnungswasser zur Schonung der Grundwasserressourcen. Der Verband hat ausschließlich positive Erfahrungen mit der Wasserwiederverwendung gemacht. Das „Braunschweiger Modell“ bietet durch geschlossenen Kreisläufe Nachhaltigkeit, Wertschöpfungsketten von der Pflanzenproduktion bis zur Stromvermarktung und schont natürliche Ressourcen.

Der Bedarf an der Wiederverwendung von Wasser und der Nutzung von Nährstoffen aus dem Abwasser wird weiter bestehen. Sie steht vor dem Hintergrund neuer rechtlicher Regelungen zukünftig vor neuen Herausforderungen, aber auch neuen Chancen.

Schlüsselwörter

Wasserwiederverwendung, Nährstoffrecycling, Reuse, kommunale Abwasserbehandlung, Kreislauf, Braunschweiger Model

1 Historie

1.1 Vorgeschichte

Die Idee der landwirtschaftlichen Verwertung von Abwässern der Stadt Braunschweig entstand im Jahre 1936, als Experten der Wasserwirtschaftsverwaltung und der Landwirtschaft aus Braunschweig und Umgebung Anlagen für die Verwertung städtischer Abwässer in der Landwirtschaft in Mitteldeutschland (Leipzig und Erfurt) besichtigten. Für die Stadt Braunschweig gab es die Notwendigkeit, nach neuen Lösungen für die Reinigung der städtischen Abwässer zu suchen. Die im Jahre 1895 erstellten Rieselfelder, die in Steinhof nördlich der Stadt Braunschweig nach dem Muster der Berliner Rieselfelder für eine Einwohnerzahl von 100.000 angelegt waren, reichten für die inzwischen auf 250.000 angestiegene Einwohnerzahl nicht mehr aus.

In Zusammenarbeit mit der staatlichen Wasserwirtschaftsverwaltung wurde der Entschluss gefasst, den Teil der Abwässer, der auf dem Rieselgut nicht untergebracht werden konnte, auf den sich nördlich an das Rieselgut Steinhof anschließenden, landwirtschaftlich genutzten Flächen zu verregnen. Die guten Erfahrungen mit der Verrieselung waren für die angestrebte Lösung bestimmend. Für die Verregnung von Abwässern auf landwirtschaftlich genutzten Böden sprach außer der guten Reinigung der Abwässer noch ein weiterer Effekt: Die Nutzung des Wassers mit seinen Inhaltsstoffen für die Erzeugung landwirtschaftlicher Nutzpflanzen. Im vorliegenden Fall boten sich Flächen an, die nördlich der Autobahn Hannover-Berlin lagen und im Osten von der Oker, im Westen von der Aue-Erse begrenzt waren. Böden mit Bodenwertzahlen von 20 bis 35 und mit einem im allgemeinen niedrigen Grundwasserstand boten zur damaligen Zeit für die Verregnung günstige Voraussetzungen. Schließlich wurde durch die Abwasserverregnung der Wasserhaushalt unterstützt, weil große Wassermengen zur Grundwasserneubildung aufgebracht wurden und die Entnahme von Grundwasser, die andernfalls für die Feldberegnung erforderlich gewesen wäre, nicht notwendig war.

1.2 Gründung des Verbandes

Der Verband wurde 1954 gegründet. Verbandsmitglieder wurden v. a. die Stadt Braunschweig und die Grundstückseigentümer der Beregnungsbezirke. Insgesamt 550 Grundstückseigentümer als landwirtschaftliche Mitglieder bekundeten damals ohne nennenswerte Gegenstimmen ihren Willen zu gemeinsamem Handeln.

Das gesamte Verbandsgebiet hat eine Größe von 4.300 ha, wovon die beregneten, landwirtschaftlich genutzten Flächen eine Größe von rd. 2.700 ha haben. Die übrige Fläche wird von den Ortslagen, Straßen, Wegen, Gräben, Waldungen, Hecken usw. eingenommen. Das Verbandsgebiet wurde in der folgenden Zeit nicht verändert.

1.3 Abwasserverregnung

Die technische Vorplanung sowie die Veranschlagung der Bau- und Betriebskosten oblagen dem Wasserwirtschaftsamt Braunschweig. An der Planung war die Landwirtschaftskammer Hannover ebenfalls beteiligt. Ebenso wurde frühzeitig das Niedersächsische Kulturamt Braunschweig eingeschaltet. Die Baudurchführung lag wieder in Händen des Wasserwirtschaftsamtes Braunschweig. Die betriebstechnischen Anlagen wie Hauptzuleitung, Pumpwerke mit Ausweichflächen, Druckrohrleitungen, Windschutzhecken wurden in den Jahren 1955 bis 1966 erstellt. Die Beregnungsbezirke I bis IV wurden von 1957 bis 1966 nacheinander in Betrieb genommen.

1.4 Klärwerk

Um die landwirtschaftliche Abwasserverregnung aufrechterhalten zu können, wurde im September 1979 eine Abwasservorbehandlungsanlage in Betrieb genommen.

Diese Anlage hatte zur Aufgabe, das bisher unbehandelt verregnete Rohabwasser vorzubehandeln und so die üblen Gerüche zu bannen, die die landwirtschaftliche Verregnung in Frage stellten. Mit der Anlage wurde eine biologische Teilreinigung durchgeführt. Der Überschussschlamm wurde dem Verregnungswasser wieder zugeführt. Ende 1986 wurde eine Vorklärung mit der entsprechenden Schlammspeicherung und Entwässerung in Betrieb genommen. Im September 1991 ist die Ausbaustufe zur biologischen Nährstoffelimination in Betrieb gegangen. Die Vorbehandlungsanlage wurde zu einem modernen Großklärwerk ausgebaut.

1.5 Schlammfäulung

Im Jahr 2000 wurde die Kläranlage um eine Schlammfäulung ergänzt. Das anfallende Faulgas wird gemeinsam mit dem Biogas der benachbarten Bioabfallvergärung sowie dem Deponiegas der Abfalldeponie der Stadt Braunschweig im Blockheizkraftwerk (BHKW) des Klärwerkes Steinhof verwertet.

1.6 Biogasanlage Hillerse

Im Jahre 2006 beginnt der Bau einer Biogasanlage, die mit nachwachsenden Rohstoffen betrieben wird. Die Anlage hat eine Größe von 2,6 MW_{el.}. Biogas für 2 MW_{el.} wird an einen Braunschweiger Energieversorger verkauft und über eine rd. 20 km lange Biogasleitung in das Kraftwerk Ölper transportiert. Die Anlage geht im September 2007 in Betrieb.

2 Das Braunschweiger Modell

Die in Braunschweig praktizierte Abwasserverregnung- bzw. -verrieselung mit einer weitgehenden Nutzung der Nährstoffe im Abwasser in der regionalen Landwirtschaft ist historisch gewachsen. Weitergehend werden dabei im „Braunschweiger Modell“ Kreisläufe für Energie und Wasser geschlossen.

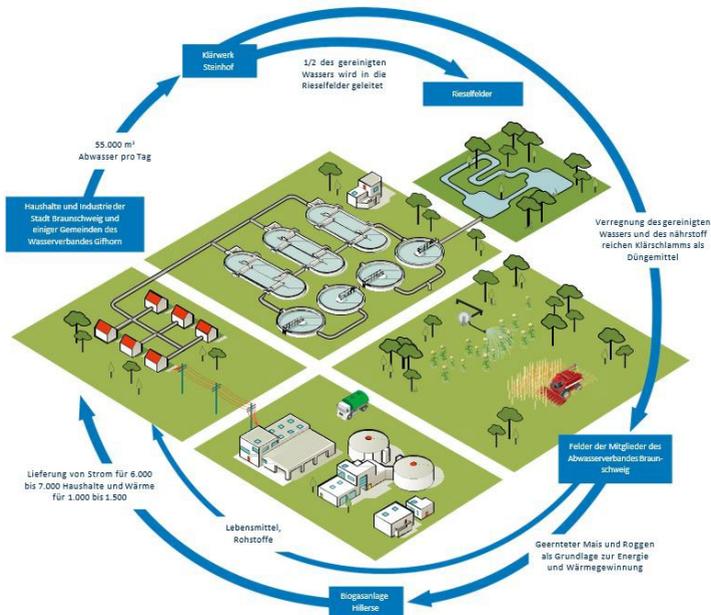


Abb. 1: Das Braunschweiger Modell

2.1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Die Idee des Braunschweiger Modells, entwickelt durch den Abwasserverband Braunschweig, ist einzigartig in Deutschland. Abwasser aus der Stadt und Bioenergie vom Land werden zu einem Wasser-Nährstoff-Energiekreislauf zusammengeführt. Das Abwasser der Stadt Braunschweig sowie einiger Gemeinden des Wasserverbandes Gifhorn werden im Klärwerk Steinhof mechanisch und biologisch gereinigt. Das gereinigte Abwasser wird anschließend auf den landwirtschaftlichen Flächen der Verbandsmitglieder verregnet. Die Pflanzen erhalten dadurch das notwendige Wasser und gleichzeitig wichtige Nährstoffe. So wird die Erzeugung von Nahrungsmitteln und Energiepflanzen gesichert. Die Energiepflanzen werden für die CO₂-neutrale Erzeugung von Biogas in einer Biogasanlage genutzt, wodurch Strom und Wärme für mehrere Tausend Braunschweiger Haushalte erzeugt werden.

2.2 Klärwerk Steinhof

Das Klärwerk Steinhof liegt im Norden der Stadt Braunschweig und ist eine Kläranlage der Größenklasse 5. Im Mittel fließen der Anlage pro Tag 55.000 m³ Abwasser aus Braunschweig und einigen umliegenden Gemeinden zu. Das Abwasser wird mechanisch und biologisch gereinigt, die Anlage verfügt über eine biologische

Phosphorelimination. Der Klärschlamm wird ausgefault und das Faulgas zusammen mit weiteren Gasen (s. o.) in einem Blockheizkraftwerk auf der Kläranlage verwertet.



Abb. 2: Luftbild der Kläranlage in Steinhof, Braunschweig

Seit 2019 wird eine Nährstoffrückgewinnung bestehend aus Thermodruckhydrolyse (TDH), Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP)-Fällung und Ammoniak-Luft-Strip-pung betrieben. Konkret wird der anfallende Überschussschlamm eingedickt und mesophil bei 38°C ausgefault. Der so behandelte Schlamm wird mit einer Schnecken-presse vorentwässert, in der Thermodruckhydrolyse aufgeschlossen und anschließend erneut anaerob behandelt. Hierdurch wird die Klärschlammmenge re-duziert und die Faulgasmenge erhöht. Das Filtrat aus der Schneckenpresse und das Zentrat aus der Schlammentwässerung werden nach einer Zwischenspeicherung der MAP-Fällung zugeführt und durchlaufen dann noch eine Ammonium-Strip-pung. Das MAP sowie Diammoniumsulfat (DAS) werden ausgeschleust. Ziel ist es, beides als Düngemittel zur Verfügung stellen zu können.

2.3 Rieselfelder und Wasserverregnung

Nach der weitgehenden Reinigung wird der Kläranlagenablauf im Jahresmittel zur Hälfte in den Rieselfeldern verrieselt. Die Rieselfelder haben eine Größe von rd. 275 Hektar. Das Wasser versickert dort teilweise, teilweise durchfließt es horizontal ein Mäandersystem. In beiden Fällen erfolgt eine Nachreinigung, außerdem können die Felder zum Mengenausgleich herangezogen werden. Mittlerweile hat sich dort ein ornithologisch wertvolles Biotop entwickelt.

Die andere Hälfte des gereinigten Wassers wird auf den Flächen der Mitgliedslan-dewirte verregnet. Zum Verbandsgebiet gehören rund 2.700 ha landwirtschaftlich genutzte Fläche, die bewirtschaftete werden. In den Sommermonaten werden zusätz-lich rd. 45.000 m³ Faulschlamm mitverregnet. Auf einem Drittel der Fläche werden

Energiepflanzen (Mais und Roggen) für die Biogasanlage des Verbandes angebaut. Der anstehende Boden ist sandig und nährstoffarm.

Rechtlich basiert die Verregnung auf einer unbefristeten Erlaubnis aus dem Jahr 2001. In dieser sind Vorgaben zu Beregnungszeiten und -qualitäten, den Anbaufrüchten und der Überwachung formuliert. Außerdem ist das Einhalten von Abständen z. B. von der Bebauung, sowie die Anpflanzung von Wind- und Sprühschutzhecken geregelt.

2.4 Biogasanlage

Die Anlage hat einen Substratbedarf pro Jahr von rd. 43.000 t (Mais und Roggen). Der Anbau dafür beansprucht ca. 1.000 ha im Verbandsgebiet. Die Biogasanlage war zum Zeitpunkt des Baus 2006 mit 2,6 MW_{el.} eine der größten auf dem Markt befindlichen Anlagen. Von der Leistung sind 0,6 MW_{el.} vor Ort installiert, zwei Kraftwerksblöcke mit je 1 MW_{el.} stehen rd. 20 Km entfernt und werden über eine Gasleitung beliefert. Von der dort erzeugten Energie werden rd. 7.000 Haushalte mit Strom und 1.500 Haushalte mit Wärme versorgt

3 Daten der Wasserwiederverwendung und Nährstoffnutzung

Die Wasserwiederverwendung nach dem Braunschweiger Modell ist sowohl aus Sicht der Wassernutzung interessant als auch aus Sicht der Nährstoffversorgung. Umfängliche Überwachungen und Untersuchungen haben bisher grundsätzlich keine kritischen Belastungen von Boden, Pflanze und Wasser ergeben.

3.1 Wasserwiederverwendung

Ein Vergleich der Niederschläge mit der erfolgten Verdunstung zeigt über die letzten 100 Jahre ein Delta von 136 mm, werden nur die letzten 20 Jahre betrachtet, beträgt das Delta 301 mm, in 2022 betrug es sogar 446 mm. Jährlich werden ca. 10 Mio. m³ gereinigtes Abwasser, entspricht ca. 360 mm) verregnet. Dazu kommen in den Sommermonaten zusätzlich ca. 45.000 m³ ausgefauter Klärschlamm zur Nährstoffversorgung. In den Wintermonaten findet seit einigen Jahren keine Verregnung mehr statt. Das Verregnungswasser gelangt über eine Freigefälleleitung zu vier Verregnungspumpwerken und wird von dort in das Verregnungsnetz gedrückt. Zur Wasserbedarfsdeckung besteht an den Pumpwerken zusätzlich die Möglichkeit, Grundwasser zu fördern. In 2022 ist das Verregnungswasser um knapp 1,3 Mio. m³ Grundwasser ergänzt worden.

3.2 Nährstoffnutzung

Werden die Nährstoffgaben aus der Verregnung mit dem tatsächlichen Pflanzenbedarf verglichen, wird deutlich, dass trotz der Nutzung des Faulschlammes in den

meisten Fällen eine zusätzliche Nährstoffgabe durch die Landwirte erforderlich ist. In der folgenden Tabelle ist eine Bilanz über das gesamte Verbandsgebiet für die wesentlichsten Nährstoffe aufgelistet.

Tabelle 1: Gesamtbilanz im Verbandsgebiet, Berechnungsfläche 2700 ha

	N Ø kg/ha	(pflanzenver- fgb.) Gesamt kg	P ₂ O ₅ Ø kg/ha	Gesamt kg	K ₂ O Ø kg/ha	Gesamt kg
Lieferung aus Bereg- nung	33	87.681	31	82.367	40	106.280
Bedarf	142	377.294	70	185.990	130	345.410
Düngebe- darf		289.613		103.623		239.130

Die Nährstoffangaben sind hier mittlere Werte, sie hängen natürlich u. a. von den jeweils angebauten Feldfrüchten ab. Die von den Landwirten geforderte differenzierte Belegführung hinsichtlich des erfolgten Anbaus und der Nährstoffversorgung ermöglicht bei Bedarf eine exakte Zuordnung.

Übergeordnetes Ziel der Erweiterung der Schlammbehandlung auf der Kläranlage aus dem Jahr 2019 war die Entlastung des Klärwerkes. Vor dem Hintergrund des abzusehenden Verbots der landwirtschaftlichen Klärschlammnutzung sollte aber auch die Nutzbarkeit von Stickstoff und Phosphor in der Landwirtschaft, unabhängig von der Klärschlamm- und Abwasserwertung, sichergestellt werden. Daneben wurde eine Reduzierung der Klärschlammmenge angestrebt, um die Kosten für eine zukünftige Entsorgung zu senken. Die Erweiterung befindet sich noch in der Optimierungsphase, erste vielversprechende Ergebnisse liegen bereits vor.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Der Abwasserverband Braunschweig kann auf eine langjährige Erfahrung im Bereich der Wasserwiederverwendung zurückblicken. Er hat ausschließlich positive Erfahrungen damit gemacht. Das „Braunschweiger Modell“ bietet durch geschlossene Kreisläufe Nachhaltigkeit, Wertschöpfungsketten von der Pflanzenproduktion bis zur Stromvermarktung, und schont natürliche Ressourcen.

Der Wasserbedarf in der Landwirtschaft erhöht sich schon seit 100 Jahren stetig. Diese Entwicklung wird weiter anhalten. Die Wiederverwendung von Wasser und die Nutzung von Nährstoffen aus dem Abwasser steht vor dem Hintergrund EU-weiter und nationaler Regelungen zukünftig vor neuen Herausforderungen, aber auch neuen Chancen. Neben den ingenieurfachlichen Fragestellungen wird dabei die Finanzierung der technischen Umsetzung ein wesentlicher Aspekt sein.

UMGANG MIT STARKREGEN IM URBANEN RAUM

KLIMAANGEPASSTE QUARTIERSENTWICKLUNG - RAUMKONKURRENZEN ERFORDERN MULTIFUNKTIONALE LÖSUNGEN

Charlotte Lepold

Kurzfassung

Für die städtebauliche Anpassung an die Folgen des Klimawandels ist insbesondere die Zunahme von Extremwetterereignissen eine Herausforderung. In Zukunft müssen längere und intensivere Hitzewellen und Trockenphasen in den Sommermonaten sowie eine Zunahme von Starkregenereignissen bewältigt werden. Diese Ereignisse treffen auf darauf nicht vorbereitete Siedlungsräume. Doch nicht nur die Klimaanpassung stellt Städte und Siedlungen vor Herausforderungen – durch das in der Planung verfolgte Leitbild der kompakten Stadt der kurzen Wege und die Priorisierung der Innenentwicklung werden Städte dichter und Konkurrenzen zwischen unterschiedlichen Raumnutzungsansprüchen bewirkt. Dies resultiert potenziell in Konflikten zwischen der Innenentwicklung und den Belangen der Klimaanpassung, denen durch die multifunktionale Gestaltung urbaner Freiräume begegnet werden kann.

Schlüsselwörter

Klimaanpassung, Regenwassermanagement, Starkregenvorsorge, Hitzeschutz, Multifunktionalität, Multicodierung

1 Herausforderungen für eine klimaangepasste Quartiersentwicklung

Für die städtebauliche Anpassung an die Folgen des Klimawandels ist insbesondere die Zunahme von Extremwetterereignissen eine Herausforderung. In Zukunft müssen längere und intensivere Hitzewellen und Trockenphasen in den Sommermonaten sowie eine Zunahme von Starkregenereignissen bewältigt werden [1]. Diese Ereignisse treffen auf darauf nicht vorbereitete Siedlungsräume. Städte sind durch die Eigenschaften der gebauten Umwelt in besonderem Maße vom Klimawandel betroffen: sie weisen eine hohe Bebauungsdichte sowie einen hohen Versiegelungsgrad auf und zeichnen sich häufig durch ein geringes Grünvolumen aus. Durch diese massive Überprägung der „natürlichen“ Oberflächeneigenschaften wird in Städten erheblich in den natürlichen Wasserkreislauf, oberflächennahe Luftströmungen und die lokale Strahlungsbilanz eingegriffen [2]:

- durch den hohen Versiegelungsgrad wird der Anteil abfließenden Niederschlags erhöht, wodurch weniger Wasser versickert und verdunstet;
- die Gestaltung und Anordnung von Baukörpern und Straßen bestimmt, wo (Kalt-)Luft aus dem Umland in den Siedlungsraum fließen kann und
- eine geringe Albedo (Maß für den Anteil der Sonneneinstrahlung, der reflektiert wird) erhöht die Strahlungsabsorption und damit Aufheizung des Stadtraums, während eine höhere spezifische Wärmekapazität der Oberfläche Wärme länger speichert und die Ausstrahlung durch die Dreidimensionalität der städtischen Oberfläche reduziert wird [2].

In der Summe bewirken diese Eigenschaften der Siedlungsräume eine stärkere Aufheizung der Oberfläche und bodennahen Luftschicht. Hinzu kommt eine potenziell große Vulnerabilität bei Starkregen, da Niederschläge, die das Fassungsvermögen der Kanäle überschreiten, unkontrolliert oberflächlich abfließen und Überflutungen verursachen können. Die Folgen dieser nicht auf Klimaveränderungen vorbereiteten Strukturen sind vielseitig: Hitze und die erhöhte Konzentration von Luftschadstoffen durch den geringeren Luftaustausch haben negative Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und Stadtnatur, während starkregenbedingte Überflutungen die Sicherheit beeinträchtigen und Gebäude sowie Infrastrukturen beschädigen können [1].

2 Bausteine einer klimaangepassten Quartiersentwicklung

Für eine klimaangepasste Stadt- und Quartiersentwicklung bedarf es daher einem Umdenken und einer gezielten Anpassung der gebauten Umwelt – nicht nur punktuell, sondern systematisch und überlagert mit bzw. integriert in die anderen Funktionen der Stadt. Dafür steht eine Vielzahl verschiedener Bausteine zur Verfügung, die, konsequent umgesetzt, die stadträumliche Betroffenheit durch den Klimawandel und dessen negative Folgen reduzieren. Nachfolgend werden diese Bausteine zur Anpassung des Stadtraums in die Handlungsfelder der *Hitzevorsorge* und des *Regenwassermanagements* aufgeteilt. Durch das in beiden Feldern verfolgte Ziel der Annäherung der urbanen Wasserbilanz an die natürliche weisen sie jedoch viele Überschneidungen und Synergien auf.

