

wassertage
münster

www.wassertage-muenster.de

DÜRRE UND FLUT IN STADT UND RAUM

Wassertage Münster 2025

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

Tagungsband
Münster, 18. - 19. Februar 2025





8. Wassertage Münster

Dürre und Flut in Stadt und Raum

Tagungsband

Münster, 18. und 19. Februar 2025

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

Impressum

IWARU, Institut für Infrastruktur-Wasser-Ressourcen-Umwelt (Hrsg.): Dürre und Flut in Stadt und Raum. Tagungsband der 8. Wassertage Münster 2025

© 2025
FH Münster
University of Applied Science
Hüfferstraße 27
48149 Münster
verlag@fh-muenster.de

Redaktion: Kerstin Heyn – DWA-Landesverband NRW
Umschlaggestaltung: Kerstin Heyn – DWA-Landesverband NRW
Fotos Umschlag: © **Vorderseite:** kathomenden-stock.adobe.com;
Rückseite: MichaelAntonKraus-stock.adobe.com

ISBN: 978-3-947263-41-7

<https://doi.org/10.25974/fhms-18796>



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.

Dürre und Flut in Stadt und Raum

Die klimabedingte Zunahme extremer Wetterereignisse ist eine der Herausforderungen in der gegenwärtig durch Krisen geprägten Zeit. Gefahren gehen sowohl von ausgeprägten Extremniederschlägen als auch langanhaltenden Dürreperioden aus. Das Schadpotenzial hängt maßgeblich von den lokalen Bedingungen in Stadt und Raum ab. Ein Starkregen richtet im Flachland mit versickerungsfähigen Böden wesentlich weniger Schäden an als in einem engen Tal, 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.

Neben Starkregen führen auch Trockenheit und Hitze 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 damit einhergehend sowohl die Bewässerung in der Landwirtschaft als auch die öffentliche Wasserversorgung in Deutschland vor bislang weitgehend unbekannte Herausforderungen.

Einen absoluten Schutz gegen Überflutungen und vor Hitzeperioden gibt es nicht, aber wir müssen Vorsorge betreiben, um die Belastungen zu begrenzen und die eigene Resilienz zu erhöhen. Dazu erforderliche Konzepte greifen die Wassertage Münster 2025 auf. Zur nachhaltigen Bewirtschaftung der Ressource Wasser dienen in hohem Maße die Talsperren, auf die ein Blick sowohl weltweit als auch in NRW geworfen wird. Thematisiert werden weiterhin die neuesten Entwicklungen der Wasserwiederverwendung und des Abwassers als alternative Wasserressource. Die wasserbewusste Stadtentwicklung bildet den Rahmen für weitere aktuelle Diskussionen zu blau-grüner Infrastruktur, Starkregen und Sturzfluten, Dürre und Hitze sowie der Niederschlagswasserbehandlung.

Wir laden Sie ein zu informativen Vorträgen und angeregten Diskussionen über ein Thema, das uns alle betrifft: Der nachhaltige Umgang mit Wasser in Stadt und Raum.

Christian Auel, Helmut Grüning, Jens Haberkamp und Malte Henrichs

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	1
Inhaltsverzeichnis	2
Programm	6
KEYNOTE	10
Burkhard Teichgräber	11
Wasser gestern und morgen - Fluch und Segen?	
TALSPERREN I	18
Christian Auel	19
Talsperren - Essentiell für die Minderung der Klimawandelfolgen	
Dirk Carstensen	25
Die Bedeutung von Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken für Deutschland	
TALSPERREN II	33
Andreas Schlenkhoff, Svenja Kemper, Mareike Lewe	34
Talsperren im Wandel der Zeit	
Anne Becker, Fabian Netzel, Georg zur Strassen	41
Talsperrenbewirtschaftung im Spannungsfeld von Hoch- und Niedrigwasser beim Ruhrverband	
Claudia Klerx	47
Talsperrensteuerung des Wupperverbandes: Was das System leisten kann	
ABWASSER ALS ALTERNATIVE WASSERRESSOURCE I	53
Jens Haberkamp	54
Entwicklungen in der Wasserwiederverwendung	
Manuela Helmecke	60
Umsetzung und Zukunftsperspektiven der Wasserwiederverwendung in Deutschland	