2.1 Hitzevorsorge

Die Reduktion der städtischen Wärmeinsel und Sicherung eines gesundheitlich unbedenklichen Mikroklimas stehen im Mittelpunkt der Hitzevorsorge. Die Strategien zur Erreichung dieses Ziels orientieren sich dabei an der Optimierung des lokalen Wasserkreislaufs, Kaltluftprozessgeschehens und der Strahlungsbilanz [2].

Im Rahmen der Hitzevorsorge wird eine Erhöhung der Verdunstungskühlung durch blaue und grüne Infrastrukturen angestrebt. Besonders hohe Verdunstungsraten können durch ein hohes Grünvolumen, eine angepasste Artenauswahl sowie die Integration von bewegtem Wasser in den Stadtraum erzielt werden. Zudem muss die Wasserversorgung der Vegetation gesichert werden, da ohne verfügbares Bodenwasser keine Kühleffekte erzielt werden können [2,3].

Darüber hinaus steht die Sicherung und Förderung der Kaltluftproduktion (hauptsächlich im städtischen Umland oder auf größeren innerstädtischen Freiflächen) und -zufuhr im Fokus der Hitzevorsorge [2]. Hierfür bedarf es einer integrierten Betrachtung verschiedener Maßstabsebenen, um sicherzustellen, dass einerseits auf der Gesamtstadtebene Kaltluft von den Entstehungsflächen über Leitbahnen in überhitzte innerstädtische Bereiche gelangen kann; andererseits auf Quartiersebene eine Luftzirkulation durch die Anordnung und Ausrichtung der Baukörper gefördert wird und auch auf Baufeld- und Gebäudeebene eine Belüftung der inneren Bereiche einer Blockrandbebauung ebenso sichergestellt ist, wie die Ermöglichung des Querlüftens innerhalb der Gebäude.

Zur Optimierung der lokalen Strahlungsbilanz werden durch eine angepasste Materialauswahl eine möglichst hohe Albedo (durch helle Materialien mit hohem Rückstrahlungsvermögen) und geringe spezifische Wärmekapazität angestrebt. So wird weniger Strahlung absorbiert bzw. gespeichert und der Stadtraum heizt sich weniger auf. Die einfallende Sonnenstrahlung kann zudem durch grüne oder konstruktive Verschattungselemente (z. B. Bäume oder Sonnensegel) reduziert und auch auf diese Weise die Aufheizung von Freiräumen oder Gebäuden verringert werden. Ein weiterer, nicht zu unterschätzender Bestandteil in der Optimierung der Strahlungsbilanz ist die Förderung der nächtlichen Ausstrahlung – denn auch die städtische Oberfläche strahlt Wärme aus, was eine Abkühlung des Stadtraums bewirkt, wenn sie nicht durch die Dreidimensionalität der Oberfläche reflektiert und zurückgeworfen wird [4].

Analysen belegen, dass für eine effektive Hitzevorsorge alle drei Handlungsstränge integriert betrachtet werden müssen, da sich durch eine Kombination unterschiedlicher Maßnahmen die höchsten Kühlungsraten erzielen lassen [5].

2.2 Regenwassermanagement

Neben der Hitzevorsorge rückt auch die Anpassung des Regenwassermanagements immer mehr in den Fokus der Klimaanpassung. Eine Herausforderung ist die Breite des Aufgabenspektrums: ein angepasstes Regenwassermanagement muss sowohl Strategien für einen nachhaltigen Umgang mit „normalem“ Regen (dezentrale Regenwasserbewirtschaftung), als auch mit zu wenig Regen (Trockenheitsvorsorge) und mit

seltener Starkregenereignissen (Überflutungsvorsorge) entwickeln. Die ersten beiden Handlungsstränge können im Rahmen des Schwammstadt-Ansatzes integriert betrachtet werden. Das Maßnahmenspektrum dieses Ansatzes zielt auf eine Reduktion des Abflusses und auf eine Erhöhung der Speicherung des anfallenden Niederschlags (wie in einem Schwamm), das so zu einem späteren Zeitpunkt zur Verdunstung zur Verfügung steht.

Für die Starkregenvorsorge müssen ergänzenden Konzepte erarbeitet werden, da davon ausgegangen werden muss, dass ab einer gewissen Niederschlagsintensität die Elemente der Schwammstadt zur Abwendung von Überflutungen nicht mehr ausreichen. Daher muss durch die Gestaltung der städtischen Freiräume sichergestellt werden, dass überschüssiges Wasser kontrolliert oberflächlich in dafür vorgesehene (temporäre) Rückhalteräume abgeleitet werden kann und Gebäude und Infrastrukturen durch gezielte Objektschutzmaßnahmen vor eintretendem Wasser geschützt werden [6].

Nicht zuletzt ist es im Rahmen eines klimaangepassten Regenwassermanagements wichtig, Regenwasser nicht nur als Herausforderung, sondern auch als Ressource zu verstehen, die sowohl als Brauchwasser und zur Bewässerung als auch als Element der Stadtgestaltung genutzt werden kann [7].

3 Leitbildkonflikt und Multifunktionalität

Die Einflüsse des Klimawandels auf die gebaute Umwelt, die daraus entstehenden Herausforderungen und Gefahren sowie die Anpassungsmöglichkeiten sind in Fachkreisen seit Jahren bekannt. Trotzdem muss in der Praxis noch häufig eine mangelhafte Umsetzung festgestellt werden. Dies ist auch auf den empfundenen Zielkonflikt zwischen den Leitbildern der „kompakten Stadt“ und der „klimaangepassten Stadt“ zurückzuführen. Denn während ersteres eine Verdichtung der bestehenden Stadträume anstrebt, um die Flächenversiegelung zu verringern, Verkehre zu vermeiden und die Energieeffizienz zu erhöhen, scheinen Klimaanpassungsbelange der weiteren baulichen Verdichtung häufig entgegenzustehen – da diese u. U. den Luftaustausch einschränkt sowie durch zunehmende Versiegelung den verfügbaren Raum für grüne und blaue Infrastrukturen reduziert. Für eine zukunftsfähige Quartiersentwicklung, die sowohl dem Klima- und Umweltschutz als auch der Klimaanpassung gerecht wird, müssen daher Wege gefunden werden, die beiden Leitbilder miteinander in Einklang zu bringen.



Abb. 1: Multifunktionale Gestaltung der Grün- und Verkehrsflächen (Quelle: MUST Städtebau)

Die Nachverdichtung und das Weiterbauen der Stadt im Sinne des Leitbildes der kompakten Stadt der kurzen Wege bewirkt zunehmend Flächenkonflikte unterschiedlicher Nutzungsansprüche in den urbanen Frei- und Mobilitätsräumen [8]. Da die Flächen in der Stadt knapp und nicht vermehrbar sind, müssen diese Nutzungsansprüche vermehrt überlagert und kombiniert werden. Straßenräume können nicht mehr ausschließlich der Abwicklung des Verkehrs dienen, sondern sollten gleichzeitig als Gelegenheitsräume für die Klimaanpassung und den Artenschutz betrachtet werden. Grünflächen können nicht allein der Bewegung, Erholung und als sozialer Treffpunkt dienen, sondern sind wichtige Bestandteile einer Starkregenvorsorgestrategie und sollten auch für die Kühlung des umliegenden Stadtraums sowie die Luftreinhaltung eingesetzt werden [9]. Diese Überlagerung unterschiedlicher sozialer, ökologischer, logistischer und sonstiger Funktionen auf einer Fläche wird als Multifunktionalität oder Multicodierung bezeichnet [10] (Abb. 1). Über diesen Ansatz kann auch dem oben dargestellten Leitbildkonflikt begegnet werden: indem die Belange der Klimaanpassung nicht separat, sondern integriert mit den weiteren Anforderungen an die gebaute Umwelt betrachtet werden, können Lösungen für eine multifunktionale und dadurch flächensparende Umsetzung gefunden werden – die somit beiden Leitbildern gerecht werden kann.

Bei der Umsetzung multifunktionaler Lösungen bestehen große Unterschiede zwischen Neuplanungen und Anpassungen des Siedlungsbestandes. Bei ersteren kann durch eine frühzeitige und umfassende Betrachtung der unterschiedlichen Raumnutzungsansprüche eine bestmögliche Synthese im Gesamtkonzept erreicht werden – und damit eine Erhöhung der Wohn- und Lebensqualität bei gleichzeitiger Reduktion der Vulnerabilität gegenüber den Folgen des Klimawandels. Im Bestand gestalten sich die Möglichkeiten der (nachträglichen) Überlagerung verschiedener Nutzungen häufig komplex, insbesondere wenn sie eine bauliche und somit kostenintensive Anpassung der entsprechenden Räume bedürfen. Daher sollten hier alle ohnehin anstehenden baulichen Eingriffe (z. B. Kanalsanierungen, Straßenumbau, Nachverdichtung, Rückbau) als Gelegenheitsfenster verstanden werden, die genutzt werden können, um den Bestand sukzessive an neue und zukünftige Anforderungen anzupassen. Vor allem die Mobilitätswende bietet hier eine Chance, da sich langfristige Raumnutzungen ändern und so Raum für die Klimaanpassung (und andere Funktionen) geschaffen werden kann.

Wichtig ist es zudem, Flächen nicht nur punktuell im Rahmen einzelner Leuchtturmprojekte multifunktional zu gestalten, sondern den Ansatz konsequent und systematisch sowohl auf Quartiersebene, als auch auf der Ebene des städtischen Freiraums und des Gebäudes umzusetzen. Auf Quartiersebene sollten im Zuge der Hitzevorsorge Kaltluftproduktionsflächen über Schneisen mit den belasteten Siedlungsräumen vernetzt werden - während alle diese Flächen weitere Nutzungen bedienen können. Gleiches gilt für die Überflutungsvorsorge: im Falle eines Starkregens temporär als Notwasserwege und zur Retention genutzte Flächen können im Regelfall ganz andere Funktionen haben. Auf der Ebene des städtischen Freiraums drückt sich diese Überlagerung der Klimaanpassung mit den sonstigen Raumnutzungsansprüchen in ganz konkreten Maßnahmen aus (bspw. der Anlage von Tiefbeeten und Mulden oder Pflanzung von Bäumen im vorher unbegrünten Straßenraum). Und auch die Gebäudehülle kann mehr, als ästhetischen Ansprüchen gerecht zu werden, indem sie bspw. durch eine Begrünung zur Kühlung des Stadtraums (und der Innenräume) und somit Klimaanpassung oder durch die Integration von Solarpanelen für den Klimaschutz genutzt wird. So erlaubt es eine multifunktionale Flächengestaltung die scheinbaren Zielkonflikte zwischen der kompakten und der klimaangepassten Stadt zwar nicht vollumfänglich aufzulösen, aber doch pragmatisch anzugehen und praxistaugliche Lösungen zu entwickeln.

4 Literaturangaben

- [1] IPCC (2022): Zusammenfassung für die politische Entscheidungsfindung. In: Klimawandel 2022: Folgen, Anpassung und Verwundbarkeit. Beitrag der Arbeitsgruppe II zum Sechsten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen.
- [2] Oke, T.R.; Mills, G.; Christen, A.; Voogt, J.A. (2017): Urban Climates. Cambridge University Press, Cambridge.
- [3] Kirschbaum B., H. Sieker, R Steyer, B. Büter, D. Lessmann, R. von Tils, C. Becker & S. Hübner (2019): Maßnahmen zur Hitzestress-Reduzierung anhand Verdunstungsabkühlung. In: Lozán J. L. S.-W. Breckle, H. Grassl, W. Kuttler & A. Matzarakis (Hrsg.). Warnsignal Klima: Die Städte. pp. 227-232.
- [4] Breuste, J.; Pauleit, S.; Haase, D.; Sauerwein, M. (2016): Stadtökosysteme. Funktion, Management und Entwicklung. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg.
- [5] Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin (Hrsg.) (2011): Stadtentwicklungsplan Klima. Urbane Lebensqualität im Klimawandel sichern. Kulturbuch-Verlag GmbH, Berlin.
- [6] Benden, J.; Broesi, R; Illgen, M.; Leinweber, U.; Lennartz, G.; Scheid, C.; Schmitt, T. G. (2017): Multifunktionale Retentionsflächen. Teil 3: Arbeitshilfe für Planung, Umsetzung und Betrieb. MURIEL Publikation.
- [7] Pitha, U.; Scharf, B.; Wultsch, T.; Stangl, R. (2022): Grünes Regenwassermanagement – naturbasierte Lösungen und nachhaltige Landschaftsbautechniken im Vormarsch? In: Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft (2022).
- [8] Albrecht, J., Eckersley, P., Haupt, W., Huber, B., Irmisch, J., Lipp, T., Mieschels, M., Sterzel, T. (2022): Stärkung der Integration von Klimaanpassung an Hitze und Starkregen in die kommunale Planung. Zwölf Handlungsempfehlungen aus dem Dialog mit kommunalen Planer:innen im Projekt ExTrass. Urbane Resilienz gegenüber extremen Wetterereignissen – Typologien und Transfer von Anpassungsstrategien in kleinen Großstädten und Mittelstädten. Berlin: adelphi research gemeinnützige GmbH.
- [9] Rößler, S. (2015): Klimawandelgerechte Stadtentwicklung durch grüne Infrastruktur. In: Raumforschung und Raumordnung 2015 / 73. pp. 123-132.
- [10] Becker, C. (2012): Multicodierung als Strategie. In: Garten + Landschaft 2012 / 3. pp. 12-15

ÜBERWINDUNG RECHTLICHER UND ORGANISATORISCHER HINDERNISSE IN DER PLANUNGSPRAXIS

Marko Siekmann

Kurzfassung

Die Veränderung des Wettergeschehens auch in unseren urbanen Lebensräumen macht sowohl eine angepasste Planung neu zu erschließender Gebiete wie auch veränderte Planungsansätze beim Erhalt und Neubau urbaner Infrastrukturen im Bestand erforderlich. Hierbei sind neben vermehrt auftretenden Startniederschlagsereignissen auch länger anhaltende Trockenperioden, ggf. Dürren sowie steigende Temperaturen im Siedlungsbereich maßgebliche Randbedingungen, die es zu beachten gilt. Dabei werden seit Jahren Planungsideale der wassersensiblen oder der wasserbewussten Stadtplanung verfolgt. Mehr noch als die Diskussion über Begrifflichkeiten in Zusammenhang mit diesen Planungsprozessen sind jedoch organisatorische Weichen zu stellen, um integrale Planungsansätze übergreifend über alle Disziplinen der Stadt und der Zivilgesellschaft miteinander zu vereinen. Im Rahmen der Zukunftsinitiative „Klima.Werk“ (früher „Wasser in der Stadt von Morgen“) [1] werden seit Jahren Lösungsvorschläge erarbeitet, die die Umsetzung integraler Planungen vereinfachen und dabei gleichzeitig die rechtlichen Randbedingungen einhalten. Dabei wird auf schlanke Prozesse im Sinne des agilen Projektmanagements [2] und von Future Skills [3, 4] gesetzt.

Schlüsselwörter

Integrale Planung, blau grüne Infrastruktur, Agile Prozesse, Future Skills, Transformation, Verstetigung

1 Allgemeines

Die Diskussion um die Auswirkungen des Klimawandels und die notwendigen Anpassungsmaßnahmen ist nicht nur in der Fachöffentlichkeit, sondern auch in der Öffentlichkeit allgegenwärtig. Dies wird durch eine starke mediale Präsenz städtischer Sturzfluten weitergehend forciert. Aufgrund der prognostizierten Klimaveränderungen verbunden mit einer zunehmenden Häufigkeit von extremen Starkniederschlägen ist mit einer Zunahme von Überflutungsereignissen in besiedelten Räumen zu rechnen. Ebenso häufen sich längere Hitzeperioden mit andauernden Trockenzeiten. Deshalb müssen nachhaltige Lösungen gefunden werden, welche nicht nur die wasserwirtschaftlichen Belange berücksichtigen, sondern die vielmehr einen integralen Ansatz

zwischen Stadtplanung, Siedlungswasserwirtschaft und Bürgerschaft verfolgen. Während die wasserwirtschaftlichen Lösungsansätze weitestgehend entwickelt sind und nur noch in Nuancen modifiziert werden, scheinen sie im Alltag der Städte oft nur in wenigen pilothaften Anwendungen angekommen zu sein. Die erfolgreiche Umsetzung von Projekten steht meist mit konkreten Personen in Zusammenhang, die Innovation und Weiterentwicklung einfordern und auch bei auftretenden Problemen ihre Machbarkeit aufzeigen. Weiter entwickelte technische Lösungsansätze, die derzeit verfolgt werden, sind beispielweise die Anordnung von Baumrigolen zur Speicherung, Versickerung und Verdunstung anfallenden Niederschlagswassers. Werden die Abflüsse über die Oberfläche zugeführt, erfolgt auch eine Behandlung der Abflüsse. Das Wasserhaushaltsgesetz wie auch die Landeswassergesetze ermöglichen die Umsetzung derartiger Anlagen. Viele neue Ansätze, nicht zuletzt die Zukunftsinitiative „Klima.Werk“ haben gezeigt, dass Vernetzung [1] und kollaborative Strukturen die Umsetzung von Projekten unterstützen. In agilen Formaten ist hierbei zunächst das „Was“ zu klären, also die Vision und das Ziel, gegenseitige Wertevorstellungen zu verhandeln und die verschiedenen Rollen zu besetzen bevor das ingenieurtechnische „Wie“ angegangen wird.

2 Evolution im Handeln und neue Lösungsansätze

2.1 Agile Prozesse in der Verwaltung

Die Stadt Bochum setzt bereits seit längerem aktiv agile Führungs- und Managementinstrumente im Rahmen der „Bochum-Strategie“ (<https://www.bochum.de/die-bochum-strategie>) sowie in ihrer Beteiligung an der Zukunftsinitiative „Klima.Werk“ der Kommunen im Emscher- und Lippe-Einzugsgebiet (<https://www.klima-werk.de>) ein. Dieses Vorgehen hat sie auf ein klassisch formales Verwaltungsinstrument – das Abwasserbeseitigungskonzept (ABK) – übertragen (siehe Kapitel 3) und damit einen weiteren Transformationsprozess innerhalb der Verwaltung angestoßen. Die vorhandenen, jedoch knappen Zeit-, Personal- und Wissensressourcen werden so möglichst fachbereichs- und städteübergreifend für zukunftsbestimmende Querschnittsaufgaben genutzt.

2.2 Rechtliche Aspekte

In Nordrhein-Westfalen regelt das Landeswassergesetz (LWG NRW), dass in regelmäßigen Abständen (alle 6 Jahre) ein Abwasserbeseitigungskonzept (ABK) aufzustellen ist. Im dazugehörigen Niederschlagswasserbeseitigungskonzept (NBK) wird der Umgang mit dem im Einzugsgebiet anfallendem Niederschlagswasser erläutert. Hierunter fallen auch die Maßnahmen zur Klimawandelanpassung, so dass alle

ermöglicht die stark gedrosselte Ableitung. Somit lassen sich diese Anlagen unabhängig der räumlichen Gegebenheiten in gedichteter Bauweise auch wasserrechtskonform einsetzen, wenn Bodenverhältnisse, Grundwasserstände oder die Abstände zu unterkellerten Gebäuden eine Versickerung nicht zulassen. In diesen Fällen handelt es sich also nicht um ein Entwässerungselement, eher um eine Regenwassernutzungsanlage zur Bewässerung von Baumstandorten.

3 Das Abwasserbeseitigungskonzept der Stadt Bochum als agiler Managementansatz

Es galt, in der Verwaltung einen Prozess zu identifizieren, der als Musterbeispiel agilen Verwaltungshandelns herangezogen werden kann. Die Wahl fiel dabei auf die Erstellung des Abwasserbeseitigungskonzeptes (ABK). In einer Auftaktveranstaltung zum ABK-Prozess wurden die Grundlagen für die kooperative Zusammenarbeit geschaffen. Alle formulierten aus ihrer Zuständigkeit und persönlichen Sicht heraus, was für die Bürgerschaft und die Stadt eine zukunftsweisende Lösung ist. Die großen Aufgabenpakete wurden miteinander skizziert und es wurde vereinbart, dass unterschiedliche Meinungen oder sogar Interessenkonflikte zu Inhalten und Vorgehen Schritt für Schritt miteinander gelöst werden. Dazu wurden Sprintteams gebildet, in denen sich Mitarbeitende selbstverantwortlich organisieren und Teilergebnisse produzieren [3]. Das weitere Vorgehen wurde mit agilen Arbeitsmethoden (Kanban-Board, Scrum-Rollen usw.) organisiert. Im Team wurden die Prämissen des „agilen Mindsets“ (Haltung, Verhalten und Methoden) vereinbart. Wesentliche und werteorientierte „Standards und Spielregeln“ waren u.a. (siehe auch Abb. 2) [3]:

- Wir verständigen uns auf die Handlungsrichtung, auch wenn aufgrund bisheriger Erfahrungen und der Entscheidungsspielräume keine Best-Lösungen zu erwarten sind.
- Alle sorgen dafür, dass alle auch erfolgreich sein können. Die Qualität des Miteinanders ist Grundlage dafür, dass in komplexen Aufgabenstellungen mit vielen Beteiligten eine bestmögliche Gesamtlösung entsteht.
- Aufgaben werden nicht vergeben oder zugeteilt. Alle handeln in ihrem Rahmen und mit dem jeweiligen Team, verantwortungsbewusst, indem der eigene (Leistungs-) Beitrag mit Vorgesetzten bzw. mit den Schnittstellen zu anderen Bereichen ausgehandelt und vereinbart wird. Wir warten nicht auf Anweisungen, sondern bringen im Gegenstromprinzip Vorschläge ein.
- Fehler sind notwendiger Teil des Prozesses und beinhalten die Chance für Innovationen und Entwicklungen, an die zu Beginn niemand gedacht hat.
- Der offene Austausch über wechselseitige Erwartungen sowie darüber, was gut gelungen ist und was sich jeder bzw. jede als nächsten (Lern- und Arbeits-)

Schritt vornimmt, sind Basis für die kooperative Zusammenarbeit und den Teamzusammenhalt.

- Im Prozess der Umsetzung wird erlebt, welcher Gewinn entsteht, wenn verschiedene Zuständigkeiten als Community Verantwortung für den eigenen Beitrag und für das Gesamt-Ergebnis übernehmen, indem sie Wissen, Erfahrungen und Ressourcen teilen und zusammen das „Werk“ erstellen.



Abb. 2: Grundsätze agiler Zusammenarbeit [3]

Der ABK-Planungsprozess reiht sich nicht nur in den intrinsischen Auftrag zu einer klimaangepassten Stadtentwicklung aus der Bochum-Strategie ein. Er passt gleichsam auch zur Zukunftsinitiative „Klima.Werk“. Der Fokus der Initiative liegt darauf, die urbanen Ballungsräume zu blau-grünen Zukunftsstädten werden zu lassen, in denen Wasser und städtisches Grün zentrale gestalterische Elemente der Stadtentwicklung werden. Im Rahmen der Zukunftsinitiative hat sich eine Kultur der Zusammenarbeit entwickelt, die keine Fachbereichs- und keine Stadtgrenzen kennt, sondern Personen und deren Wissen und Erfahrungen zusammenbringt und so vernetzt, dass für die gesamte Region Good Practice-Lösungen für eine nachhaltige Zukunft entwickelt werden. Gestützt durch die Legitimation zur Entwicklung der Region durch die Stadtspitzen (top-down) findet bottom-up der ABK-Planungsprozess durch die Mitarbeitenden statt [3]. Die Erstellung des Abwasserbeseitigungskonzeptes hat so gezeigt, dass selbst bei zunächst als ungeeignet für agiles Handeln erscheinenden

Prozessen eine Veränderung möglich ist, die sowohl das Produkt, hier das ABK, wie auch das Handeln in eine neue Zukunft führen kann.

4 Fazit

Klimawandelschutz und -anpassung als technische Lösung und agile Methoden zur Umsetzung sind in der Verwaltung angekommen. Die handelnden Akteure haben so Werkzeuge an der Hand, kosteneffiziente Lösungen zu schaffen und urbane Lebensräume in eine lebenswerte Zukunft zu führen. Hierbei gilt es nun, die organisatorischen Fähigkeiten in selbstorganisiertes Verwaltungshandeln zu überführen. Nur so ist die Umsetzung dieser hochkomplexen Aufgaben der Zukunft zu bewältigen. Wichtig dabei: Bleiben sie geduldig!

5 Literaturangaben

- [1] Becker M., Schumacher R. und Siekmann M. (2018), Die Zukunftsinitiative „Wasser in der Stadt von morgen“ – Kooperation für eine wassersensible, attraktive und nachhaltige Emscherregion, KW Korrespondenz Wasserwirtschaft, 2018 (11), Nr. 10, S. 597 ff., DWA, Hennef.
- [2] Siekmann M., Gunkel A., Engels R., Pacha T., Kerres K., Gredigk-Hoffmann S. und Helbig P. (2022): Das Abwasserbeseitigungskonzept der Stadt Bochum - vom Nachweisinstrument zur effizienten Planungshilfe, KA Korrespondenz Abwasser, Abfall, ISSN: 1866-0029, Jg.69, Nr. 2, 2022, S.102-108, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), Hennef.
- [3] Siekmann M., Engels R., Pacha T., Gunkel A., Helbig P., Gredigk-Hoffmann S. und Kerres, K. (2022): Future Skills für Zukunftsstädte, Agiles Zusammenarbeiten in sektoralen Verwaltungsstrukturen – am Beispiel des ABK in Bochum. Transforming Cities, Heft 2, 2022, ISSN (print): 2366-7281, Trialog Publishers Verlagsgesellschaft, Eberhard Buhl und Christine Ziegler, Baidersbronn-Buhlbad.
- [4] Spiegel P., Pechstein A., Grüneberg A. und Ternès von Hattburg A.(Hrsg.) (2021): Future Skills, 30 zukunftsentscheidende Kompetenzen und wie wir sie lernen können, ISBN 978-3-8006-6635-5, Franz Vahlen Verlag, München.

MANAGEMENT DES HOCHWASSERRISIKOS

INTEGRALE BEWERTUNG VON HOCHWASSER- UND STARKREGENGEGFAHREN

Christoph Mudersbach

Kurzfassung

Ein zentrales Element im Hochwasser- und Starkregenrisikomanagement ist die Erstellung von Gefahren- und Risikokarten. Während für die Bewertung von Hochwassergefahren an Fließgewässern weitgehend bundeseinheitliche Regelungen vorliegen, ist dies bei Starkregengefahren nicht gegeben. Ebenso gibt es für eine erforderliche integrale Betrachtung der Hochwasser- und Starkregengefahren Wissens- und Regelungslücken. Die identifizierten Defizite sollen im Rahmen einer DWA-Arbeitsgruppe ES-2.8 „Integrale Starkregen- und Hochwassergefahrenkarten“, die als gemeinsame Arbeitsgruppe der Fachausschüsse HW-4 „Hochwasserrisikomanagement“ und ES-2 „Systembezogene Planung“ eingerichtet wurde, bearbeitet werden. Erste Ergebnisse der Arbeitsgruppe werden vorgestellt.

Schlüsselwörter

Starkregen, Sturzflut, Hochwasser, integrale Gefahrenbewertung, Jährlichkeit

1 Allgemeines

Die Flutkatastrophe im Juli 2021 in Teilen von Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen hat die Dringlichkeit von gezielter, ortsbezogener Vorsorge für Hochwasser und Starkregenüberflutungen nachdrücklich unterstrichen. Ein zentrales Element im Hochwasser- und Starkregenrisikomanagement ist die Erstellung von Gefahren- und Risikokarten. Der Koalitionsvertrag der Bundesregierung nimmt darauf unmittelbar Bezug: „Wir schaffen bundeseinheitliche Standards für die Bewertung von Hochwasser- und Starkregenrisiken und die Erstellung und Veröffentlichung von Gefahren- und Risikokarten.“

Während für die Bewertung von Hochwassergefahren an Fließgewässern (fluviale Überflutungen) durch die Einführung der EU-Hochwasserrisikomanagementrichtlinie im Jahr 2007 und den nachfolgenden rechtlichen Regelungen und Arbeitshilfen (z.B. [1, 2]) weitgehend bundeseinheitliche Regelungen vorliegen, ist dies bei Starkregengefahren (pluviale Überflutungen) nicht gegeben. Zwar existieren Leitfäden und Regelwerke für die Erstellung von Starkregengefahrenkarten (z.B. [3-5]), aber weder für die Starkregengefahrenkarten noch für eine erforderliche integrale Betrachtung der Gefahren aus Hochwasser und Starkregen liegen einheitliche Standards vor. Dies

betrifft sowohl die technischen Aspekte einer integralen Analyse der Überflutungsgefährdung als auch gesetzliche und administrative Vorgaben bzw. Zuständigkeiten.

Die identifizierten Defizite sollen im Rahmen einer DWA-Arbeitsgruppe ES-2.8 „Integrale Starkregen- und Hochwassergefahrenkarten“, die als gemeinsame Arbeitsgruppe der Fachausschüsse HW-4 „Hochwasserrisikomanagement“ und ES-2 „Systembezogene Planung“ eingerichtet wurde, bearbeitet werden

2 Beispiel für Überlagerung von Starkregen- und Hochwassergefahren

Bisherige verfügbare Hochwassergefahrenkarten und Starkregengefahrenkarten erlauben in Teilbereichen eine Überlagerung der Modellergebnisse. Abbildung 1 zeigt ein Beispiel für die Ortslage Bamenohl an der Lenne (NRW), für die sowohl Hochwassergefahrenkarten als auch eine Starkregenhinweiskarte des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie existieren. Die Starkregenhinweiskarte zeigt sowohl abseits als auch in der Nähe der Lenne Überflutungen infolge eines 100-jährlichen Starkniederschlagsereignisses. Die Hochwassergefahrenkarte für das HQ100 weist die Überschwemmungsbereiche durch das 100-jährliche Hochwasserereignis aus. Es zeigt sich, dass es insbesondere in Gewässernähe zu einer starken Überlappung der überfluteten Bereiche kommt. Allerdings muss beachtet werden, dass das 100-jährliche Starkniederschlagsereignis in der Ortslage Bamenohl nicht primär ursächlich für das 100-jährliche Hochwasserereignis in der Lenne ist.

Die kombinierte Eintrittswahrscheinlichkeit aus Überflutung durch Starkniederschlag und Überschwemmung durch Flusshochwasser hängt davon ab, ob die Ereignisse Starkregen und Hochwasser statistisch unabhängig sind oder nicht. Das überlagerte Szenario hat somit weder eine Jährlichkeit von 100 Jahren (*statistisch vollständig abhängige Ereignisse*), noch eine Jährlichkeit von 10.000 Jahren (*statistisch vollständig unabhängige Ereignisse*). Dies ist bei der Überlagerung von Ergebnissen zu beachten, ebenso wie die Tatsache, dass mögliche hydraulische Wechselwirkungen bei einer einfachen Überlagerung nicht berücksichtigt werden können. Empfehlungen zur Angabe von kombinierten Eintrittswahrscheinlichkeiten existieren derzeit aber nicht.



Abbildung 1: Vergleich und Überlagerung von Starkregenhinweiskarte und Hochwassergefahrenkarte.

3 Zukünftige Handlungserfordernisse

Für eine integrale Bewertung von Starkregen- und Hochwassergefahren sind insbesondere die nachfolgenden grundlegenden Aspekte bedeutend, die Gegenstand der zukünftigen Regelwerksarbeit sein sollten:

Die integrale Betrachtung von Starkregen- und Hochwassergefahren wird bislang durch kein Regelwerk umfassend beschrieben, obwohl Hochwasserschäden oftmals aus einer Kombination von beiden Ereignissen entstehen. Gerade für Betroffene und Entscheidungsträger ist die Trennung von Starkregengefahren und Hochwassergefahren eine Herausforderung, da letztlich das Risiko von negativen Auswirkungen hydrologischer Extremereignisse gemindert werden soll, unabhängig von deren physikalischer Entstehung.

Eine integrale Betrachtung von Starkregen- und Hochwassergefahren ist daher unerlässlich, kann jedoch nicht gleichermaßen für alle Gebiete erfolgen. Ein wesentlicher Parameter ist das Verhältnis aus der Flächengröße des betrachteten Untersuchungsgebietes (A_U) zu dem zugehörigen Einzugsgebiet (A_E):

$$g = A_U/A_E$$

Liegt der Verhältniswert g nahe bei 1 (vgl. Fall A in Abbildung 2), dann kann die Überregnung des Gebietes A (Kopfgebiet) gleichzeitig zu einer flächigen Sturzflut und einem Hochwasserereignis im Gewässer führen. Eine modelltechnische Trennung der Berechnung und Darstellung eines solchen Ereignisses führt zu einem Informationsverlust, da der Zufluss durch die flächige Sturzflut zum Gewässer nicht abgebildet wird.

Im Fall B (Verhältniswert $g < 1$) kann durch einen Starkregen im Gebiet B eine flächige Sturzflut ausgelöst werden, die nicht zwingend zeitgleich mit einem Hochwasser im Gewässer stattfinden muss. Je nach Gebietsgröße muss jedoch auch mit einem signifikanten Hochwasserzufluss von oberhalb gerechnet werden, da ein zeitliches Zusammentreffen beider Ereignisse möglich ist. Länger anhaltende Niederschlagsereignisse geringerer Intensitäten können auch zu Hochwasserzuflüssen im Gewässer führen, ohne dass eine gleichzeitige Sturzflut stattfindet. Eine modelltechnische Abbildung des gesamten Einzugsgebietes einschließlich des gesamten Gewässermodells ist in der Regel zu aufwändig, weshalb eine statistische Kopplung von Starkregengefahren und Hochwassergefahren in Erwägung gezogen werden kann. Hierzu müssen jedoch vorab die statistischen Abhängigkeiten zwischen Starkregen und Hochwasser in dem betroffenen Gebiet mit geeigneten Verfahren analysiert werden.

Liegt der Verhältniswert g nahe bei 0 (vgl. Fall C), dann sind die Ereignisse Sturzflut im Gebiet C und Hochwasser im Hauptgewässer voneinander nahezu unabhängig, da die ereignisauslösenden Prozesse und Gebiete sehr unterschiedlich von Größe, Reaktionszeit und Überregnung sind.

Insbesondere für die Fälle A und B gilt es eine Methodik zu entwickeln, welche die Überflutungs- und Überschwemmungsprozesse physikalisch und/oder statistisch kombiniert und holistisch abbildet.

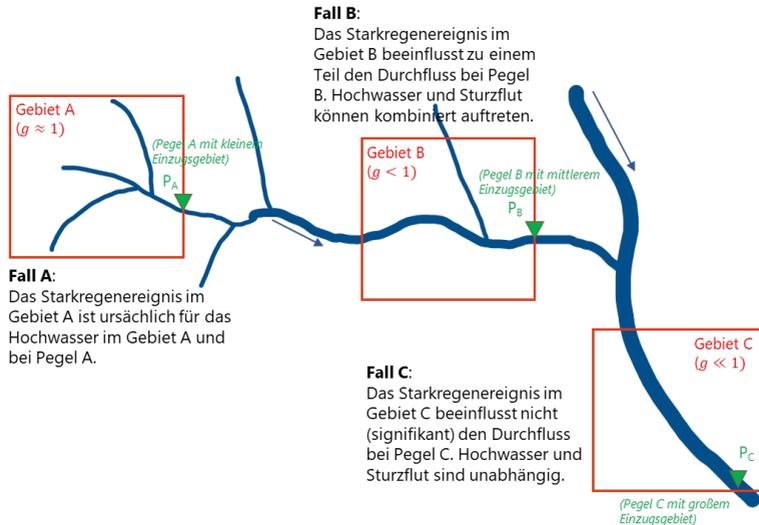


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Zusammenhanges zwischen Starkregenereignis und Durchfluss im Gewässer

Eine Herausforderung bei der zukünftigen Arbeit der DWA-AG ES 2.8 wird sein, dass für einige skizzierten Problemstellungen derzeit noch keine ausreichenden wissenschaftlichen Grundlagen vorliegen, die es erlauben würden, diese in den Stand der Technik zu überführen. Die DWA-AG ES-2.8 selbst kann diese wissenschaftlichen Grundlagen nicht erarbeiten. Aus diesem Grund möchte die DWA-AG ES-2.8 auch Ansporn sein, entsprechende Forschungsvorhaben zu initiieren, um vorhandene Wissenslücken schließen zu können.

4 Literaturangaben

- [1] WHG (2009): Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), zuletzt geändert durch Artikel 12 des Gesetzes vom 20. Juli 2022 (BGBl. I S. 1237); https://www.gesetze-im-internet.de/whg_2009/
- [2] LAWA (2018): Empfehlungen zur Aufstellung von Hochwassergefahrenkarten und Hochwasserrisikokarten; Hrsg.: Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), Ministerium für Umwelt, Energie, Ernährung und Forsten Rheinland-Pfalz; Mainz

- [3] LAWA (2018): LAWA-Strategie für ein effektives Starkregenrisikomanagement; Hrsg.: Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), Thüringer Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz; Erfurt
- [4] MULNV (2018): Arbeitshilfe kommunales Starkregenrisikomanagement – Hochwasserrisikomanagementplanung in NRW; Hrsg.: Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen; Düsseldorf
- [5] LUBW (2016): Leitfaden Kommunales Starkregenrisikomanagement in Baden-Württemberg; Hrsg.: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg; Karlsruhe

NEUES AUS DER HOCHWASSERRISIKOFORSCHUNG: DIE GANZHEITLICHE HOCHWASSERRISIKOANALYSE

Daniel Bachmann

Kurzfassung

Ein strukturiertes Vorgehen im Hochwasserrisikomanagement ist in der Europäischen Union seit 2007 gesetzlich vorgeschrieben. Die verheerenden Überschwemmungen im Juli 2021 im Westen Deutschlands, in Belgien und den Niederlanden zeigten jedoch eindrücklich, dass diese Anstrengungen nicht ausreichend sind. Das Hochwasserrisikomanagement sollte aus einem ganzheitlichen Ansatz bestehen, der eine Hochwasserrisikoanalyse auf Einzugsgebietsebene mit mehreren Kategorien von Hochwasserkonsequenzen umfasst. Dazu sind neue Werkzeuge zur Hochwasserrisikoanalyse nötig, um Experten und Entscheidungsträger in diesem Prozess zu unterstützen. Das frei-verfügbare Software-Paket PROMAIDES (*Protection Measures against Inundation Decision support*) ist ein Werkzeug zur risikobasierten Bewertung von Hochwasserschutzmaßnahmen in Fluss- und Küstenregionen und versucht diese Lücke zu schließen.

Schlüsselwörter

Hochwasserrisikoanalyse, Software, hydrodynamische Analyse, Hochwasserkonsequenzen, Zuverlässigkeitsanalyse

1 Einleitung

Starke Niederschläge, hohe Abflüsse und Hochwasser sind grundsätzlich natürliche Phänomene. Die anthropogene Verringerung der Abflusskapazität unserer Flüsse sowie die anthropogene Nutzung natürlicher Speicherflächen durch Wohnbebauung, Industrie oder Landwirtschaft führen jedoch im Hochwasserereignis zu dramatischen Konsequenzen für die Gesellschaft.

Historische Hochwasserereignisse in den letzten drei Jahrzehnten in Mitteleuropa hatten dramatische Folgen für die Gesellschaft (z. B. Rhein 1995, Oder 1997, Elbe/Donau 2002 und 2013). Dies löste einen Paradigmenwechsel von einem rein technisch orientierten Hochwasserschutz hin zu einem breiteren Spektrum von Hochwasserschutzmaßnahmen aus. So werden die technischen Maßnahmen durch den natürlichen Rückhalt und Hochwasservorsorgemaßnahmen ergänzt ([1]). Zusätzlich wurde ein strukturiertes Vorgehen für ein Hochwasserrisikomanagement etabliert:

Hochwassergefahrenkarten, Hochwasserrisikokarten und Hochwasserrisikomanagementpläne sind seit 2007 gesetzlich vorgeschrieben und werden entsprechend entwickelt und aktualisiert. Dennoch waren die Hochwasserereignisse des Jahres 2021 für Entscheidungsträger und Anwohner überraschend. In Deutschland wurde mit geschätzten 30 Mrd. € ökonomischem Schaden und ca. 180 Opfern ein neuer tragischer Rekord aufgestellt ([2]; [3]). Die kurz- und langfristigen psychosozialen und ökologischen Auswirkungen des Hochwassers sind noch immer unbekannt.

Aus wissenschaftlicher Sicht gibt es Verbesserungspotenzial. Einzugsgebietsbezogene Hochwasserrisikoanalysen und eine risikobasierte Bewertung von Hochwasserrisikominderungsmaßnahmen sind nur ein Beispiel für solche Verbesserungen. Es sind neue Werkzeuge für eine ganzheitliche Hochwasserrisikoanalyse erforderlich, um diesen Prozess effektiv zu unterstützen. Derzeit sind viele frei-erhältliche oder kostenpflichtige Werkzeuge für hydrologische oder hydrodynamische Modellierungen verfügbar. Für eine Schadensanalyse gibt es nur einige Softwarepakete. Aber Werkzeuge, die dem Grundsatz einer ganzheitlichen Hochwasserrisikoanalyse folgen, sind noch rar oder auf rein wissenschaftliche Anwendungen beschränkt.

Abgeleitet aus einer Defizitanalyse werden nachfolgend Anforderungen an ein solches Werkzeug gestellt. Das Softwarepaket PROMALDES versucht diese Anforderungen gerecht zu werden, um die Planung und Umsetzung von Hochwasserschutzmaßnahmen auf der Basis einer ganzheitlichen Hochwasserrisikoanalyse für Wissenschaft und Praxis zu verbessern.

2 Defizitanalyse: erster Schritt zur ganzheitlichen Hochwasserrisikoanalyse

Die Hochwasserrisikoanalyse ist die wesentliche Grundlage für ein modernes Hochwasserrisikomanagement. In der Hochwasserrisikoanalyse müssen - wenn möglich - alle Gefahrenereignisse identifiziert und deren Wahrscheinlichkeiten und Folgen analysiert und quantifiziert werden. Insgesamt gilt die technische Risikodefinition als:

$$R = \int K(x) \cdot f(x) dx. \quad [1]$$

In Gleichung [1] definiert R das integrale Risiko, $f(x)$ die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Zufallsvariablen X und $K(x)$ definiert die Konsequenzen, die sich aus der Realisierung der Zufallsvariablen x ergeben (z. B. ein Hochwasserereignis).

Mit der EU-Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie ([1]) wird dieser Gedanke des Hochwasserrisikos aufgegriffen und auf europäischer Ebene ein rechtlicher Rahmen

für den Umgang mit hochwasserbedingten Fragestellungen gesetzt. Auf der Grundlage dieser Richtlinie werden Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten entwickelt. Ein wichtiges Ziel ist dabei auch die Risikokommunikation. Die Hochwassergefahr wird für drei hydrologische Szenarien (mit hoher, mittlerer und geringer Wahrscheinlichkeit) analysiert und in den Hochwassergefahrenkarten dargestellt; Überschneidungen der überfluteten Flächen mit der Landnutzung werden in den Hochwasserrisikokarten veröffentlicht (z.B. [4]). Außerdem werden Hochwasserrisikomanagementpläne erstellt, in denen Minderungsmaßnahmen unterschiedlichster Art aufgeführt sind. Deren Wirksamkeit wird im Allgemeinen qualitativ bewertet. Dabei wird die gesamte Bandbreite an Maßnahmen berücksichtigt, von der Aufforstung über den Bau von Rückhaltebecken und Deichen bis hin zu Vorsorgemaßnahmen. Eine zyklische Überprüfung der Karten und Managementplänen im Abstand von 6 Jahren ist gesetzlich vorgeschrieben, was zu einer kontinuierlichen Verbesserung führt. Dieser europaweit einheitliche Ansatz ist ein sehr positiver Schritt in die richtige Richtung, da wichtige Elemente des Hochwasserrisikomanagements einbezogen werden. So werden grundsätzlich verschiedene Gefahren (drei hydrologische Szenarien) in den Hochwassergefahrenkarten, die Folgen in den Risikokarten sowie Minderungsmaßnahmen in den Managementplänen berücksichtigt.