ABWASSER ALS ALTERNATIVE WASSERRESSOURCE II	76
Susanne Brants Aufbereitetes Abwasser - eine Alternative für die Grünflächenbewässerung und weitere Anwendungen im kommunalen Umfeld?	77
Jonas Kleckers Nachhaltiges Abwassermanagement mit ressourcenorientierten Sanitärsystemen	82
WASSERBEWUSSTE STADT – BLAU-GRÜNE INFRASTRUKTUR	91
Andreas Giga Blau-grüne Transformation einer Region - Mission (im)possible?!	92
Helmut Grüning, Nils Siering Dezentrale Niederschlagswasserspeicher als Rückhalte- und Bewässerungssystem	97
Birgitta Hörnschemeyer, Malte Henrichs Zielgröße Wasserhaushalt - Potential zur Annäherung an den natürlichen Wasserhaushalt in Neubau- und Bestandsgebieten	108
WASSERBEWUSSTE STADT – STARKREGEN UND STURZFLUTEN	116
H. Hoppe, A.-L. Maaß, H. Janssen, I. Lakes, A. Braun, R. Broesi und M. Pauwels Value Management - integrale Konzeption von Maßnahmen zur Starkregenvorsorge	117
Wolfgang Dickhaut Multifunktionale Flächen in der Wasserwirtschaft - Risiken einschätzen und Chancen nutzen	124
Ingo Kopietz Starkregengefahrenkarte: Ein how to aus kommunaler Sicht	128

WASSERBEWUSSTE STADT – DÜRRE UND HITZE 134

Katharina Weltecke 135
Was braucht eigentlich ein Baum?

Wilhelm Kuttler 143
Wasser und sein Einfluss auf das Stadtklima

**WASSERBEWUSSTE STADT – NIEDERSCHLAGSWASSER-
BEHANDLUNG** 159

Stefan Niewerth 160
Dezentrale Niederschlagsbehandlung an Verkehrsflächen mit aktiven Geoverbundstoffen

Eske Hilbrands, Christian Lieske 166
Nachrüstung zentraler Behandlungsanlagen - NaReFil und RING

Autorenverzeichnis 172

Ausstellerverzeichnis 178

*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, 18.02.2025

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. Christian Auel, FH Münster
- 10:20 – 10:50 **Keynote** Wasser gestern und morgen - Fluch und Segen?
Prof. Dr.-Ing. Burkhard Teichgräber, DWA-Landesverband NRW,
Essen

TALSPERREN I

- 10:50 – 11:10 **Talsperren - Essentiell für die Minderung der Klimawandel-
folgen**
Prof. Dr. Christian Auel, FH Münster
- 11:10 – 11:30 **Die Bedeutung von Talsperren und Hochwasserrückhaltebe-
cken für Deutschland**
Prof. Dr.-Ing. Dirk Carstensen, TH Nürnberg
- 11:30 – 11:40 **Diskussion**
- 11:40 – 12:10 **Kaffeepause / Besuch der Fachausstellung**

TALSPERREN II

- 12:10 – 12:30 **Talsperren im Wandel der Zeit**
Prof. Dr.-Ing. Andreas Schlenkhoff, Dr.-Ing. Svenja Kemper,
Bergische Universität Wuppertal
- 12:30 – 12:50 **Talsperrenbewirtschaftung im Spannungsfeld von Hoch- und
Niedrigwasser beim Ruhrverband**
Anne Becker, Ruhrverband, Essen
- 12:50 – 13:10 **Talsperrensteuerung des Wupperverbandes: Was das
System leisten kann**
Dipl.-Ing. Claudia Klerx, Wupperverband, Wuppertal
- 13:10 – 13:20 **Diskussion**
- 13:20 – 14:50 **Mittagspause / Besuch der Fachausstellung**

ABWASSER ALS ALTERNATIVE WASSERRESSOURCE I

- 14:50 – 15:10 **Entwicklungen in der Wasserwiederverwendung**
Prof. Dr.-Ing. Jens Haberkamp, FH Münster
- 15:10 – 15:30 **Umsetzung und Zukunftsperspektiven der Wasserwiederverwendung in Deutschland**
Manuela Helmecke M.Sc., Umweltbundesamt, Berlin
- 15:30 – 15:50 **Internationale Fallbeispiele zur Wasserwiederverwendung**
Dr.-Ing. Ulf Mieke, Kompetenzzentrum Wasser Berlin
- 15:50 – 16:00 **Diskussion**
- 16:00 – 16:30 **Mittagspause / Besuch der Fachausstellung**

ABWASSER ALS ALTERNATIVE WASSERRESSOURCE II

- 16:30 – 16:50 **Aufbereitetes Abwasser - eine Alternative für die Grünflächenbewässerung und weitere Anwendungen im kommunalen Umfeld?**
Dipl.-Ing. Susanne Brants, Stadtwerke Bad Oeynhausen
- 16:50 – 17:10 **Nachhaltiges Abwassermanagement mit ressourcenorientierten Sanitärsystemen**
Jonas Kleckers M.Sc., FH Münster
- 17:10 – 17:20 **Diskussion**
- 17:20 **Ende des ersten Tages**
- 17:25 **Projektkino: Ausgewählte Kurzfilme zu Projekten der Wasserwirtschaft**
- 19:00 **Abendveranstaltung**