Aus Sicht der Forschung müssen jedoch u. a. Defizite bei der Risikoanalyse und den Risikominderungsstrategien festgestellt und Lösungen für eine weitere Verbesserung gefunden werden. So zeigen beispielsweise auch [5] Verbesserungen der derzeit angewandten Ansätze zur Hochwasserrisikoanalyse auf. Insbesondere wird ein stärkerer Fokus auf wissenschaftlichere Ansätze für den nächsten Zyklus der EU-Hochwassermanagement-Richtlinie gefordert. Im Bereich der Hochwasserrisikoanalyse können die folgenden Hauptdefizite hervorgehoben werden:

- Der derzeit angewandte Ansatz der Hochwasserrisikoanalyse ist weitgehend auf die Erstellung von Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten beschränkt. Obwohl diese für das Einzugsgebiet erstellt werden, werden sie oft durch unabhängige hydrodynamische Teilmodelle erstellt, die nur Teile des Einzugsgebiets abdecken. Dadurch gehen die Systemeffekte oft verloren ([6]). So wird beispielsweise ein neuer Deichbau oder eine Deicherhöhung immer eine positive Auswirkung auf das durch eine lokale Analyse berechnete Hochwasserrisiko haben. In einer systembasierten Analyse könnten diese positiven Effekte durch negativere Effekte außerhalb der lokalen Modellgrenzen überlagert werden. Einzugsgebietsbezogene Ansätze berücksichtigen solche Systemeffekte (vgl. Abbildung 1).
- Der Fokus liegt derzeit noch auf Basisanalysen wie Hydrologie, Zuverlässigkeit der Hochwasserschutzlinie, Hydrodynamik oder Hochwasserkonsequenzen (vgl. Abbildung 1). Wechselwirkungen zwischen

den Basisanalysen werden aufgrund fehlender Methoden und Ansätze oft vernachlässigt ([5]). So kann beispielsweise ein Deichbruch (als Teil der Zuverlässigkeitsanalyse) die Hydrodynamik in einem Fluss erheblich beeinflussen. Ganzheitliche Ansätze - integriert in einem Werkzeug - sind erforderlich, um die Wechselwirkungen zwischen den Basisanalysen zu berücksichtigen. Schließlich sollte die Hochwasserrisikoanalyse stärker im Fokus stehen.

- Gefahrenereignisse und deren Wahrscheinlichkeit sind ein wesentlicher Bestandteil der Risikoanalyse (vgl. Gleichung [1]). Derzeit werden im Allgemeinen drei Hochwasserszenarien als Gefahren analysiert. Ihre Variabilität in Bezug auf Abflussspitzen, aber auch Dauer und Form des hydrologischen Ereignisses, kann jedoch viel größer sein. Darüber hinaus werden Versagensereignisse in der Hochwasserschutzlinie (auch ein Gefährdungsereignis) bei der derzeitigen Betrachtungsweise häufig nicht berücksichtigt. Es wird daher eine Erweiterung des Gefahrenspektrums vorgeschlagen.
- Die Konsequenzen eines Ereignisses sind das zweite wesentliche Element der Hochwasserrisikoanalyse (vgl. Gleichung [1]). Die Analyse der Konsequenzen konzentriert sich derzeit vor allem auf die Modellierung direkter ökonomischer Schäden durch Hochwasser. Besonders durch Hochwasser gefährdete Personen, aber auch Ausfälle von kritischen Infrastrukturen (z. B. Strom- oder Wasserversorgung), welche sich auch weit über das Überschwemmungsgebietes hinaus auswirken können, sind selten Teil der Analyse ([5]). Daher müssen weitere Kategorien von Hochwasserkonsequenzen berücksichtigt werden (vgl. Abbildung 1).
- Maßnahmen zur Risikominderung werden in den Hochwasserrisikomanagementplänen berücksichtigt. Auf Einzugsgebietsebene wird eine große Anzahl von Maßnahmen zusammengestellt, aber die Bewertung dieser Maßnahmen erfolgt oft auf einer qualitativen Ebene. Sie basiert im Wesentlichen auf Kriterien wie Durchführbarkeit, einer qualitativen Bewertung der Wirksamkeit zur Verringerung des Hochwasserrisikos (auf der Grundlage der verfügbaren Daten, Informationen und Erfahrungen) und Synergien mit anderen Richtlinien. Um die Bewertung, Priorisierung und Kommunikation von Minderungsmaßnahmen objektiv und transparent zu gestalten, ist eine modellbasierte Quantifizierung der Wirksamkeit der Maßnahme auf Risikobasis erforderlich ([7]; [8]).

Die genannten Defizite und zur Lösung notwendige Erweiterungen stellen natürlich die zuständigen Behörden vor große Herausforderungen. Daher müssen digitale Werkzeuge einschließlich Datenmanagement, Visualisierung und Methoden entwickelt werden, um diese anspruchsvollen Aufgaben zu unterstützen und zu erleichtern.

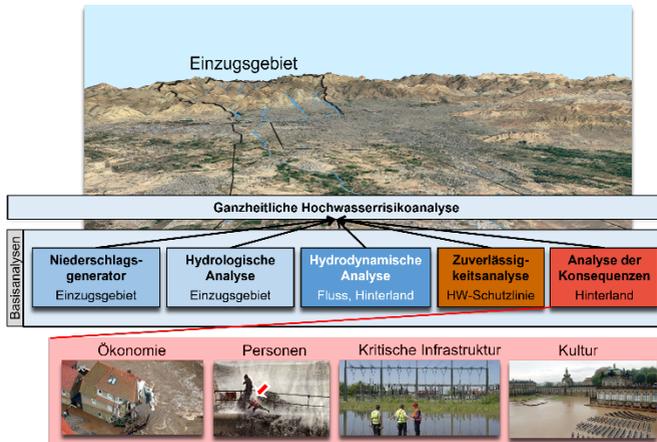


Abbildung 1. Ganzheitliche, einzugsgebietsbezogene Hochwasserrisikoanalyse unter Berücksichtigung verschiedener Konsequenzen

3 ProMAIDeS: ein Werkzeug für eine ganzheitliche Hochwasserrisikoanalyse

Aus der Defizitanalyse werden folgende Anforderungen an eine modellgestützte Hochwasserrisikoanalyse abgeleitet:

- Analyse auf der hydrologischen (Teil-)Einzugsgebietsebene
- Ganzheitlicher Ansatz der Hochwasserrisikoanalyse unter Einbeziehung der relevanten Basisanalysen
- Berücksichtigung eines breiteren Spektrums von Gefahren (z. B. hydrologische Ereignisse, Deichversagen) und Konsequenzen (z. B. gefährdete Personen, kritische Infrastruktur).

Ein Ansatz, der diesen Anforderungen gerecht wird, wird eine realistischere Modellierung des Hochwasserrisikos mit all seinen komplexen Facetten erreichen. Zu den anwendungsbezogenen Anforderungen an das Softwarepaket gehören eine gute Datenverwaltung und Visualisierung von Eingabe- und Ergebnisdaten, Werkzeuge für eine schnelle und einfache Modellierung, vorhandene Dokumentation und Schulungen sowie - wenn möglich - freie Zugänglichkeit der Software bzw. des Codes (Freeware/Open Source).

Das frei-verfügbare Softwarepaket ProMAIDeS wird seit 2007 vom Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der RWTH Aachen und seit 2018 von der Arbeitsgruppe Hochwasserrisikomanagement der Hochschule Magdeburg-Stendal entwickelt und

eingesetzt ([9]). Es ist modular aufgebaut. Als Gesamtanwendung ist ProMaIDES ein Werkzeug zur risikobasierten Bewertung des bestehenden Hochwasserschutzes und zur Bewertung von Hochwasserminderungsmaßnahmen auf Einzugsgebietsebene ([7]) für Fluss- und Küstengebiete. Die Wirksamkeit einer Maßnahme wird anhand von Kriterien auf Risikobasis bewertet. Dies ermöglicht einen direkten und objektiven Vergleich von Hochwasserschutzmaßnahmen unterschiedlicher Art.

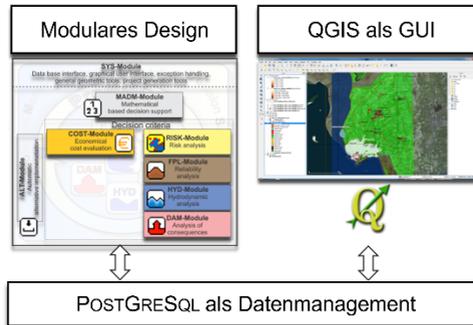


Abbildung 2. Komponenten und Struktur der ProMaIDES-Software

Das Softwarepaket besteht u. a. aus Modulen (vgl. Abbildung 2 und Abbildung 3):

- der hydrodynamischen Analyse (Modul HYD) basierend auf einem schnellen 1d-2d-gekoppelten numerischen hydrodynamischen Ansatz,
- der Analyse der Hochwasserkonsequenzen (Modul DAM) für die Wirtschaft, betroffene und gefährdete Personen und kritische Infrastrukturen (Kritis),
- der Zuverlässigkeitsanalyse von Hochwasserschutzanlagen (Modul FPL), z. B. um die Wahrscheinlichkeit eines Deichversagens zu quantifizieren, und
- einer integrierenden Hochwasserrisikoanalyse (Modul RISK).

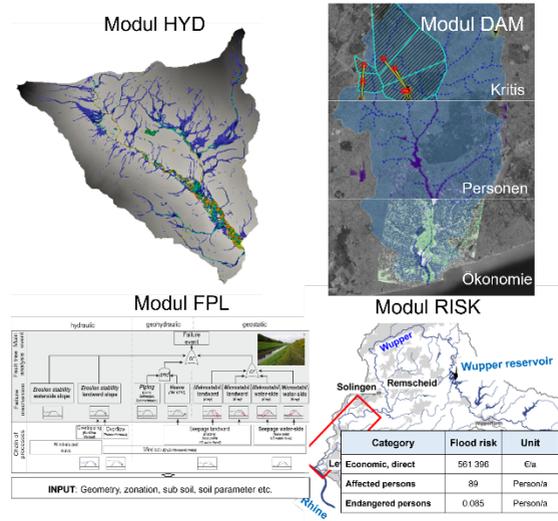


Abbildung 3. Die Module von PROMALDES: modellierte Überflutungsflächen (links oben); Konsequenzen eines Hochwassers (rechts oben); Fehlerbaumanalyse eines Deiches (links unten); Risikomatrix (rechts unten)

Alle Module können für sich angewendet werden, sind aber für eine Hochwasserrisikoanalyse optimiert.

Um die Anwendung von ProMaldes trotz der Komplexität der Verfahren benutzerfreundlich zu gestalten, werden mehrere technische Komponenten bereitgestellt (vgl. Abbildung 2):

- Schnittstellen zum Open-Source-Datenbanksystem POSTGRESQL als Datenmanagementsystem,
- Schnittstellen zum Open-Source-GIS-System QGIS zur Visualisierung,
- QGIS-Plugins für die einfache und schnelle Einrichtung von Modellen
- sowie frei verfügbare Dokumentation, Online-Kurse und Anwendertreffen.

4 Zusammenfassung

Um die Hochwasserrisikoanalyse zu verbessern, sind neue Ansätze und neue Entwicklungen erforderlich. Verbesserungspotenzial ist vorhanden, wie eine Defizitanalyse zeigt. Die Anforderungen an die Werkzeuge sind jedoch hoch: Einzugsgebietsbezogen, umfassend und trotz ihrer Komplexität praktisch anwendbar sind nur

einige dieser Anforderungen. Forschung und Entwicklung müssen sich diesen Herausforderungen stellen. Insgesamt wird dadurch aber eine realistischere Modellierung des Hochwasserrisikos mit all seinen komplexen Facetten erreicht.

Das frei-verfügbare Softwarepakets PROMAIDES versucht diesen Herausforderungen zu begegnen. Es umfasst Ansätze für die Basisanalysen der Hochwasserrisikoanalyse, um sie auch integrativ anwenden zu können. Leichte Ergebnisvisualisierung, handhabbare Rechenzeiten und ein Datenmanagementsystem sind nur einige von vielen weiteren Funktionen, die Software bietet.

Danksagung

Die Entwicklung von PROMAIDES wird derzeit vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen von IKARIM in den Projekten HoWaMan und PARADEs sowie im WaX-Rahmen im Projekt DRYRIVERS gefördert.

5 Literatur

- [1] EU (2007). Richtlinie 2007/60/EG des Europäischen Rates und des Europäischen Parlaments vom 23. Oktober 2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken. Amtsblatt der Europäischen Union, 2455, 27-34.
- [2] Fekete, A. & Sandholz, S. (2021). Hier kommt die Flut, aber nicht das Scheitern? Lehren aus den Starkregen- und Pluvialhochwassern in Deutschland 2021. *Wasser (Schweiz)*, 13(21), 1-20.
- [3] Schäfer, A., Mühr, B., Daniell, J., Ehret, U., Ehmele, F., Brand, J., Wisotzky, C., Skapski, J., Rentz, L., Mohr, S., & Kunz, M. (2021). Hochwasser Mitteleuropa, Juli 2021 (Deutschland) 21. Juli 2021 (Deutschland). 2021(1), 3-9.
- [4] LHW (2021). Viewer Hochwassergefahren- und Risikokarten. <https://www.geofachdatenserver.de/de/lhw-hochwassergefahrenkarten.html> [Letzter Zugriff 20.12.2022].
- [5] Vorogushyn, S., Bates, P. D., de Bruijn, K., Castellarin, A., Kreibich, H., Priest, S., Schröter, K., Bagli, S., Blöschl, G., Domeneghetti, A., Gouldby, B., Klijn, F., Lammersen, R., Neal, J. C., Ridder, N., Terink, W., Viavattene, C., Viglione, A., Zanardo, S., & Merz, B. (2018). Evolutionary leap in large-scale flood risk assessment needed. *WIREs Water*.
- [6] de Bruijn, K., Buurman, J., Mens, M., Dahm, R., & Klijn, F. (2017). Resilience in practice: Five principles to enable societies to cope with extreme weather events. *Environmental Science and Policy*, 70, 21–30.

- [7] Bachmann, D., & Schüttrumpf, H. (2014). Risikobasierte Bewertung von Hochwasserschutzmaßnahmen mit unterschiedlichen Wirkungsweisen auf den Hochwasserschutz. Bauingenieur, Band 89, pp. 283-292.
- [8] Jüpner, R., Bachmann, D., Huber, N., Fekete, A., Hartmann, T., Pohl, R., Schmitt, T., & Schulte, A. (2018). Resilienz in der Wasserwirtschaft. Korrespondenz Wasserwirtschaft, 11/18.
- [9] ProMalDes (2020): ProMalDes - Homepage. <https://promal-des.h2.de/promalides/> [Letzter Zugriff 20.12.2022].

RISIKOMANAGEMENT AM BEISPIEL DER STADT WUPPERTAL (STARKREGEN/HOCHWASSERPRIORITÄTENKONZEPT)

Christian Massing, Christina Nickel, Reinhard Gierse und Daniel Heinenberg

Kurzfassung

Die wiederkehrenden Starkregen- und Hochwasserereignisse – insbesondere das Starkregenereignis am 29.05.2018 und das Hochwasserereignis am 14.07.2021 – verdeutlichen den stattfindenden Klimawandel. Eine Anpassung an die Folgen des Klimawandels ist geboten, um das Ausmaß von starkregen- und hochwasserbedingten Schäden zu reduzieren. Die Stadt Wuppertal bereitet sich bereits seit Jahren auf diese Veränderungen vor. Das Starkregenrisikomanagement mit dem Verstetigungskonzept sowie das Hochwasserprioritätenkonzept bilden dabei die zentralen Bausteine. Der Schutz seiner Bürgerinnen und Bürger vor Starkregen und Hochwasser wird in Wuppertal als kommunale Gemeinschafts- und Generationenaufgabe gesehen; die wesentlichen Akteure sind das Ressort Umweltschutz, der Wupperverband und die Wuppertaler Stadtwerke (WSW Energie & Wasser AG).

Schlüsselwörter

Kommunale Gemeinschaftsaufgabe, Starkregengefahrenkarten, Starkregenrisikomanagement, Verstetigungskonzept, Hochwasserprioritätenkonzept

1 Starkregenrisikomanagement

Der Klimawandel schreitet voran und wird immer deutlicher spürbar. Hitzerekorde in den letzten 10 Jahren, Orkane, die Bäume entwurzeln und sehr trockene Jahre sind keine Seltenheit mehr. Starkregenereignisse, die auch in der Vergangenheit schon größere Teile der Innenstadt überflutet haben, nehmen an Intensität und Häufigkeit zu. Extreme Wetterlagen mit Starkregen und Hochwasser haben die Bürgerinnen und Bürger der Stadt Wuppertal im Mai 2018 und im Juli 2021 selbst erleben können. Insbesondere aufgrund der ausgeprägten Topografie nimmt die Starkregenvorsorge eine wichtige Rolle in der Klimaanpassung der Stadt Wuppertal ein.

Die Stadt Wuppertal hat bereits im Jahr 2018 in Zusammenarbeit mit der WSW Energie & Wasser AG (WSW) und der Dr. Pecher AG die Starkregengefahrenkarten erstellt, die seit Dezember 2018 online sind. Viele Bürgerinnen und Bürger haben in den letzten Jahren diese Möglichkeit als Informationsquelle genutzt. Die WSW bietet zusätzlich Beratungen an, damit die Wuppertaler Bürgerinnen und Bürger technische

Maßnahmen als Eigenvorsorge ergreifen und ihr Eigentum so besser schützen können. Auch wurden die Stadt und die WSW proaktiv bei bekannten Problemstellen (z. B. Krankenhaus) tätig, indem sie den Gebäudeeigentümern Überflutungsgefahren darstellten und zum Eigenschutz rieten. Die Eigenvorsorge ist ein wichtiger Baustein zur Minimierung von Überflutungsschäden, da selbst kleine oder kostengünstige Maßnahmen eine große Wirkung haben können. Auf den Internetseiten der Stadt Wuppertal und der WSW werden zudem Informationen zur Eigenvorsorge angeboten.

Auf der Basis eines Leitfadens und mit finanzieller Unterstützung des Landes NRW wurde in 2021 mit dem Projekt „Starkregenrisikomanagement“ ein weiterer Baustein abgeschlossen. Er umfasst neben der Fortschreibung der Starkregengefahrenkarten, eine Risikoanalyse bei sensibler Infrastruktur sowie ein Handlungs- und Verstärkungskonzept.

In der neuen Version zeigen die Starkregengefahrenkarten 2.0 jetzt nicht nur die maximalen Wasserstände an jedem Punkt im Stadtgebiet Wuppertals, sondern geben auch Auskunft über Fließgeschwindigkeit und Fließrichtung. Im Bergischen Land kommt der Fließdynamik eine besondere Bedeutung zu und sie kann das Schadenspotential erheblich beeinflussen. Die Starkregengefahrenkarten wurden noch einmal deutlich verbessert. Im Zuge der Neuberechnungen wurde das digitale Geländemodell (DGM) angepasst, Versickerungsansätze und die Leistungsfähigkeit der Wupper berücksichtigt. Mit dieser Informationsquelle können die Bürgerinnen und Bürger der Stadt Wuppertal ihre eigene Gefährdung jetzt noch besser abschätzen. Darüber hinaus können die Informationen der Starkregengefahrenkarten 2.0 auch bei zukünftigen neuen Baumaßnahmen sehr gut genutzt werden.



Abb. 1: Starkregengefahrenkarten 2.0, Wuppertal

Aufbauend auf den Ergebnissen der Starkregengefahrenkarten (Gefährdungsanalyse) wurde im Rahmen des Starkregenrisikomanagements eine Risikoanalyse erstellt. Diese kombiniert auf der Basis einer stadtweiten Datenanalyse die maximalen Wasserstände mit den Schadenspotentialen. Ein besonderes Augenmerk wurde dabei auf die sensible Infrastruktur gelegt, da hier der Schaden besonders groß sein kann. Beispielfhaft wurden einige städtische Kindertagesstätten und Pumpwerke der WSW besonders intensiv betrachtet. Im Rahmen von Ortsbegehungen wurden die Stärken/Schwächen erfasst, um Maßnahmenvorschläge ergänzt und in einer mehrseitigen Checkliste dokumentiert.

Die Gefährdungsanalyse und die Risikoanalyse bilden die Grundlage zur Erstellung eines ganzheitlichen Handlungskonzeptes zur Minderung starkregenbedingter Überflutungen. Das Handlungskonzept besteht aus den Bausteinen Informationsvorsorge, Kommunale Flächenvorsorge, Krisenmanagement sowie der Konzeption kommunaler baulicher Maßnahmen.

Das Starkregenrisikomanagement bedarf für die nachhaltige Wirksamkeit einer kontinuierlichen Fortschreibung und Auswertung neuer Erkenntnisse (Verstetigung). Im Verstetigungskonzept wurden Ansätze hierfür entwickelt und dargestellt.

2 Hochwasserprioritätenkonzept

Nicht erst seit dem verheerenden Hochwasserereignis im Jahr 2021 stellt der Hochwasserschutz in Wuppertal eine große wasserwirtschaftliche Herausforderung dar. Besonders vor dem Hintergrund einer zunehmenden Bebauung und abnehmender Flächenverfügbarkeit bestand das Erfordernis, für die im Stadtgebiet bekannten hydraulischen Problemstellen an Gewässern eine systematische Erfassung, Bewertung und Maßnahmenpriorisierung durchzuführen. Die vorhandenen Daten und Erkenntnisse wurden einer integralen Betrachtung und Bewertung unterzogen. Dies unter Federführung des Wupperverbandes und unter fachlicher Beteiligung der WSW, dem Eigenbetrieb Wasser und Abwasser Wuppertal (WAW) sowie der Unteren Wasserbehörde der Stadt Wuppertal (UWB). Es wurde nicht nur die Wupper als größtes Gewässer betrachtet, sondern auch die Nebengewässer, welche ebenfalls im Hochwasserfall durch ein plötzliches Anschwellen von einem kleinen Fluss in einen reißenden Bach ein größeres Schadenspotential verursachen können. Das so erstellte Hochwasser-Prioritätenkonzept (HPK) enthält folgende wesentliche Inhalte:

- Zusammenstellung von Hochwasser-Gefahrenstellen an offenen und verrohrten Gewässern auf der Grundlage der Generalentwässerungsplanung, den Starkregengefahrenkarten sowie empirischen Erfassungen
- Darstellung der Hochwasser-Gefahrenstellen in Steckbriefen
- Ermittlung der Betroffenheit und der Schadenspotentiale
- Voruntersuchung zu möglichen Hochwasserschutz-Maßnahmen zur Risikominderung
- Kosten-Nutzen-Analyse
- Priorisierung der voruntersuchten Hochwasserschutz-Maßnahmen

Das HPK dient im Ergebnis als wesentlicher Baustein einer kommunalen Hochwasserschutzstrategie und bietet den handelnden Akteuren eine transparente und sachliche Entscheidungsgrundlage für die Umsetzung von Hochwasserschutz-Maßnahmen. Basis ist eine umfassende Bewertungsmatrix, die neben den Kernbereichen des Hochwasserschutzes auch weiterführende Themen aus Stadtplanung, Klimaanpassung und sozialen Aspekten berücksichtigt und zu einer numerischen Gesamtbewertung zusammenfasst. Dies gewährleistet die direkte und nachvollziehbare Vergleichbarkeit von Gefahrenstellen und Maßnahmen. Im Rahmen der Stadtentwicklung und im Zuge aller relevanten Bebauungsplanungen soll das HPK den notwendigen Flächenbedarf für Hochwasserschutz-Maßnahmen signalisieren. Weiterhin bietet das HPK ein nachvollziehbares Gesamtkonzept für Förderanträge. Die voruntersuchten Maßnahmen aus dem HPK bedürfen vor der Umsetzung grundsätzlich einer detaillierten Planung und umfangreicher Abstimmungen mit Beteiligten (Kostenträger, Eigentümer, Anlieger, Umweltbehörden, Planungsamt, Förderbehörde

etc.). Das HPK erfasst und priorisiert 38 Maßnahmen (Hotspots) zum verbesserten Hochwasserschutz in Wuppertal mit einem geschätzten Gesamtvolumen von 80 Mio. EUR (Stand 2019) und wird laufend aktualisiert. Die Umsetzung des Maßnahmenpakets wird einen langen Zeitraum in Anspruch nehmen und als Generationenaufgabe betrachtet. Derzeit werden in Kooperation von Wuppertal, WAW, Stadt Wuppertal und WSW das kombinierte Hochwasser- und Regenwasserrückhaltebecken Bornberg und der Bau eines großdimensionierten Regenwasserkanals für das Gewässersystem Mirker Bach errichtet. Nach voraussichtlicher Fertigstellung in 2023 wird sich das Hochwasserrisiko für 6 von 10 Hotspots im Einzugsgebiet des Mirker Baches deutlich verringern.

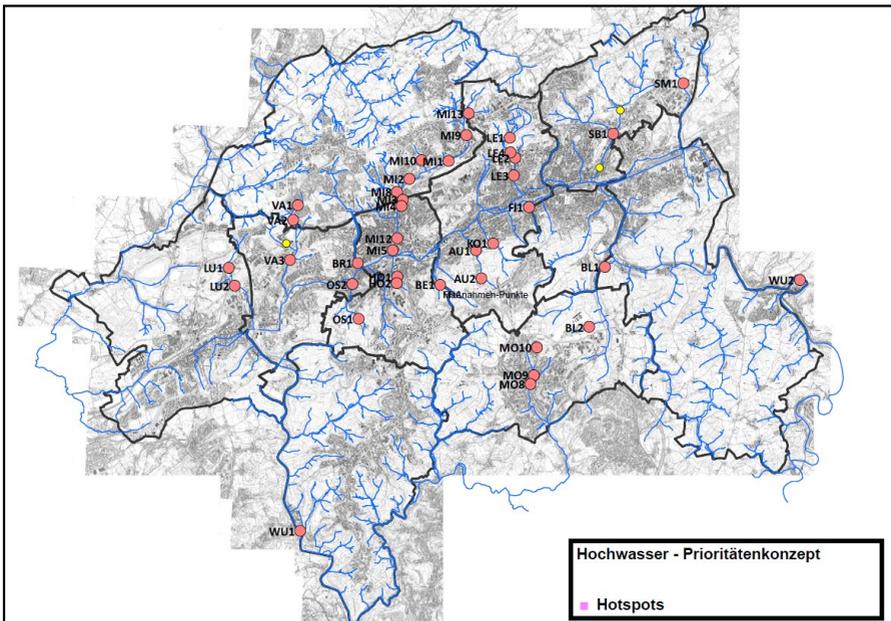


Abb. 2: Hotspots – Hochwasser-Prioritätenkonzept Wuppertal

WASSERBEWUSSTE STADTENTWICKLUNG: URBANES GRÜN

WIRKUNG UND BEWIRTSCHAFTUNG VON BAUMRIGOLEN ALS BE- UND ENTWÄSSERUNGSSYSTEM

Helmut Grüning, Nils Siering und Andree Schulte

Kurzfassung

Durch ihre multifunktionale Wirkung leisten Baumrigolen einen wichtigen Beitrag zur Klimafolgenanpassung. Baumrigolen kombinieren die Bewässerung von Stadtgrün mit dem Rückhalt und der Versickerung von Oberflächenabflüssen. Vor allem die Systeme mit Speicherelementen können zur Reduktion des Überflutungsrisikos beitragen. Den Baum selbst zeichnet bereits seine gestalterische Wirkung im urbanen Raum aus. Zusätzlich beeinflussen Bäume durch Beschattung und Verdunstung das Stadtklima positiv. Ergebnisse der Untersuchungen von Rigolensystemen im Nottulner Gemeindebereich belegen den positiven Effekt im wasserwirtschaftlichen Kontext. Durch Simulationsrechnungen und Messdaten wurden die versickerten und verdunsteten mit den abgeleiteten Abflussanteilen verglichen. Bislang zählen allerdings die Bedürfnisse von Bäumen nicht zu Fragestellungen, die bei der Bemessung wasserwirtschaftlicher Systeme im Fokus stehen. Hier besteht noch erheblicher Klärungsbedarf.

Schlüsselwörter

Überflutungsvorsorge, wasserbewusste Stadtentwicklung, Stadtklima, dezentrale Speicher, Versickerung, Verdunstung

1 Einleitung und Ziele

Die klimabedingte Zunahme ausgeprägter Trockenphasen mit Unterbrechung durch intensive Niederschläge während der Sommermonate stellt vor allem in hochverdichteten urbanen Räumen eine Herausforderung dar. Ein Lösungsbaustein des Konzeptes der wasserbewussten Stadtentwicklung (häufig als „Schwammstadtkonzept“ bezeichnet) sind Baumrigolen. Das Speicher-Baum-System kombiniert dabei

- die Bewässerung des Baumes mit gespeichertem Niederschlagswasser,
- Verdunstungskühlung durch den Baum sowie
- Überflutungsvorsorge durch dezentrale Retentionsräume.

Das auf den ersten Blick bestechend einfache Konzept erweist sich bei konkreter Umsetzung als komplex. Das zeigt bereits der Blick auf die beteiligten Institutionen im kommunalen Umfeld:

- Straße und Verkehr
- Grünflächen und Freiraumgestaltung
- Stadtentwässerung
- Genehmigungsbehörden (Behandlung und Bemessung)

Neben der baulichen Integration in den öffentlichen Verkehrsraum ist anschließend die dauerhafte Zuständigkeit inklusive der Finanzierungsfrage zu klären. Zudem fehlen bislang eindeutige Bemessungsvorgaben für Baumrigolen. Bei der Bemessung und Bewirtschaftung entsteht der grundlegende Nutzungskonflikt

„freier Speicher (Überflutungsvorsorge) vs. voller Speicher (Baumversorgung)“.

Im Rahmen des Projektes „Entwicklung eines Bewässerungskonzeptes von urbanem Grün während klimatisch bedingter Trockenphasen (BeGrüKlim)“ erfolgte eine Auseinandersetzung mit diesen Fragestellungen. Darüber hinaus sind zahlreiche Detailfragen zu berücksichtigen, die nicht zu klassischen Wasserwirtschaftsaufgaben zählen, wie beispielsweise die optimale Wasserzuführung in den Wurzelraum und die generellen Bedürfnisse des Baumes (Nährstoffe, Wasser und Luft). Dabei ist der Vorwurf, dass Bäume möglicherweise als „Entwässerungsmaschinen“ missbraucht werden, ernst zu nehmen.

2 Systeme und Standorte

Insgesamt werden im Rahmen des Forschungsprojektes BeGrüKlim an drei Standorten in Nottuln (Münsterland) Rigolensysteme untersucht. Davon befindet sich eines auf dem Firmengelände der Humberg GmbH (Standort „Humberg“) und zwei im Nottulner Stadtteil Appelhülsen in der Straße Am Pastorskamp. Der Standort „Am Pastorskamp“ repräsentiert Bäume, die als Straßenbegleitgrün im öffentlichen Verkehrsraum angeordnet sind. Dabei ist an ein System die Dachfläche eines Wohnhauses angeschlossen (Standort „Pastorskamp Wohnhaus“) und in das andere entwässert eine Parkplatzfläche (Standort „Pastorskamp Parkplatz“). An jedem Standort wird sowohl ein Baum mit dem Baumrigolensystem als auch zum Vergleich ein Referenzbaum untersucht. Der Referenzbaum entspricht dem klassisch gepflanzten Stadtbaum. Systeminformationen zu den drei Standorten enthält Tabelle 1. Wesentlicher Unterschied sind die Art und Größe der angeschlossenen Fläche sowie die Baumarten. Das Rigolensystem am Standort Humberg unterscheidet sich auch in der Baumweise von den Systemen am Pastorskamp. Grund ist die unterschiedliche Lage der Anschlussleitung. In diesem Beitrag werden exemplarisch das System und Untersuchungsergebnisse am Standort der Firma Humberg dargestellt.

Tabelle 1: Unterschiede der verschiedenen Systemstandorte des Forschungsprojektes BeGrüKlim

Standortname	Humberg	Pastorskamp Wohnhaus	Pastorskamp Parkplatz
k_f-Wert	4,37 · 10 ⁻⁶ m/s	8,33 · 10 ⁻⁷ m/s	8,33 · 10 ⁻⁷ m/s
Geländehöhe	92 müNN	69 müNN	69 müNN
Grundwasserflurabstand	8,94 m	3,38 m	3,38 m
Baumart	Liquidamber styraciflua Amerikanischer Amberbaum	Acer capadocium Rubrum Kolchischer Blut-Ahorn	Liquidamber styraciflua Amerikanischer Amberbaum
Datum der Einpflanzung	28.02.2020 05.03.2021*	14.04.2021 15.11.2021**	14.04.2021
Substrat	Vulcatree® L 0-32	Vulcatree® L 0-32	Vulcatree® L 0-32
Angeschlossene Fläche	300 m ² Dachfläche	245 m ² Dachfläche	425 m ² Parkplatz
<p>* Der Systembaum am Standort Humberg wurde für die Optimierung des Bewässerungssystems im Zeitraum vom 28.02.2021 bis zum 05.03.2021 temporär entnommen</p> <p>** Der ursprüngliche System- und Referenzbaum am Standort Pastorskamp Wohnhaus wurden am 15.11.2021 durch neue Bäume ausgetauscht, da diese vermutlich aufgrund eines Frostschadens nicht angegangen sind</p>			

In Abbildung 1 ist das Prinzip des Baumrigolensystems auf dem Gelände der Humberg GmbH dargestellt. Das Niederschlagswasser von der 300 m² großen Dachfläche wird in die beiden oberen Speicher mit einem Gesamtvolumen V_O von 0,52 m³ geleitet. Von dort gelangt das Wasser über Perlschläuche in den Wurzelraum (V_W) des Baumes oder aber ab einem gewissen Füllstand über den Überlauf in den unteren Speicher (V_U). Das Niederschlagswasser im unteren Speicher wird von dort in den Untergrund versickert und steht dem Baum daher nicht unmittelbar zur Verfügung. Optional kann das Wasser aber auch über eine kleine Pumpe in den oberen Speicher zurück gepumpt werden. Bei starken Regenereignissen, die das ganze Speichervolumen des Systems füllen, entlastet das System über einen Notüberlauf in den Abwasserkanal. Das Rigolensystem (Typ ALVEUS) wurde in Abstimmung zwischen der FH Münster und dem Systemhersteller, der Firma Humberg, im Rahmen des Projektes immer wieder optimiert. Ein Vorteil des Systems ist die Flexibilität, die eine individuelle Anpassung an unterschiedliche Standorte und Platzverhältnisse ermöglicht.

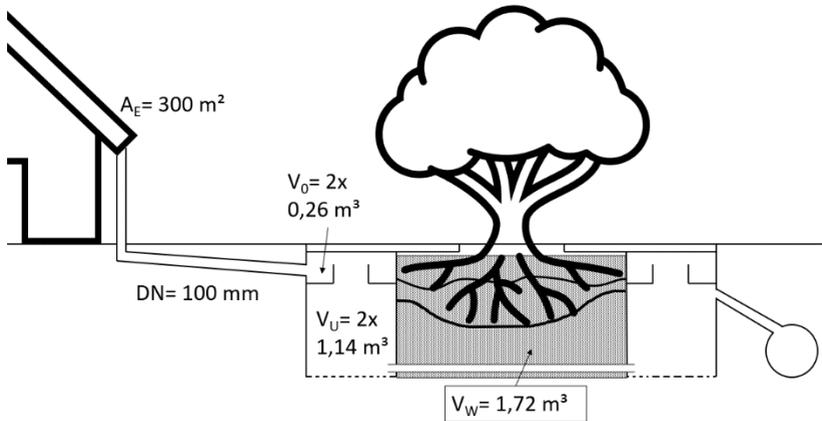


Abbildung 1: Prinzipskizze des ALVEUS-Systems auf dem Firmengeländer der Fa. Humberg GmbH

3 Messtechnik

An jedem Standort werden der Niederschlag, die Bodenfeuchte und Bodentemperatur sowie die Füllstände der Systemspeicher in einem fünfminütigen Messintervall kontinuierlich erfasst sowie die Niederschlagshöhe zur Ermittlung des Zuflusses in das System aufgezeichnet. Zur Niederschlags Erfassung werden ein Niederschlagschreiber der Firma Campbell Scientific Ltd. des Modells Kalyx-RG und ein Niederschlagsmessgerät der Firma NIVUS verwendet. Die in diesem Bericht vorgestellten Niederschlagsdaten werden über die Kippvorgänge der Regenkippswaage mit einer Auflösung von $0,2 \text{ mm/m}^2$ erfasst.

Zum Nachweis der Bewässerungsleistung wurden in den Substratkörpern der Pflanzgruben der untersuchten Projektbäume jeweils fünf bis zehn Sonden der Firma TRUEBNER des Typs SMT 100 eingesetzt. Neben der Bodenfeuchte messen diese Sonden auch die Bodentemperatur. Über Time-Domain-Reflectometry (TDR) wird die Dielektrizitätszahl des Bodens aus der Signallaufzeit ermittelt und wie bei der Frequency-Domain-Reflectometry (FDR) in eine Frequenz umgewandelt.

Die Füllstände der Systemspeicher werden mittels NTB-Brunnensonde der Firma KO-BOLD Messring GmbH erhoben. Die Sonde ermittelt den Füllstand über die Differenz des Wasserdrucks über der Sonde und dem atmosphärischen Druck. Die Drucksonden haben einen Messbereich von 0 bis 2 mWs.

4 Speicher und Bewässerungsverhalten der Rigolensysteme

4.1 Simulation der Speicherstände

4.1.1 Aufbau des Modells und Kalibrierungszeiträume

Um fundiertere Aussagen über die Funktionalität des Systems als langfristiges quasi-natürliches Bewässerungselement und als Element der Überflutungsvorsorge treffen zu können, wurden die Speicher des Systems (Systemauslegung am Standort Humberg) mit ihren Übergangsverläufen in den Untergrund und den Wurzelraum modelliert.

Die Messungen der Speicherfüllstände und der Bodenfeuchte zeigten, dass die Einleitung des Wassers in den Wurzelraum des Baumes über die Perlschläuche hohen Schwankungen unterlag. Ein erhöhter Ablauf über die Perlschläuche stellte sich innerhalb der Vegetationsperiode ein. Dies wird bei der Modellierung durch Anpassung des Ablaufs über eine angenommene Vegetationsperiode von Anfang Mai bis Ende September berücksichtigt. Als dynamische Eingangsgröße verwendet das Modell lediglich die Niederschlagshöhe. Als Kalibrierungszeiträume wurden der 01.06.2021 bis 01.04.2022 und der 01.08.2022 bis 31.11.2022 gewählt. Beispielhaft ist der Vergleich der simulierten und gemessenen Werte während einer der Kalibrierungszeiträume in Abbildung 2 dargestellt.

Innerhalb der Messzeiträume nahm die Durchlässigkeit der Perlschläuche zur direkten Bewässerung der Wurzelräume zeitweise ab. Ursache sind sehr wahrscheinlich feine Partikel, die zu Verstopfungen der Poren führen. Durch Filtration der Zuflüsse soll künftig ein Rückhalt der feinstpartikulären sowie weiterer Stoffe gewährleistet werden.

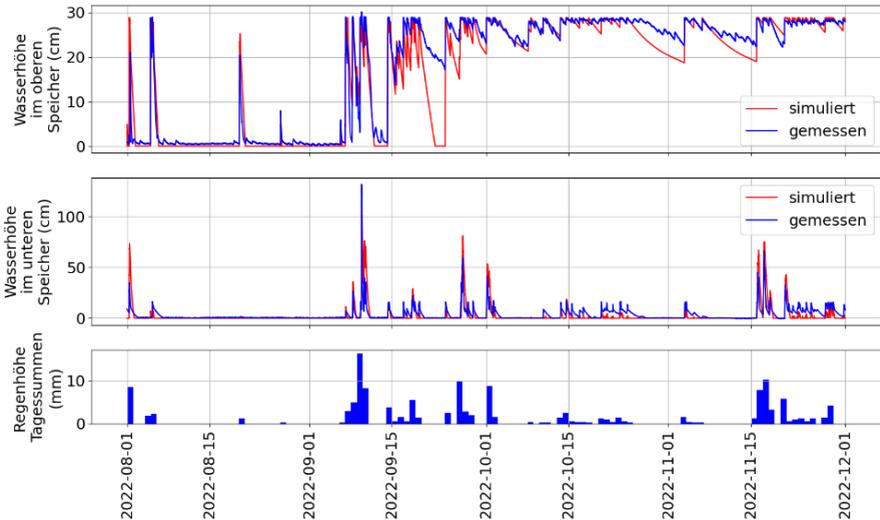


Abbildung 2: Vergleich des Simulationsergebnisses mit gemessenen Werten für die Wasserhöhen im oberen und unteren Speicher während eines Kalibrierungszeitraumes

4.1.2 Entleerungszeiträume der Speicherelemente

Zur Überflutungsvorsorge sind maximale Speicherräume optimal, damit hohe Abflussspitzen durch intensive Niederschläge reduziert werden. Vor diesem Hintergrund wurden durch Simulationsrechnungen die Entleerungszeiträume ausgewertet (vgl. Tabelle 2). Maßgeblichen Einfluss haben dabei im Wesentlichen die jahreszeitlichen Niederschlagscharakteristiken (Dauer, Häufigkeit, Intensität) und die damit zusammenhängenden Bodenfeuchten und Grundwasserstände, die Wasseraufnahme der Bäume und auch die systemspezifische Durchlässigkeit der Perlschläuche zur Wurzelraumbewässerung. Dabei zeigte sich, dass eine Entleerung der oberen Speicherebene zur Wurzelraumbewässerung ($V = 0,52 \text{ m}^3$) während der angenommenen Vegetationsphase von Mai bis September innerhalb eines Tages über die Perlschläuche üblich ist. Während der Nichtvegetationsphase im Herbst/Winter-Zeitraum ist eine völlige Entleerung des Speichers dagegen selten. Für die Simulation wurde hier eine Entleerungszeit von 40 Tagen angenommen. Der untere Speicher am Standort der Firma Humberg ist häufig bereits nach etwa einem Tag entleert.

Grundsätzlich kann beim begehbaren System ALVEUS der untere Speicher temporär abgedichtet werden. In diesem Fall wird dieser Speicheranteil durch kleine Pumpen in den oberen Bewässerungsspeicher gefördert.

Tabelle 2: Entleerungszeiträume der jeweiligen Speicher in den angenommenen Vegetationsphasen

Speicher/ Einleitungsebene	Vegetationsphase Mai bis September	Nichtvegetationsphase Oktober bis April
Oben/ Bewässerung	23 h	40 d
Unten/ Versickerung	22 h	

4.1.3 Speicherfähigkeit des Rigolensystems

Derzeit fehlen Regeln zur Bemessung von Baumrigolen. Vor diesem Hintergrund wird im Rahmen des Projektes untersucht, welche Regenereignisse durch die Rigolen aufgenommen werden können. Bei den Systemen handelt es sich um dezentrale Speicher (vergleichbar mit dezentralen Regenrückhaltebecken), die unmittelbar vor Ort den Niederschlag aufnehmen und zeitlich stark verzögert in den Boden einleiten. In Tabelle 3 sind die Starkregen gemäß KOSTRA (Koordinierte Starkregen-Regionalisierungs-Auswertung des DWD) für den Bereich des Nottulner Gemeindegebietes dargestellt, die gespeichert werden können, ohne dass es zu einer Entlastung in die Kanalisation kommt. Voraussetzung dabei ist, dass der Speicher zu Regenbeginn leer ist. Für kurze Dauerstufen im Bereich von 5 bis 10 Minuten können Regen mit Wiederkehrintervallen von 1 bis 2 Jahren komplett gespeichert werden. Ähnlich zeigt sich das Verhalten bei sehr langen Regen mit entsprechend geringerer Intensität.

Zu beachten ist, dass hier ein einzelner Baumstandort betrachtet wird. Es ist durchaus möglich, mehrere Baumrigolen anzuordnen und miteinander zu verbinden. In diesem Fall kann nennenswerter unterirdischer Rückhalteraum bereitgestellt werden.