Programm

Mittwoch, 19.02.2025

WASSERBEWUSSTE STADT - BLAU-GRÜNE INFRASTRUKTUR

- 9.00 – 9:20 **Blau-grüne Transformation einer Region - Mission (im)possible?!**
Dipl.-Ing. Andreas Giga, Emschergenossenschaft und Lippeverband, Essen
- 9:20 – 9:40 **Dezentrale Niederschlagswasserspeicher als Rückhalte- und Bewässerungssystem**
Prof. Dr.-Ing. Helmut Grüning, Nils Siering M.Eng., FH Münster
- 9:40 – 10:00 **Zielgröße Wasserhaushalt - Potential zur Annäherung an den natürlichen Wasserhaushalt in Neubau- und Bestandsgebieten**
Birgitta Hörnschemeyer M.Sc., Prof. Dr.-Ing. Malte Henrichs, FH Münster
- 10:00 – 10:10 **Diskussion**
- 10:10 – 10:40 **Kaffeepause / Besuch der Fachausstellung**

WASSERBEWUSSTE STADT - STARKREGEN UND STURZFLUTEN

- 10:40 – 11:00 **Value Management - integrale Konzeption von Maßnahmen zur Starkregenvorsorge**
Dr.-Ing. Holger Hoppe, Pecher AG, Erkrath
- 11:00 – 11:20 **Multifunktionale Flächen in der Wasserwirtschaft - Risiken einschätzen und Chancen nutzen**
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Dickhaut, HafenCity Universität Hamburg
- 11:20 – 11:40 **Starkregengefahrenkarte: Ein how to aus kommunaler Sicht**
Dipl.-Ing. Ingo Kopietz, Stadt Münster
- 11:40 – 11:50 **Diskussion**
- 11:50 – 13:05 **Mittagspause / Besuch der Fachausstellung**

WASSERBEWUSSTE STADT - DÜRRE UND HITZE

- 13:05 – 13:25 **Was braucht eigentlich ein Baum?**
Dr. Katharina Weltecke, Boden & Baum, Bad Arolsen
- 13:25 – 13:45 **Zukunftsstrategie Wasser für NRW: Wasserressourcen nachhaltig und klimastabil sichern**
Birgit Wienert, Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf
- 13:45 – 14:05 **Wasser und sein Einfluss auf das Stadtklima**
Prof. em. Dr. rer. nat. Wilhelm Kuttler, Duisburg
- 14:05 – 14:15 **Diskussion**
- 14:15 – 14:45 **Kaffeepause / Besuch der Fachausstellung**

WASSERBEWUSSTE STADT - NIEDERSCHLAGSWASSERBEHANDLUNG

- 14:45 – 15:05 **Dezentrale Niederschlagsbehandlung an Verkehrsflächen mit aktiven Geoverbundstoffen**
Dr.-Ing. Stefan Niewerth, HUESKER Synthetic GmbH, Gescher
- 15:05 – 15:25 **Nachrüstung zentraler Behandlungsanlagen - NaReFil und RING**
Eske Hilbrands M.Sc., Christian Lieske M.Sc., FH Münster
- 15:25 – 15:55 **Keynote** Wasserwirtschaft an der Ruhr in Zeiten des Klimawandels
Prof. Dr. Norbert Jardin, Ruhrverband, Essen
- 15:55 – 16:00 **Schlusswort**
Prof. Dr.-Ing. Helmut Grüning, FH Münster
- 16:00 **Ende der Veranstaltung**

KEYNOTE

WASSER GESTERN UND MORGEN - FLUCH UND SEGEN?

Burkhard Teichgräber

1 Zivilisationsleistung Wasser

Größere Siedlungen konnten sich nur an ausreichend großen Gewässern entwickeln, um eine Versorgung mit Trink- und Bewässerungswasser sicherzustellen. Im Wesentlichen gibt es hierfür archäologische Belege, erstes Schrifttum stammt von den Sumerern in Mesopotamien (Strell 1913). Am Nil entwickelte sich aufgrund der regelmäßigen Überflutungen des Niltals ein Hochkultur mit florierender Landwirtschaft, herausragenden technischen Leistungen (z. B. Landvermessung) und einem verzweigten Kanalsystem (Strell 1913). Die Wasserversorgung der Millionenmetropole Rom in der Antike wurde über ein Leitungssystem unter Nutzung der Aquädukte sichergestellt, ein insgesamt hochentwickeltes technisches System (Frontinus 100).