Tabelle 3: Speicherbare Starkregenereignisse (Angabe der Regenspende, in $l/(s \cdot ha)$) ohne Entlastung in die Kanalisation oder das Gewässer

Dauerstufe	Wiederkehrintervall								
	1a	2a	3a	5a	10a	20a	30a	50a	100a
5 min	165	218	249	288	341	394	425	464	517
10 min	131	167	188	214	250	286	307	333	369
15 min	109	137	154	175	203	232	249	269	298
20 min	93,1	117	131	149	173	198	212	229	254
30 min	72,1	91,3	103	117	136	155	166	181	200
45 min	53,9	69,2	78,1	89,3	104	120	129	140	155
60 min	43,1	56	63,6	73,2	86,1	99,1	107	116	129
90 min	31,6	40,7	46	52,8	61,9	71	76,4	83,1	92,2
2 h	25,3	32,4	36,6	41,8	49	56,1	60,3	65,5	72,6
3 h	18,6	23,6	26,5	30,2	35,2	40,2	43,2	46,9	51,9
4 h	14,9	18,8	21,1	24	27,9	31,8	34,1	37	40,9
6 h	10,9	13,7	15,3	17,3	20,1	22,8	24,4	26,5	29,2
9 h	8	9,9	11,1	12,5	14,4	16,4	17,5	18,9	20,9
12 h	6,4	7,9	8,8	9,9	11,4	13	13,8	15	16,5
18 h	4,7	5,8	6,4	7,2	8,2	9,3	9,9	10,7	11,8
24 h	3,8	4,6	5,1	5,7	6,5	7,4	7,9	8,5	9,3
48 h	2,4	2,9	3,1	3,5	3,9	4,4	4,6	5	5,4
72 h	1,8	2,2	2,3	2,6	2,9	3,2	3,4	3,7	4
dunkelgrau	In Vegetations- und Nichtvegetationsphase aufnehmbar								
hellgrau	Nur in Vegetationsphase aufnehmbar								
weiß	nicht vollständig mit den Systemspezifikationen aufnehmbar (Entlastung)								

4.1.4 Entlastungsverhalten im Jahresverlauf

Für die Simulation des Entlastungsverhaltens wurden die stündlichen Werte der Wetterstation am Münster/Osnabrück-Flughafen (Distanz zum Standort Humberg: 32 km) verwendet [1] Die Ergebnisse der Simulation sind in Tabelle 4 dargestellt. Insgesamt wird der in die Kanalisation oder in ein Oberflächengewässer eingeleitete Anteil des abflusswirksamen Niederschlages auf etwa 8 % reduziert. Über 90 % des Niederschlages werden im Bodenbereich versickert und teilweise gezielt dem Wurzelbereich des Baumes zugeführt.

Tabelle 4: Anteil des Entlastungsvolumens im Verhältnis zum Gesamtzufluss in den Rigolenspeicher

Jahr	Entlastungsvolumen (m ³)	Systemzufluss (m ³)	Entlastungsanteil (%)
1998	25,2	297	8,49
1999	21,7	236	9,20
2000	23,8	239	9,98
2001	10,1	241	4,20
2002	26,2	257	10,20
2003	19,6	182	10,78
2004	15,4	237	6,50
2005	20,9	226	9,25
2006	2,4	169	1,43
2007	28,4	268	10,62
2008	29,9	219	13,68
2009	18,2	211	8,59
2010	39,3	210	18,75
2011	4,9	157	3,17
2012	5,7	173	3,29
2013	12,3	167	7,40
2014	15,4	199	7,72
2015	29,1	225	12,91
2016	23,1	206	11,21
2017	9,1	203	4,50
2018	8,3	147	5,67
2019	8,4	193	4,37
2020	7,7	177	4,35
2021	12,3	180	6,83
Gesamter Zeitraum:			8,05

4.2 Bilanzierung des Zuflusses in den Wurzelbereich über das System

Zur Bewässerung des Baumes sind die Abflüsse maßgeblich, die dem Wurzelbereich zugeführt werden. Die Ermittlung der dieser Abflussanteile über den oberen Speicher des Systems erfolgte durch Bilanzierung der gemessenen Speicherfüllstände. Zur Bestimmung dieses Volumens wurden die gemessenen Niederschläge mit der angeschlossenen, befestigten Fläche ($A_b = 285 \text{ m}^2$) multipliziert. Für die Ermittlung der Vegetationsperiode wurden die Stundenwerte der Temperatureaufzeichnungen an der Wetterstation am Flughafen Münster/Osnabrück verwendet [2][3]. Diese wird im

Allgemeinen durch eine im Tagesmittel höher als 5°C liegende Temperatur definiert [4]. Da die Messung im Jahr 2021 erst nach dem Beginn der Vegetationsperiode (16.04.2021) begann, erfolgte die Bilanzierung für eine verkürzte Vegetationsperiode, indem der Anfang der Vegetationsperiode auf den Start der Messung verlegt wurde. Die Ergebnisse dieser Auswertung enthalten Tabelle und Tabelle 6. Der Zufluss in den Wurzelraum während der Vegetationsperiode bei Lufttemperaturen über 5 °C lag im Jahr 2021 bei etwa 15,5 m³ und im Jahr 2022 bei etwa 11 m³. Das entspricht einem gemittelten Tageszufluss von rund 50 bis 80 Liter. Damit lässt sich ein Baum bis zu einer Wuchshöhe von ungefähr 8 bis 10 Metern mit Wasser versorgen [5].

Die oben beschriebene Bilanzierungsmethode ist mit Unsicherheiten behaftet. So werden Verluste durch Verdunstung über die kleinen Öffnungen im Bewässerungsrost nicht berücksichtigt. Hinzu kommen Ungenauigkeiten der Messsysteme und die durch die Messintervalle verursachten Abweichungen. Insgesamt werden die Unsicherheiten auf maximal ± 5 % des jeweiligen Volumens eingeschätzt.

Tabelle 5: Bilanzierung des Zuflusses in den Wurzelbereich für 2021

Zeitraum	System-zufluss (m ³)	Zufluss Wurzelraum (m ³)	Zufluss Wurzelraum (%)
Gesamter Messzeitraum 29.04.2021 bis 31.12.2021	133,722	18,153	13,58
Vegetationsperiode (> 5°C) 29.04.2021 bis 09.11.2021	118,788	15,451	13,01

Tabelle 6: Bilanzierung des Zuflusses in den Wurzelbereich für 2022

Zeitraum	System-zufluss (m ³)	Zufluss Wurzelraum (m ³)	Zufluss Wurzelraum (%)
Gesamter Messzeitraum 01.01.2022 bis 30.11.2022	123,747	16,049	12,96
Vegetationsperiode (> 5°C) 11.04.2022 bis 18.11.2022	69,882	10,909	15,61

5 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurde das Speicherverhalten des Rigolensystems ALVEUS an Standorten in Nottuln im Münsterland beschrieben. Es zeigte sich, dass diese Art der

Rigolen mit Speicherelement als dezentrale Rückhalteräume wirken und einen Beitrag zur Überflutungsvorsorge leisten können. Insbesondere kurze Starkregen und Starkregen mit langer Dauer können wirksam zurückgehalten werden. Die Verfügbarkeit der Niederschläge zur Baumbewässerung hängen maßgeblich von der Einleitung der Oberflächenabflüsse in den Wurzelraum ab. Klassisch erfolgen die Zuflüsse von oben über die Baumscheibe. Das Wasser ist dann allerdings nur befristet für den Baum verfügbar. Ideal sind Speicherelemente, die eine längerfristige Baumbewässerung ermöglichen. Dazu muss das Wasser entweder oberhalb des Wurzelraumes gespeichert werden oder ggf. aus einem unteren Speicher in den Wurzelraum gelangen. Möglichkeiten der Speicherbewirtschaftung durch kleine Pumpen werden derzeit an den Standorten am Pastorskamp in Nottuln untersucht. Bei der direkten Wurzelraumbewässerung aus der oberen Speicherebene mit Perlschläuchen besteht die Gefahr der Verstopfung. Systemoptimierungen sind Gegenstand aktueller Untersuchungen. Dazu erfolgen Messungen der Bodenfeuchte die Aussagen zur Wirkung der gezielten Baumbewässerung ermöglichen. In [6] sind weitere Informationen zu den Systemuntersuchungen in Nottuln enthalten. Neben den hier dargestellten Baumrigolen mit Speicherelement, sind weitere Varianten verfügbar. Einen Überblick über die verschiedenen Bauarten von Baumrigolen geben [7] und [8].

6 Literaturangaben

- [1] DWD Climate Data Center (CDC): Historische stündliche Stationsmessungen der Niederschlagshöhe für Deutschland, Version v21.3, 2021.
- [2] DWD Climate Data Center (CDC): Historische stündliche Stationsmessungen der Lufttemperatur und Luftfeuchte für Deutschland, Version v006, 2018.
- [3] DWD Climate Data Center (CDC): Aktuelle stündliche Stationsmessungen der Lufttemperatur und Luftfeuchte für Deutschland, Qualitätskontrolle noch nicht vollständig durchlaufen, Version recent, abgerufen am 30.12.2022.
- [4] DWD (Hg.): Wetter- und Klimalexikon. Vegetationsperiode. Online verfügbar unter <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=102868&lv3=102890>, zuletzt geprüft am 09.01.2023.
- [5] BlueGreenStreets (Hrsg.) (2020), BlueGreenStreets als multicodeierte Strategie zur Klimafolgenanpassung – Wissenstand 2020, April 2020, Hamburg. Statusbericht im Rahmen der BMBF Fördermaßnahme „Ressourceneffiziente Stadtquartiere für die Zukunft“ (RES:Z).
- [6] Grüning H, Schulte A. und Siering N. (2021) Möglichkeiten der Be- und Entwässerung durch Baumrigolen. In: gwf-Wasser und Abwasser, Jahrgang 162, Heft 6/2021, ISSN 0016-3651, S. 69 bis 77

- [7] Pallasch M., Geisler D. und Kluge B. (2022) Straßenbäume und dezentrale Versickerung als Beitrag wassersensibler Stadtentwicklung. KA Korrespondenz Abwasser, Abfall (69), Br. 9, S. 747-759
- [8] Dickhaut W., Doobe G., Eschenbach A., Fellmer M., Gerstner J., Gröngröft A., Jensen K., Lauer J., Reisdorff C., Sandner A., Titel S., Wagner A. und Winkelmann A. (2019) Entwicklungskonzept Stadtbäume - Anpassungsstrategien an sich verändernde urbane und klimatische Rahmenbedingungen. Abschlussbericht des Projektes Stadtbäume im Klimawandel (SiK), Hafen-City Universität Hamburg

Der Beitrag enthält Ergebnisse des Forschungsvorhabens „BeGrüKlim“, gefördert vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages (Förderkennzeichen: 67DAS196A).

HERAUSFORDERUNGEN UND PRAKTISCHE ERFAHRUNGEN BEI DER ETABLIERUNG VON BAUMRIGOLEN IM KOMMUNALEN BEREICH

Thorsten Pacha

Im Rahmen eines integralen Stadtentwicklungskonzepts sollte ein sozial benachteiligter Stadtteil umgestaltet werden. Für die Neugestaltung des Quartiers waren viele Akteure der verschiedensten Fachbereiche erforderlich, die unbewusst in einem ersten agilen Arbeitsprozess die Quartiersentwicklung möglich machten. Hier waren Akteure wie z. B. das Amt für Stadtplanung, Stadtumbaubüro des Quartiers, Umwelt- und Grünflächenamt (Freiraumplanung), Tiefbauamt Abteilung Straßen und die Abteilung Entwässerung integraler Bestandteil des Teams.

Bäume in Hochbeeten, deren Palisaden auseinandergebrochen waren, Baumarten, die mehr Schatten spendeten als den Bürgern lieb war und Freiflächen, die in die Jahre gekommen waren, veranlassten, das Straßenbild in Bochum-Goldhamme grundlegend zu überdenken und zu überarbeiten. So wurden die straßenbegleitenden Stadtquartiersflächen neu organisiert und die alten Baumstandorte überplant und in Teilen neu angelegt, um die Aufenthaltsqualität im Freien zu erhöhen. In diesem Zug wurde die Verwendung und Nutzung des Oberflächenwassers von den Straßen- und Gehwegflächen aufgegriffen. Die Idee, das anfallende Regenwasser den Baumstandorten zuzuleiten, wurde bereits mehrfach anhand des 'Stockholmer Modells' diskutiert und sollte hier pilothaft in Kooperation mit den beteiligten Akteuren in die Praxis umgesetzt werden.

Dieses neuartige Entwässerungssystem musste durch hinreichende Überzeugungsarbeit den Kollegen*innen nähergebracht werden. Die Bedenkenträger wie z. B. der Straßenbau (Überflutungsgefahr) und Umwelt- und Grünflächenamt (Angst vor Vernässung des Wurzelraums/Wurzelfäule) mussten durch Zugeständnisse wie Neupflanzung bei Abgängigkeit eines Baums sowie die Herstellung eines Notüberlaufs innerhalb des Sinkkastens ausgeräumt werden. Durch einen ständigen Austausch und einer offenen Umgangsform im Team konnten pilothaft die ersten klimaangepassten Baumstandorte als Baumrigolen umgesetzt werden. Mittlerweile gehen die beteiligten Fachbereiche bei Stadtumbaumaßnahmen sowie Straßenumgestaltungen „agil“ aufeinander zu, um zu prüfen, ob ggf. Baumrigolen bzw. wassersensible Entwässerungselemente in den Planungsprozess mit eingebunden werden können. Es fand Einigung statt, indem das Regenwasser nicht mehr über die

Standard Sinkkästen entwässert wird, sondern über die Schulter (Lücke im Bordsteinverlauf) abgeleitet wird, um den Baum mit dem Oberflächenwasser zu versorgen.

Hier bietet die Kombination aus Versickerungsrigole und Baumscheibe einen alternativen Lösungsansatz, um Klimaanpassungsmaßnahmen, z. B. Überflutungsschutz, Vermeidung von Hitzeinseln und gleichzeitige Straßenraumgestaltung durchzuführen, und alle Fachbereiche profitieren davon.

Im Rahmen der weiteren Umsetzung von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen an Baumstandorten wurden bei einer Straßenneugestaltung gleichzeitig 18 miteinander vernetzte Baumrigolen umgesetzt. Das Oberflächenwasser von den Straßen-Parkplatz- und Gehwegflächen wird hierbei über Nassschlammsinkkästen in die Baumrigolen eingeleitet und über eine dezentralen Substratfilteranlage und einem Regenrückhalte- / Verdunstungsbecken in den Marbach eingeleitet. Die Baumrigolen sind mit einer Rohrrigole DN 250 die mit einer Kiespackung ummantelt und in ein Vlies eingeschlagen ist untereinander vernetzt. Nach 4 bis 5 Baumrigolen wurde ein Drosselschacht konzipiert, so dass das anfallenden Regenwasser den Baumstandorten in Trockenzeiten zur Verfügung gestellt wird.



Abbildung 1 und 2: Baumrigolen im Straßenraum als Einzelstandorte mit Notüberlauf in den Kanal, Goldhamme, Normannenstraße

**Bochum Goldhamme -
Baumstandortsystem
mit Regenwasserzufuhr und 2 Baumsubstraten**

Bauherr: BOCHUM Umwelt- und Grünflächenamt sowie Tiefbauamt
Planung: DANIEL ZIK LEUCHTER
Bauleitung: PARTNER

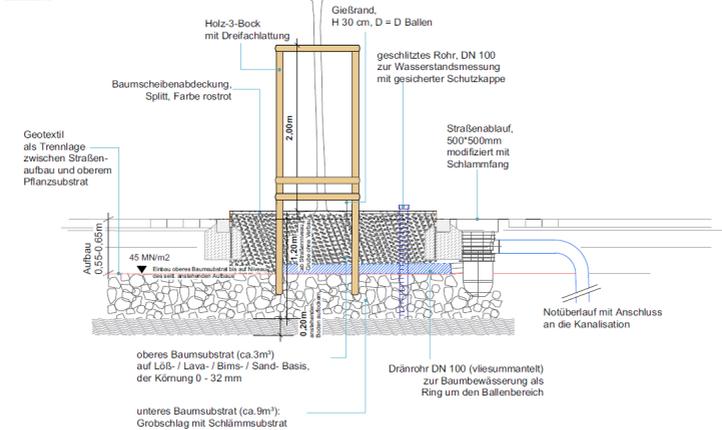


Abbildung 3: Querschnitt der Baumrigole im Straßenraum zur Regenwasserretention mit Notüberlauf an den Kanal

Bei der Konzeption von Baumrigolen (Abbildung 1 und 2) soll das Regenwasser der Straßenflächen und Gehwege zur Versickerung, Rückhaltung und Verdunstung gebracht werden. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass diese Art der Regenwasserbewirtschaftung ein guter Lösungsansatz zum alternativen naturnahen Umgang mit Regenwasser in innerstädtischen eng bebauten Quartieren sein kann. In interdisziplinärer Zusammenarbeit plant die Stadt Bochum viele weitere Baumrigolen im Stadtgebiet.



*Abbildung 4: Einbau des Baumsubstrats der vernetzten Baumrigolen
Abbildung 5: Fertige vernetzte Baumrigole Wasserstraße*

ENTWICKLUNG UND UMSETZUNG VON MAßNAHMEN ZUR WASSERBEWUSSTEN STADTENTWICKLUNG

Andreas Giga

Kurzfassung

Lebendige und lebenswerte Städte spielen für die Zukunftsfähigkeit einer Region eine zentrale Rolle – und dem Wasser kommt hierbei eine Schlüsselfunktion zu. Dies gilt in ganz besonderem Maße auch für die einzigartige Stadtlandschaft der Emscherregion, insbesondere im Kontext der klimatischen Veränderungen und daraus resultierenden Herausforderungen der Klimafolgenanpassung. Wasser ist wegen den häufiger auftretenden Starkregenereignissen und andererseits zunehmender Dürrezeiten Teil des Problems und gleichzeitig Teil der Lösung. Wasserbezogene Klimaanpassungsmaßnahmen bieten eine Reihe von Nutzen und Vorteilen. Gleichzeitig sind die Umsetzungen von integralen Ansätzen aufgrund der verschiedenen Akteure und Interessen in der Realisierung oft schwierig und zeitintensiv. Hier braucht es neben klassischen Ansätzen auch innovative Kooperationen und Planungen. Die Zukunftsinitiative Klima.Werk (früher „Wasser in der Stadt von morgen“) (ZI) [1] ist seit 2014 aktiv, um gemeinsam Maßnahmen für eine wasserbewusste Stadtentwicklung umzusetzen und an einer „Klimaresilienten Region mit internationaler Strahlkraft“ [2] zu arbeiten.

Schlüsselwörter

Klimafolgenanpassung, wasserbewusste Stadtentwicklung, integrale Projekte, innovative Kooperationen, Klimaresiliente Region mit internationaler Strahlkraft

1 Einführung

Die Emscherregion im Ruhrgebiet – ebenso wie andere urbane Gebiete weltweit – ist geprägt durch einen hohen Anteil versiegelter Flächen, so dass Regenwasser gegenüber dem natürlichen Wasserkreislauf um ein Vielfaches weniger versickert oder den Gewässern zufließen kann. Ein großer Teil davon wird über das Mischwasserkanalnetz abgeleitet und muss in den Kläranlagen gereinigt werden. Die geringe Versickerung des Regenwassers führt zu einer verminderten Grundwasserneubildungsrate, so dass demzufolge auch weniger Grundwasser den nahgelegenen Gewässern zuströmt. Die Folge ist, dass nicht nur im Emschereinzugsgebiet viele kleine Gewässer im Sommer immer häufiger trockenfallen. Zudem wird dadurch u. a.

auch die Verdunstung reduziert und damit auch ein Teil der „natürlichen Klimaanlagefunktion“. Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung mit dem Ziel des Erhalts bzw. der Wiederherstellung naturnaher Wasserbilanzen ist als eine sogenannte „naturbasierte Lösung“ ein essenzielles Instrument für mehr Klimaresilienz und im Emscherraum zusammen mit der ökologischen Umgestaltung der Gewässer zudem ein entscheidender Impulsgeber und Entwicklungsmotor für eine wasserbewusste, attraktive und lebenswerte Stadt- und Freiraumentwicklung. Damit Regenwasser effizient genutzt werden kann, muss seine naturnahe integrale Bewirtschaftung Alltag in Stadt- und Entwässerungsplanungen sein – im Neubau ebenso wie im Bestand. Dabei können stadt-, freiraum- und verkehrsplanerische Handlungsfelder mit den Maßnahmen zur Regenwasserbewirtschaftung und Gewässerentwicklung in sinnvoller Weise verknüpft werden, so dass eine Reihe von Synergieeffekte entstehen können.

Die Anpassung an die Folgen des Klimawandels muss als integrale Anforderung an die Planung, den Bau und den Betrieb von Entwässerungssystemen dauerhaft etabliert werden. Nur so kann die Transformation zur klimaresilienten Wasserwirtschaft und gleichzeitig wasserbewussten Städten gelingen. Es bedarf eines engen Schulterschlusses (fach- und städteübergreifend), ausreichender Ressourcen (finanziell und personell) sowie passender Arbeitsweisen (agil und integral), damit diesen Herausforderungen effektiv und erfolgreich begegnet werden kann.

2 Synergieeffekte naturbasierter Maßnahmen

Naturbasierte Maßnahmen haben Synergieeffekte: So sorgt z. B. das über Abkoppelung vom Mischsystem ferngehaltene Wasser für einen zusätzlichen Kühlungseffekt beispielsweise bei der Verdunstung über die Sickerfläche einer Mulde, der Verrieselung über Grünflächen oder über Pflanzen durch Bewässerung. Die Bewässerung aus Zisternen auch über längere Trockenphasen dient dabei auch der Schonung der Trinkwasserressourcen. Es ergibt sich eine Reduzierung des direkten Abflusses bzw. eine verzögerte Zuleitung ins Gewässer, wodurch insgesamt positive Auswirkungen hinsichtlich der Wasserqualität (durch Reduzierung von Entlastungstätigkeiten bei kleineren und mittleren Regenereignissen) sowie des Abflussregimes insgesamt erreicht werden können.

Darüber hinaus leisten diese Maßnahmen in Summe einen Betrag zur Verbesserung des Hochwasserschutzes, Senkung der Kosten für die Wasserinfrastruktur (z. B. durch kleiner dimensionierte Kanäle), Stärkung der Grundwasserneubildungsrate, Verbesserung der Artenvielfalt, Reduktion der Auswirkungen durch Starkregenereignisse, verzögerte Ableitung oder Nutzung von Regenwasser, CO₂-Aufnahme und

Reduzierung der Umgebungstemperatur durch Beschattung und Verdunstung. Zudem werden die Aufenthaltsqualität und die positiven Auswirkungen auf die Gesundheit gesteigert (Abbildung 1). Naturbasierte Maßnahmen sind also Multitalente, von denen wir zukünftig noch viel mehr als zentrale Bausteine für klimaresiliente Städte und Regionen umsetzen müssen.



Abbildung 1: Projektbeispiele Fassadenbegrünung Gladbecker Straße (Essen) und Mulden-/Baumrigolensystem Am Hausacker (Bochum) (Fotos: EGLV)

Bei der Priorisierung geplanter Maßnahmen sollten vor allem vorhandene oder zukünftige Klimawandelfolgen (Hitzeinseln, stark versiegelte Gebiete, niedrige Grundwasserstände etc.) im Sinne von „Hotspots“ berücksichtigt werden. Bei den integralen Planungen größerer Bereiche gilt es wasserwirtschaftliche sowie stadt- und freiraumplanerische Defizite und deren Potenziale zu berücksichtigen und zu verzahnen. Jedoch gelingt dies nur bei einer ausreichenden Vernetzung mit anderen Fachabteilungen und effektiven und ggf. neuen Arbeitsweisen.

3 Zukunftsinitiative Klima.Werk

Die fach- und städteübergreifende Zusammenarbeit von EGLV sowie den Emscher-Lippe-Kommunen in Kooperation mit anderen Wasserverbänden, Institutionen oder weiteren Akteuren findet unter dem regionalen Dach der Zukunftsinitiative „Klima.Werk“ statt.

Bereits 2014 wurden die gemeinsamen Aktivitäten durch eine Absichtserklärung in der Zukunftsinitiative „Wasser in der Stadt von morgen“ (ZI) formuliert. Ausgehend von den 16 Kommunen im Verbandsgebiet der Emschergenossenschaft konnte seitdem auf Grundlage von übergreifenden Vernetzungen und interdisziplinärer Zusammenarbeit von Kommunen und Wasserverbänden eine Vielzahl von Projekten

einen nennenswerten Beitrag für eine wasserbewusste Stadtentwicklung leisten. Eine einmal jährlich stattfindende Vernetzungs- und Innovationsplattform (ZI-Expertenforum), agile Arbeitsgruppen für bestimmte Themen oder Fragestellungen (ZI-Expertenetzwerke) oder der regelmäßige Austausch der Ansprechpartner in den Städten für Klimafolgenanpassung (ZI-Stadtkoordinatorentreffen) sind einige Beispiele der vielfältigen Formate und Produkte der Zukunftsinitiative, deren Weiterentwicklung stetig vorangetrieben wird. Aber auch die Kommunikation und die Sensibilisierung für diese Themen sind wichtige Aufgaben, um weitere Akteure für Maßnahmen zu gewinnen oder ein allgemeines Bewusstsein zu stärken. Hierzu gehören Berichte in Zeitungen über umgesetzte Maßnahmen oder die Beteiligung an Fernsehformaten wie die „Aktuelle Stunde beim WDR“ oder dem „ARD Morgenmagazin“ (Abbildung 2).



Abbildung 2: Austausch im Expertenforum und Klima.Werk im Morgenmagazin am 20.7.2022 [Fotos: EGLV]

Zur Nutzung von Synergien, als HUB für das gesamte Netzwerk der Zukunftsinitiative Klima.Werk sowie als Unterstützer für die vielfältigen Aufgaben und Anforderungen zur Umsetzung von Maßnahmen für wasserbewusste Städte wurde Anfang 2020 die ZI-Service-Organisation in der Emschergenossenschaft eingerichtet. Ein interdisziplinäres Team bringt zusammen mit den Akteuren aus den Kommunen Projekte und Themen auf den Weg. Im Sinne der „ZI-Kultur“ wird im Rahmen der Zusammenarbeit anders als in eher klassisch organisierten Strukturen nicht in „Zuständigkeiten“ gedacht, sondern selbstbeauftragt und mit Verantwortung für den Prozess gehandelt. Ziele, Rollen und Aufgaben werden gemeinsam bestmöglich und sinnvoll festgelegt und dann in die Umsetzung gebracht. Hierdurch kommen Menschen zusammen, die sonst nicht zusammenkommen würden und es entstehen Dinge, die sonst vielleicht nicht entstehen oder umgesetzt würden.

4 Klimaresiliente Region mit internationaler Strahlkraft

In dem Projekt „Klimaresiliente Region mit internationaler Strahlkraft“ (KRiS) übernehmen Kommunen und EGLV gemeinsam richtungsweisend zusätzliche Aufgaben und Verantwortung für die Stärkung der Klimaresilienz der Region. Mit dem Vorhaben KRiS sollen, gefördert durch das Umweltministerium NRW, bis 2030 in sog. „Betrachtungsräumen“ innerhalb des gesamten RVR-Raumes Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel gebündelt umgesetzt werden. Durch blau-grüne Maßnahmen sollen die Abkopplungen von Regenwasser aus dem Mischwassersystem (Ziel: 25 %) und die Verdunstungsrate (Ziel: 10 %-Punkte) gesteigert werden und somit viele Beiträge für eine klimaresiliente Region geleistet werden. Bis Ende 2023 werden Umsetzungskonzepte gefördert und die Betrachtungsräume festgelegt werden. Die ZI-Service-Organisation fungiert dabei als zentrale Fördermittelantrag- und Weiterleitungsstelle.

5 Fazit

Für eine wasserbewusste Stadtentwicklung und folglich für eine echte und wirkungsvolle Klimaresilienz mit all ihren Synergieeffekten und Vorteilen müssen entsprechende Planungsstandards verankert, Ressourcen bereitgestellt und passende Arbeitsweisen genutzt werden. Ein Beispiel hierfür ist die Arbeit im Netzwerk der Zukunftsinitiative Klima.Werk u. a. im Rahmen des Projekts „Klimaresiliente Region mit internationaler Strahlkraft“. Hier wächst das Bewusstsein, dass durch viele einzelne Beiträge und die Übernahme eines Stücks der Gesamtverantwortung die große blau-grüne Transformation gelingen wird – nur so gelingen kann.

6 Literaturangaben

- [1] Becker M., Falk C., Siekmann M. und Schumacher R (2017), Vernetzung und Zusammenarbeit befördern wassersensitive Stadtentwicklung, KW Korrespondenz Wasserwirtschaft, 2017 (10), Nr. 5, S. 265 ff., DWA, Hennef.
- [2] Michael Werner, Ulrike Raasch, Christian Falk, Guido Geretshauer: Für Grün – für Blau: für die Region, Transforming Cities, 3|2019

URBANE FLUSSSYSTEME

HOCHWASSERSCHUTZEINRICHTUNG IM ERSCHER-GEBIET

Georg Johann

Kurzfassung

Das Emscher-Gebiet zeichnet sich mit seiner hohen Besiedlungsdichte durch eine hohe Vulnerabilität gegenüber Hochwasserereignissen aus. Hinzu kommt, dass infolge des Steinkohlebergbaus gefährliche potenzielle Überflutungsgebiete mit großen Wassertiefen entstanden sind. Diese Situation wird nun durch die, infolge der Erderhitzung, zunehmenden Extremniederschläge verschärft. Im Emscher-Gebiet wird ein wasserwirtschaftlich, ökologisch, ökonomisch und sozial abgewogenes Hochwasserrisikomanagement praktiziert. Dennoch muss berücksichtigt werden, dass es keine vollständig sicheren technischen Anlagen gibt. Daher sind Risikoanalyse und -bewertung wesentliche Grundlagen des nachhaltigen Hochwassermanagements. Es orientiert sich dabei an den im gesellschaftlichen Konsens entwickelten Hochwasserschutzzielen. Hochwasserrisikomanagement ist eine Gemeinschaftsaufgabe, mit der integrative Maßnahmen die Hochwasser-Resilienz der Gesellschaft stärken. Hierzu ist mit der Initiierung des Programms „Roadmap Krisenhochwasser“ ein zukunftsfähiger Handlungsrahmen geschaffen worden. Dabei zeigt sich, dass neben den Hochwasserschutzeinrichtungen, die Flächenverfügbarkeit, die Warnung, die Kommunikation und Kooperation sowie die gesetzlichen Rahmenbedingungen ebenso wichtige als auch kritische Handlungsfelder sind.

Schlüsselwörter

Hochwasser, Klimawandel, Extreme, Hochwasserschutz, Hochwasserrisikomanagement, Emscher

1 Allgemeines

Ein integrales, nachhaltiges Hochwassermanagement ist für die Entwicklung zukunftsfähiger Regionen und Städte von großer Bedeutung. Anfang des 20. Jahrhunderts wurde aus der Emscher, einem gewundenen Tieflandfluss in einer dünn besiedelten Agrarlandschaft, ein begradigter, vielerorts von Deichen gefasster Abwasserlauf eines dann von Bergbau und Schwerindustrie geprägten Einzugsgebiets. Dieser technische Umbau, der durch leistungsfähige Hochwasserschutzsysteme gekennzeichnet ist, machte den Weg frei für die Entstehung einer der größten Metropolregionen Deutschlands in einem 865 km² großen Einzugsgebiet zwischen Dortmund und Duisburg, in dem 2,3 Mio. Menschen leben.

Durch die Nordwanderung des Bergbaus und das damit verbundene Ende der Bergsenkungen wurde es Anfang der 1990er-Jahre möglich, das Emscher-Gewässersystem naturnah umzubauen. Die Gewässerumgestaltung korrespondiert abermals mit einem sozialökonomischen Strukturwandel. Der Umbau bietet große Chancen für die von sozialen Problemen und demographischem Wandel stark betroffene Region, die mit der Aufgabe kämpft, den Übergang von der montanindustriellen Vergangenheit in eine von Hochtechnologie und Dienstleistung geprägte wirtschaftliche Zukunft gut zu bewältigen [1].

Bei diesem Gewässer-Umbau kommen die Herausforderungen des Klimawandels, mit der Zunahme von Extremereignissen, hinzu. Das betrifft zum einen Dürre-Ereignisse. Zum anderen nehmen Starkregenereignisse in Häufigkeit und Intensität zu [2], die im stark versiegelten Einzugsgebiet zu erhöhten Hochwasserabflüssen führen [3]. In diesem Kontext gilt es, die Starkregen- und Hochwasser-Resilienz stetig weiterzuentwickeln. Die Juli-Flut 2021 hat gezeigt, wie notwendig das ist [4].

2 Hochwasserschutz im Emschergebiet - ein historisch gewachsenes System

Seit der Gründung der Emschergenossenschaft im Jahr 1899 werden Hochwasserschutzanlagen geplant, gebaut und betrieben. Wohnquartiere, Gewerbegebiete und industrielle Anlagen entstanden in den geschützten Gebieten des Deichhinterlands und rückten oftmals direkt hinter die Deichlinie. Das industrielle Wachstum der Region war also, mit dem Preis eines erhöhten Hochwasserrisikos im Deichhinterland, gewährleistet. Diese gewässernahe Bebauung prägt heute das Einzugsgebiet der Emscher. Zahlreiche Hochwasserschutzanlagen im Emscher-Gebiet wurden Anfang des 20. Jahrhunderts nach den damals höchsten abgelaufenen Hochwasserereignissen dimensioniert [5]. Mit Hilfe der heute vorliegenden hydrologischen und hydraulischen Simulationsmodelle und den langen Messzeitreihen von Niederschlags- und Klimadaten können die Hochwasserschutzanlagen durch statistische Analysen einem Ausbaugrad zugeordnet werden, sie sind bis auf ein 200jähriges Ereignis ausgebaut. Die Emschergenossenschaft hat in 2003 ein Hochwassermanagementkonzept erstellt, das 2016 zur einer Hochwasserrisikomanagementstrategie weiterentwickelt wurde [6].

Die Emschergenossenschaft betreibt 104 Pumpwerke zur Gewährleistung der Vorflut aus den Poldern der Bergsenkungsgebiete und 117 km Deiche, 25 Hochwasserrückhaltebecken mit rund 4 Mio. m³ Speichervolumen.

Die Hochwasserschutzanlagen sind nach a. a. R. d. T. dimensioniert. Dabei wird auf der Grundlage von gemessenen Daten eine Aussage über die statistische Überschreitungswahrscheinlichkeit ermittelt. Auf dieser Grundlage wird die Dimensionierung der Hochwasserschutzanlage festgelegt. Die historischen Daten enthalten jedoch nur zum Teil den Einfluss der Klimawandel bedingten Veränderungen. Kurz gesagt, die Unsicherheit der Hochwasserstatistik hat in Bezug auf die Instationarität der gemessenen Daten mit dem Einsetzen des Klimawandels zugenommen [7]. Auch die Verwendung von Klimaprognoseszenarien für die Dimensionierung von Hochwasserschutzanlagen ist bisher noch nicht geübte Praxis. Die Klimamodelle zeigen zwar eine gemeinsame Richtung wie sich die Hochwasserereignisse entwickeln werden, jedoch wissen wir alle nicht, wie sich die Treibhausgas-Emissionen [8] und damit die Hochwassercharakteristik entwickeln werden. Wie also umgehen mit der zukünftigen Hochwassergefahr?

3 Das Programm „Roadmap Krisenhochwasser“ für ein zukunftsfähiges Hochwasserrisikomanagement

Die Hochwasserschutzsysteme im Emscher-Gebiet sind gemäß den gesetzlichen Vorschriften nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik in Abstimmung mit den Genehmigungsbehörden ausgelegt. Darüber hinaus werden mit dem Emscher-Umbau die Hochwasserabflüsse wesentlich gedämpft [9]. Auch mindert die Zukunftsinitiative Klima.Werk die nachteiligen Wirkungen der Verstädterung und der Erhitzung der Erdatmosphäre durch den Klimawandel. Dennoch können extreme Niederschlagsereignisse zu extremem Hochwasser führen. Hier müssen weitergehende Maßnahmen initiiert werden, die im Programm „Roadmap Krisenhochwasser“ zusammengeführt sind [10]. Die Ziele der Roadmap Krisenhochwasser sind die Sicherstellung der Funktionsfähigkeit bis zur maximalen Belastbarkeit der Hochwasserschutzsysteme, im Katastrophenfall der Schutz von Leib und Leben der Bevölkerung, sowie die Minimierung von Umwelt- und Sachschäden. Zur Stärkung der Hochwasser-Resilienz im Klimawandel decken dabei die fünf Aktionsfelder der Roadmap Krisenhochwasser alle notwendigen Handlungsfelder ab. Mit der parallelen Initiierung zahlreicher Projekte in diesen Aktionsfeldern handeln wir **vor** dem Extremhochwasser:

1. Schaffung zusätzlicher Retentionsräume

Wenn die Hochwasserwelle an geeigneter Stelle zurückgehalten werden kann, steht weniger Wasser für die Überflutung vulnerabler Bereiche zur Verfügung, und Schaden kann gemindert oder gar ganz verhindert werden.

2. Anpassung an Extremereignisse

Extrem-Hochwasserereignisse können die Leistungsfähigkeit der Schutzmaßnahmen übersteigen. Auch auf diesen Fall sollen die Hochwasserschutzanlagen angepasst sein, um ein Totalversagen mit großen Schäden zu vermeiden. Dazu werden Deichabschnitte überströmungssicher ausgebaut. Die Deiche bekommen einen zusätzlichen Klimazuschlag von 20 cm auf das Bemessungshochwasser, doch ändert sich nicht der statistisch festgelegte Ausbaugrad.

3. Hochwasserwarnung - Next Level

Die Zunahme von Starkregen führt dazu, dass Hochwasserereignisse immer schneller ablaufen. Aus diesem Grund wird die Hochwasservorhersage zeitlich höher diskretisiert (alle 15 Min. eine neue Vorhersage). Auch wird sie von der Emscher auf weitere Nebenläufe und Pumpwerke ausgedehnt, dazu wird das Pegel-Messnetz erweitert.

4. Stärkung von Kommunikation und Kooperation

Hochwasser-Vorsorge und -Bewältigung sind eine Gemeinschaftsaufgabe mit verteilten Zuständigkeiten. Ziel ist es, die gemeinsame Kommunikation zu verbessern und bei der Realisierung von Risikomanagement-Projekten zu unterstützen. Dazu werden z.B. die Hochwasservorhersage-Informationen auf ein Portal für Kommunen und Träger öffentlicher Belange und für die Bevölkerung bereitgestellt.

5. Politischer Rahmen

Die Initiativen der Emschergenossenschaft für Hochwasserereignisse über dem Bemessungsabfluss haben einen ausreichenden rechtlichen Rahmen. Jedoch sollen notwendige Vorschläge für die Verbesserung weiterer gesetzlicher und politischer Rahmenbedingungen auf Bundes- und Landesebene in den politischen Prozess eingebracht werden.

Die Roadmap Krisenhochwasser, mit einem Investitionsvolumen von rund 500 Mio. € in 15 Jahren, ist im März 2022 von den Räten von Emschergenossenschaft und Lippeverband beschlossen worden. Hochwasserwasserrisikomanagement ist eine Daueraufgabe und vielschichtig, EGLV und ihre Mitglieder tragen dem Rechnung.

4 Literaturangaben

- [1] Heiser, T., Johann, G. & Schumacher, R. (2015): Wirksame Steuerungsgrößen im integrierten Hochwassermanagement - wie können sie gefunden werden? In: Tag der Hydrologie 2015, Bonn.

-
- [2] Pfister, A. (2016): Langjährige Entwicklung von Starkregen – Handlungsempfehlungen für die Zukunft. In: Tagungsband Essener Tagung 2016, Essen, 2016
- [3] Fischer, S. & Johann, G. (2021): Identifikation der Veränderung von Hochwassertypen durch Zunahme von Starkregen und Änderungen im Einzugsgebiet. In: HKC-Werkstattbericht Umgang mit hydrologischen Bemessungsgrößen in Zeiten des Klimawandels. <https://www.hkc-online.de/de/Projekte/HKC-Werkstattbericht>
- [4] Schüttrumpf, H., Birkmann, J., Brüll, C., Burghardt, L., Johann, G., Klopries, E.-M., Lehmkuhl, F., Schüttrumpf, A., Wolf, S. (2022): Die Flutkatastrophe 2021 im Ahrtal und ihre Folgen für den zukünftigen Hochwasserschutz. In: Wasser und Brunnen 14, Seiten/Artikel-Nr.:43-49
- [5] EmscherGenossenschaft (1925): 25 Jahre EmscherGenossenschaft (Hrsg.: Helbing, H.). Essen
- [6] Johann, G., Pfister, A. & Teichgräber, B. (2017): Hochwasservorhersage für die Deichverteidigung im Emscher- und Lippegebiet. In: Korrespondenz Wasserwirtschaft 10/17, S. 641ff
- [7] Schumann, A. (2021): Instationarität in langjährigen Beobachtungsreihen der Abflusshöchstwerte In: HKC-Werkstattbericht Umgang mit hydrologischen Bemessungsgrößen in Zeiten des Klimawandels. <https://www.hkc-online.de/de/Projekte/HKC-Werkstattbericht>
- [8] Umweltbundesamt (2022): Empfehlungen für die Charakterisierung ausgewählter Klimaszenarien. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/380/dokumente/szenariennamen-stand_20220315.pdf
- [9] EmscherGenossenschaft / Lippeverband (2022): Roadmap Krisenhochwasser. <https://www.presse-service.de/data.aspx/medien/242870P.pdf>
- [10] Johann, G. & Frings, H. (2016): Hochwasserrisiko mindern und Ziele des Gewässerschutzes erreichen - geht das? Ein Praxisbeispiel: die ökologische Verbesserung des Gewässersystems der Emscher. In: 39. Dresdner Wasserbaukolloquium 2016

RUNDE REGENBECKEN – NEUE LÖSUNGEN ZUR STOFFLICHEN ENTLASTUNG URBANER FLUSSSYSTEME

Maike Stover

Kurzfassung

Im Rahmen des Vortrages wird die Bewertung von bestehenden Regenbecken und deren Optimierung thematisiert. In dem vorzustellenden Beispiel erfolgt die Bewertung der runden Regenbecken sowie die Optimierung mit Hilfe von numerischen Strömungssimulationen (CFD). Es wird der Durchströmungsvergleich einer tangentialen und einer zentralen Anströmung sowie deren Leistungsfähigkeit zum Rückhalt von Partikeln dargestellt. Aus den Erkenntnissen kann ein optimiertes Zulaufbauteil abgeleitet werden, welches künftig in Deutschland verbaut werden soll. Das Ziel des Vortrages ist es, aufzuzeigen, dass mit gezielten Nachrüstungen auch viele bereits bestehende Becken weiter effektiv genutzt werden können.

Schlüsselwörter

Regenwasserbehandlung, Bewertung von bestehenden Regenbecken, Optimierung und Neugestaltung von Becken, Numerische Strömungssimulationen (CFD)

1 Einleitung

Die Wasserrahmenrichtlinie [1] fordert bereits seit dem Jahr 2000 einen „*guten chemischen und ökologischen Zustand*“ der Gewässer in der Europäischen Union. In Deutschland werden dazu die Gewässer in zehn Flussgebietseinheiten eingeteilt. Dabei haben sieben von zehn Flussgebietseinheiten im Jahr 2021 nur eine Zielerreichung von bis zu 10 % erreicht [2]. Hierauf baut das neue Regelwerk DWA-A 102 [3] auf. Es wird der notwendige Aufwand zur Behandlung des Niederschlagswassers beschrieben, der sich aus den Stofffrachten des Einzugsgebiets und den Anforderungen an die Einleitungen in ein Gewässer ergibt [3].

Zur Behandlung dieser Regenwetterabflüsse werden oftmals Regenbecken zum Rückhalt von partikulären Stoffen eingesetzt [4]. Das zentrale Wirkprinzip ist die Sedimentation. Allerdings können die in Deutschland vorhandenen 54.000 Regenbecken [5], in ihrer derzeitigen Bau- und Betriebsweise, den gestiegenen Anforderungen zur Leistungsfähigkeit von Regenbecken, insbesondere bei den feinen und leichten Partikeln, nicht ausreichend gerecht werden. Trotz des schlechten Rückhalts

sind Sedimentationsanlagen immer noch das vorherrschende Verfahren zur Behandlung von Niederschlagsabflüssen [6, 7]. Somit ist die Sedimentationsleistung von Regenbecken essenziell für die Entfernung dieser Schadstoffe.

Die Niederschlagswasserbehandlungsanlagen weisen jedoch unter Praxisbedingungen oftmals nur eine begrenzte Wirksamkeit bei der Abtrennung partikulärer Stoffe auf [8]. Dabei liegen die Wirkungsgrade der AFS63 oftmals im Mittel um 37,5 % [8, 9]. Aus diesem Grund sind Untersuchungen zum Rückhalt und zur Optimierung des Rückhalts feiner und leichter Partikel in Regenbecken unabdingbar. Dabei ist insbesondere die Leistungsfähigkeit runder Bauweisen bisher weniger untersucht worden [10]. Die folgenden Untersuchungen werden an einer tangentialen Anströmung, wie sie beispielhaft an die Vorgaben des DWA-A 166 [11] angelehnt ist, und einer nicht optimierten zentralen Anströmung gegenübergestellt.

2 Material und Methoden

Zur Bewertung von Regenbecken stellen die numerischen Modelle eine sichere, kostengünstige und schnelle Methode zur Untersuchung von Wirksamkeiten dar. In dieser Arbeit wird für die numerischen Strömungssimulationen das Softwarepaket FLUENT von ANSYS Inc. in der Version 21.2 verwendet. Die Strömung wird mit Hilfe der Navier-Stokes-Gleichungen berechnet.

Es werden zwei runde Laborbecken mit einer zentralen und einer tangentialen Anströmung berechnet. Abb. 1 zeigt die beiden Geometrien. In pink ist die Fläche des Zuflusses, in blau die Fläche des Überlaufs eingezeichnet. Die im Labor untersuchten Becken haben einen Durchmesser von 1,50 m und eine Höhe von 0,21 m.

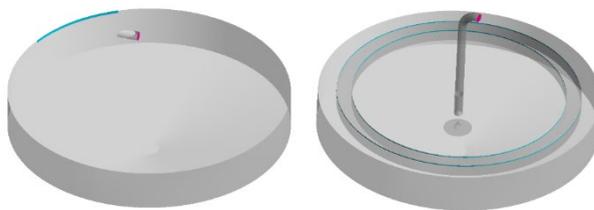


Abb. 1: Untersuchte Geometrien; links – tangentiale Anströmung; rechts – zentrale Anströmung

Die Netzdiskretisierung der Strömungskörper ist so fein gewählt, dass ein y^+ von <5 an der Sohle eingehalten wird. Dies führt zu Gitternetzen von bis zu 10,32 Millionen Zellen. Die Simulationen werden für eine stationäre Oberflächenbeschickung (q_A) von

4 m/h unter Verwendung eines k- ω -SST-Turbulenzmodells und einem Enhanced Wall Treatment durchgeführt. Die Partikelwirkungsgrade werden nach vollständiger Konvergenz der Simulationen im Post-Processing mit dem DPM-Modell berechnet. Zu diesem Zweck wird eine CL-Zahl (Time Scale Constant) von 0,05 verwendet. Die grundsätzliche Abfrage, ob ein Partikel sedimentieren kann oder von der Strömung mitgenommen wird, wird durch eine eigens weiterentwickelte UDF [12] in das DPM-Modell integriert.

3 Ergebnisse

3.1 Ergebnisse des Forschungsvorhabens

Auf Basis der gewählten Randbedingungen zur Berechnung der Durchströmung kann nun ein numerischer Vergleich der Durchströmungen des Fluids für die beiden runden Laborbecken durchgeführt werden. Das Ziel des Vergleichs ist es, die grundsätzlichen Strömungscharakteristika zu visualisieren.

Die Geschwindigkeiten in der tangentialen Anströmung sind dabei bedeutend höher als die Geschwindigkeiten der zentralen Anströmung (Abb. 2). Dies kann durch die mangelnde Aktivierung des Beckenvolumens im Zentrum des Beckens begründet werden. Selbst bei dieser nicht optimalen zentralen Anströmung wird das Becken mit bis zu 0,10 m/s radial rotationssymmetrisch durchströmt.

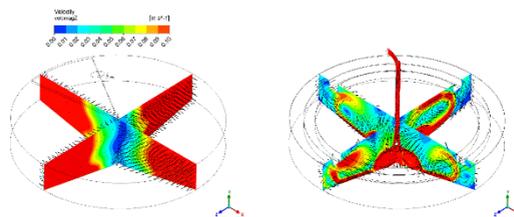


Abb. 2: Fließgeschwindigkeiten im tangential angeströmten Becken (links) und im zentral angeströmten Becken (rechts)

Dies wirkt sich auch auf die sich einstellenden Schubspannungen auf der Sohle aus (Abb. 3). In rot eingefärbt ist die kritische Schubspannung $\tau_{\text{krit}} = 0,096 \text{ N/m}^2$, berechnet nach van Rijn [13], für einen $36 \mu\text{m}$ großen Partikel mit einer Dichte von 2.650 kg/m^3 .

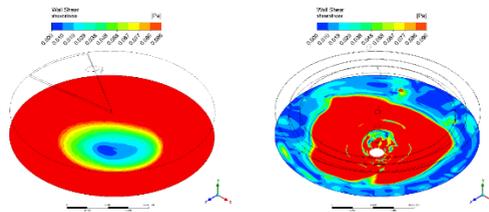


Abb. 3: Schubspannungen auf der Sohle im tangential angeströmten Becken (links) und im zentral angeströmten Becken (rechts)

Das hat zur Folge, dass die Wirkungsgrade für unterschiedliche Materialien in der zentralen Anströmung besser sind als bei der tangentialen Anströmung (Abb. 4).

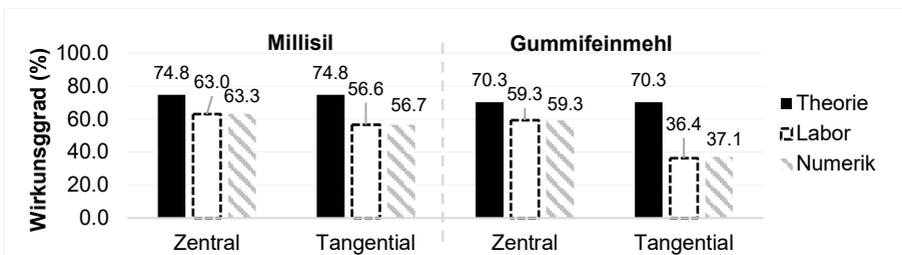
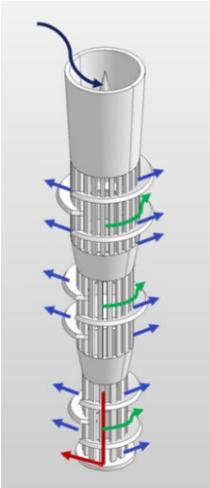


Abb. 4: Wirkungsgrade im Vergleich zwischen der tangentialen und der zentralen Anströmung für die Labormaterialien Millisil W4 und Gummifeinmehl

3.2 Anwendung in der Praxis

Die numerischen Strömungssimulationen von Regenbecken können in der Praxis vielfältige Einsatzmöglichkeiten haben. Hierzu zählt zum einen die Berechnung der Wirkungsgrade von Bestandsbecken, bei denen die Erlaubnis zur Einleitung ausläuft. Mit Hilfe der Simulationen kann ermittelt werden, ob ein Becken, welches beispielsweise nicht nach dem aktuellen Stand der Technik konzipiert ist, Wirkungsgrade aufweist, die für einen Nachweis nach DWA-A 102 erforderlich sind.

Eine weitere Einsatzmöglichkeit der numerischen Strömungssimulationen ist die Gestaltung von zu optimierenden Becken oder aber gar den neuzubauenden Becken.



Auf Basis der Erkenntnisse des Forschungsprojekts wird hier im Folgenden eine optimierte Zulaufvariante eines zentralen Zulaufes zu einem runden Regenbecken vorgestellt, welches in NRW gebaut wird. In diesem Fall ist der Behandlungsbedarf im Zuge des NBK ermittelt worden. Ein Regeklärbecken sollte gebaut werden, da der Platzbedarf für bspw. einen Retentionsbodenfilter nicht vorhanden ist. Bei den Untersuchungen mit den numerischen Strömungssimulationen hat sich folgende Gestaltung des Zulaufbauteils (Abb. 5) als sehr wirksam erwiesen. Mit solchen Einbauten ist es möglich die hohe Anzahl der in Deutschland bereits verbauten Becken durch eine Optimierung weiterhin zu nutzen und diese im Sinne der Nachhaltigkeit nicht pauschal abzureißen.

Abb. 5: Optimiertes Zulaufbauteil für eine zentrale Anströmung

4 Fazit und Ausblick

Im Rahmen der Umsetzung des DWA-A 102 Regelwerks müssen die vielen bereits verbauten Regenbecken überprüft werden, da sie oftmals nicht dem Stand der Technik entsprechen. Eine Möglichkeit zur Bewertung von Regenbecken ist die Überprüfung dieser mittels numerischer Strömungssimulationen, da auch Becken, welche vom Stand der Technik abweichen, nicht pauschal einen schlechten Rückhalt aufweisen müssen. Im Sinne einer nachhaltigen Bewirtschaftung unserer Entwässerungssysteme gilt es, das Bestmögliche aus dem vorhandenen Bestand herauszuholen und diesen sinnvoll zu ergänzen.

Die vorliegenden Ergebnisse sind u. a. im Rahmen des vom MULNV NRW geforderten Forschungsvorhabens (Förderrichtlinie ResA II) „Verbesserter Rückhalt von Mikroplastik und weiteren feinen, abfiltrierbaren Stoffen in Regenbecken durch eine zentrale Anströmung – Definition von Gestaltungsempfehlungen“ entstanden.

5 Literaturangaben

- [1] EG-WRRL (2000): Richtlinie 2000/60/EG zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik.
- [2] Umweltbundesamt (2016): „Steckbriefe - Nationale Flussgebietseinheit“.

-
- [3] DWA-A 102-1 (2020): Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwasserabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer - Teil 1: Allgemeines. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA).
- [4] Kemper, M. (2016): „Strömungsverhalten und Sedimentationswirksamkeit in Regenbecken mit Schrägklärer-Einbauten“. doi: 10.5445/IR/1000068909.
- [5] Dettmar, J., Brombach, H. (2019): „Im Spiegel der Statistik: Abwasserkanalisation und Regenwasserbehandlung in Deutschland“. Korrespondenz Abwasser, Abfall · 2019 (66) · Nr. 5. 2019, S. 354–364.
- [6] Dierkes, C. (2019): „Prüfung von dezentralen Sedimentationsanlagen“. In: Regenwasser weiterdenken – Bemessen trifft Gestalten. Rigi Kaltbad.
- [7] Gelhardt, L., Dittmer, U., Welker, A. (2021): „Relationship of particle density and organic content in sieve fractions of road-deposited sediments from varying traffic sites based on a novel data set“. In: Science of The Total Environment. 794 , S. 148812, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.148812.
- [8] Fettig, J., Oldenburg, M., Pick, V., Pilar von Pilchau, L. (2021): „Feststoffe und Feinpartikel in Straßenabflüssen – Erfassung und Charakterisierung“. In: KA Abwasser Abfall. 68 (11).
- [9] Rommel, S., Helmreich, B. (2018): „Feinpartikuläre Stoffe (AFS63) in Verkehrsflächenabflüssen - Vorkommen und Relevanz für dezentrale Behandlungsanlagen“.
- [10] Mohn, R., Uhl, M., Grüning, H., Voßwinkel, N., Wietbüscher, M., Ebbert, S., Schomaker-Loth, J. (2018): NRW MEREBEN: Maßnahmen zur Ertüchtigung von Regenklärbecken und Hinweise zu deren Neubau – Phase 2: Neubau von Regenklärbecken. (Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben im Förderprogramm: ResA II gefördert durch das Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen) Münster: IWARU.
- [11] DWA-A 166 (2013): „166 Bauwerke der zentralen Regenwasserbehandlung und -rückhaltung – Konstruktive Gestaltung und Ausrüstung“. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall.
- [12] Stover, M. (2022): „Modellierung des Rückhalts von Partikeln in runden Regenbecken mit zentraler Anströmung“. Universität Wuppertal. (Unveröffentlicht)
- [13] van Rijn, L.C. (2016): „Initiation of motion and suspension of mud-sand mixtures“. Abgerufen 07.09.2018 von <http://www.leovanrijn-sediment.com/papers /Thresholderosion2016.pdf>.

AUTOREN- VERZEICHNIS

Bachmann, Daniel Prof. Dr.-Ing.	Hochschule Magdeburg-Stendal Fachbereich Wasser, Umwelt, Bau und Sicherheit Breitscheidstraße 2 39114 Magdeburg
Burrichter, Benjamin M.Sc.	Hochschule Ruhr West Institut Bauingenieurwesen Duisburger Straße 100 45479 Mülheim an der Ruhr
Dittmann, Daniel Dr.-Ing.	Umweltbundesamt Fachgebiet II 3.1 Schichauweg 58 12307 Berlin
Freudenberg, Benjamin M.Sc.	Universität Duisburg-Essen Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft Universitätsstraße 15 45141 Essen
Gierse, Reinhard Dipl. Ing; Dipl. Ökol.	Stadt Wuppertal Ressort Umweltschutz Johannes-Rau-Platz 1 42275 Wuppertal
Giga, Andreas Dipl.-Ing.	Emschergenossenschaft/Lippeverband Kronprinzenstr. 24 45128 Essen
Gromadecki, Franziska Dr.-Ing.	Abwasserverband Braunschweig Celler Straße 22 38176 Wendeburg
Grüning, Helmut Prof. Dr.-Ing.	FH Münster Fachbereich Energie · Gebäude · Umwelt, IWARU – Institut für Infrastruktur · Wasser · Ressourcen · Umwelt Stegerwaldstraße 39 48565 Steinfurt
Haberkamp, Jens Prof. Dr.-Ing.	FH Münster Fachbereich Bauingenieurwesen IWARU – Institut für Infrastruktur · Wasser · Ressourcen · Umwelt Corrensstraße 25 48149 Münster

Halbig, Guido RDir	Deutscher Wetterdienst Wallneyer Straße 10 45133 Essen
Heinenberg, Daniel M. Sc.	Wupperverband Untere Lichtenplatzer Str. 100 42289 Wuppertal
Henrichs, Malte Prof. Dr.-Ing.	FH Münster, Fachbereich Bauingenieurwesen Corrensstraße 25 48149 Münster
Hörschemeyer, Birgitta M.Sc.	FH Münster Fachbereich Bauingenieurwesen IWARU – Institut für Infrastruktur · Wasser · Ressourcen · Umwelt Corrensstraße 25 48149 Münster
Johann, Georg Dipl.-Hydrol.	Emschergenossenschaft/Lippeverband Kronprinzenstraße 24 45128 Essen
Junghans, Veikko Dr. rer. agr.	Fachverband Bewässerungslandbau Mitteldeutschland e.V. Dorfstraße 1 14513 Teltow-Ruhlsdorf
Kramer, Sonja Dipl.-Ing.	Stadt Münster Amt für Mobilität und Tiefbau Albersloher Weg 33 48127 Münster
Krömer, Kerstin Dipl.-Ing.	Oldenburgisch-Ostfriesischer Wasserverband (OOWV) Georgstraße 4 26919 Brake
Leischner, Florian B.Sc.	Universität Duisburg-Essen Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft Universitätsstraße 15 45141 Essen
Lepold, Charlotte B.Sc.	MUST Städtebau AG Eigelstein 103-113 50668 Köln

Massing, Christian Dipl.-Ing.	WSW Energie & Wasser AG Bromberger Straße 39-41 42281 Wuppertal
Mietzel, Thorsten Dr.-Ing.	Universität Duisburg-Essen Universitätsstraße 2 45141 Essen
Mudersbach, Christoph Prof. Dr.-Ing.	Hochschule Bochum Fachbereich Bau- und Umweltingenieurwesen Am Hochschulcampus 1 44801 Bochum
Nickel, Christina	Eigenbetrieb Wasser und Abwasser Wuppertal (WAW) Johannes-Rau-Platz 1 42275 Wuppertal
Niemann, André Prof. Dr.-Ing.	Universität Duisburg-Essen Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft Universitätsstraße 15 45141 Essen
Pacha, Thorsten Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing.(FH)	Stadt Bochum Tiefbauamt Hans-Böckler-Str. 19 44787 Bochum
Quirnbach, Markus Prof. Dr.-Ing.	Hochschule Ruhr West Institut Bauingenieurwesen Duisburger Straße 100 45479 Mülheim an der Ruhr
Roß, Maximilian M. Sc.	FH Münster Fachbereich Bauingenieurwesen IWARU – Institut für Infrastruktur · Wasser · Ressourcen · Umwelt Corrensstraße 25 48149 Münster

Ruhl, Aki Sebastian
Prof. Dr.-Ing.

Umweltbundesamt
Fachgebiet II 3.1
Schichauweg 58
12307 Berlin

Schulte, Andr e

FH Münster
Fachbereich Energie · Gebäude ·
Umwelt
IWARU – Institut für Infrastruktur ·
Wasser · Ressourcen · Umwelt
Stegerwaldstraße 39
48565 Steinfurt

Siekmann, Marko
Dr.-Ing.

Stadt Bochum
Tiefbauamt
Hans-Böckler-Straße 19
44777 Bochum

Siering, Nils
B.Eng.

FH Münster
Fachbereich Energie · Gebäude ·
Umwelt
IWARU – Institut für Infrastruktur ·
Wasser · Ressourcen · Umwelt
Stegerwaldstraße 39
48565 Steinfurt

Stover, Maike
M.Sc.

FH Münster
Fachbereich Bauingenieurwesen
IWARU – Institut für Infrastruktur ·
Wasser · Ressourcen · Umwelt
Corrensstraße 25
48149 Münster

Uhl, Mathias
Prof. Dr.-Ing.

FH Münster
Fachbereich Bauingenieurwesen
IWARU – Institut für Infrastruktur ·
Wasser · Ressourcen · Umwelt
Corrensstraße 25
48149 Münster

AUSSTELLER- VERZEICHNIS

Amiblu Germany GmbH

germany@amiblu.com
Gewerbepark 1
17039 Trollenhagen

Anja Strehlow
Tel.: 03954 5280
www.amiblu.com/de/

Aquaburg Hochwasserschutz GmbH

j.winkels@aquaburg.com
Linckensstr. 115
48165 Münster

Josef Winkels
Tel.: 0151 44226078
www.aquaburg.com

Berding Beton GmbH

info@berdingbeton.de
Industriestr. 6
49439 Steinfeld

Sven Kansy
Tel.: 05492 870
www.berdingbeton.de/

Deutsche Rockwool GmbH & Co. KG

andreas.roedder@rockwool.com
Rockwool Str. 37-41
45966 Gladbeck

Dr. Andreas Rödder
Tel.: 01515 3552510
www.rockwoolcom/rockflowDE

ecoTech Umwelt-Meßsysteme GmbH

hydro@ecotech.de
Klara-M.-Faßbinder-Straße 1A
53121 Bonn

Timo Wolf
Tel.: 0228 8504477-30
www.ecotech.de

Enregis GmbH

tim.vogt@enregis.de
Lockweg 83
59846 Sundern

Tim Vogt
Tel.: 1739114527
www.enregis.de

FRÄNKISCHE Rohrwerke Gebr. Kirchner GmbH & Co. KG

alexandra.neumeier@fraenkische.de
Hellinger Str. 1
97486 Königsberg

Eberhardt Dreisewerd
Tel.: 0171 6739025
www.fraenkische.com/de-DE/

Funke Kunststoffe GmbH

info@funkegruppe.de
Siegenbeckstr. 15
59071 Hamm-Uentrop

Martina Lüffe
Tel.: 02388 3071-162
www.funkegruppe.de

Holcim Coastal B.V.

martina.czerr-elbers@holcim.com
Hoorn 35
2404 HL Alphen aan den Rijn
Niederlande

Martina Czerr-Elbers
Tel.: 0160 90904701
www.holcimcoastal.nl

Humberg GmbH

f.humberg@humberg-baumschutz
Zeppelinstraße 4
48301 Nottuln

Franz Humberg
Tel.: 02509 99369 0
www.humberg-baumschutz.de/

Hydrotec Ingenieuresellschaft für Wasser und Umwelt mbH

anne.sintic@hydrotec.de
Bachstraße 62-64
52066 Aachen

Dipl.-Ing. Anne Sintic
Tel.: 0241 94689-980
www.hydrotec.de

Indutainer GmbH

martin.siegbert@indutainer.de
Am Eggenkamp 13
48268 Greven

Martin Siegbert
Tel.: 02571 9958477
www.indutainer.com

ITWH - Institut für technisch-wissenschaftliche Hydrologie GmbH

K.Fuchs@itwh.de
Engelborsteler Damm 22
30167 Hannover

Katharina Fuchs M.Sc.
Tel.: 0511 97193-0
www.itwh.de

Lindschulte Ingenieuresellschaft mbH

dirk.brunhoever@lindschulte.de
Nino-Allee 30
48529 Nordhorn

Dirk Brunhöver
Tel.: 0162 2302361
www.lindschulte.de

Mall GmbH

info@mall.info
Hüfinger Str. 39-45
78166 Donaueschingen

Sarah Scherlies
Tel.: 0771 8005 0
www.mall.info

Scalgo ApS

jan@scalgo.com
Aabogade 40 D
8200 Aarhus
Dänemark

Jan Willem van der Vegt
Tel.: 0031 653 750081
www.scalgo.com

Systemx-Partec-GmbH

engel.peter@systemx-partec.com
Arndtstr. 11 a-b
02826 Goerlitz

Dr. Peter Engel
Tel.: 0151 58715302
www.systemx-partec.com

Tandler.com GmbH

angela.tandler@tandler.com
Am Griesberg 25-27
84172 Buch am Erlbach

Angela Tandler
Tel.: 0160 96446853
www.tandler.com



IWARU Institut für
Infrastruktur · Wasser ·
Ressourcen · Umwelt



Klare Konzepte. Saubere Umwelt.
Landesverband
Nordrhein-Westfalen



die Umweltingenieure