2 Katastrophenfaktor Wasser

Die Bedrohung durch Katastrophenniederschläge und daraus resultierende Hochwässer gehört zu den Überlieferungen vieler Kulturen (Bibel, Gilgamesh-Epos).

Vulkanexplosionen oder Erdbeben mit anschließenden Tsunamis sind seit der Antike bekannt (Santorin) und verursachen große Schäden durch plötzliche Überflutungen, z. B. 2004 im Indischen Ozean oder 2011 vor Fukushima.

Aufgrund der weiträumigen Bedrohung durch Hochwasser an den Küsten der Nordsee und der großen Flüsse wie dem Rhein, konnten die Deiche nur als Gemeinschaftsleistung erstellt werden, die in genossenschaftlichen Strukturen gebaut, unterhalten und verteidigt wurden.

3 Wissen über Wasser

Vor allem im ländlichen Bereich (wo bis zur Industrialisierung die meisten Menschen lebten), wurde Erfahrungswissen im Umgang mit Hochwasser tradiert. Technisches Wissen zur Lösung von Wasserfragen wurde seit der Antike dokumentiert (Frontinus 100). Während das Wissen um Hochwasserschutz kontinuierlich aufgebaut wurde, wurden seit dem 19. Jahrhundert Verfahren zur Reinigung von Abwasser und Aufbereitung von Trinkwasser entwickelt. Dies ging einher mit der Entwicklung zahlenmäßiger Beschreibung der Prozesse und schrittweiser Verbesserung des Prozessverständnisses.

Erkenntnisfortschritt und Ausbau der technischen Systeme führten zu einer Bündelung des Wissens über Wasser bei Fachleuten, verbunden mit einem Sicherheitsgefühl bei der breiten Bevölkerung, dass das Thema Wasser gelöst sei:

- Es ist immer genügend Wasser verfügbar und weder hygienische noch Bedrohung durch Hochwasser sind zu erwarten.

Für einzelne Großereignisse wie die Sturmflut 1962 in Hamburg oder das Hochwasser an der Ahr 2021, diese Annahme durchbrachen, wurden Schuldige gesucht. Die Erkenntnis, dass der Klimawandel besonders für das Thema Wasser erhebliche Veränderungen mit sich bringt, setzt sich zwar bei vielen Menschen durch, trägt aber keinen gesellschaftlichen Konsens.

4 Vision 2100

Wasserwirtschaftliche technische Lösungen erfordern i. d. R. hohe Investitionen und weisen eine lange Lebensdauer auf. Insofern müssen Entscheidungen über Neubau oder Anpassungen wasserwirtschaftlicher Infrastruktur auf eine langfristigen Prognose künftiger wasserwirtschaftlicher Verhältnisse aufsetzen. Diese sind aufgrund der klimatischen Veränderungen nicht ausschließlich aus einer retrospektiven Betrachtung mit statistischer Auswertung vergangener Ereignisse ableitbar, sondern müssen das gesammelte Wissen über die komplexe Vernetzung der klimatischen Entwicklung, der Wasserwirtschaft und der gesellschaftlichen Entwicklung nutzbar machen. Deshalb entschlossen sich DVGW und DWA eine Vision 2100 und eine Roadmap



Abb. 1: Zukunftsbild der Vision 2100

2030 zum Thema Wasser zu erarbeiten. Diese wurden 2023 veröffentlicht. Sie korrespondieren mit der Nationalen Wasserstrategie 2023. Damit soll den Unternehmen der Wasserwirtschaft und Anderen Grundlagen für technische und kaufmännische Entscheidungen an die Hand gegeben werden.

Die Vision 2100 zeichnet ein Zukunftsbild, das im Wesentlichen auf den Schutz des Wassers und nachhaltige Nutzung abzielt. Hierfür bedarf es technischer Lösungen; schwieriger wird es jedoch sein, einen gesellschaftlichen Konsens zum Schutz des Wassers, zur Finanzierung und zur Einbeziehung der Wasserthemen in persönliche und institutionelle Planungs- und Bauentscheidungen herzustellen.

Schritte zur Umsetzung der Vision müssen in kürzeren Zeitabschnitten formuliert werden. Hierzu wurde die Roadmap 2030 entwickelt. In sechs Handlungsfeldern werden Maßnahmen definiert, die im ersten Schritt die Beschreibbarkeit der Probleme verbessern (Entwicklung von Parametern und Messmethoden), Handreichungen für technische Lösungen, bessere Genehmigungspraxis und exemplarische Projekte beinhalten. Auch hier werden die wasserbewusste Siedlungsentwicklung und die wasserbewusste Gesellschaft als eigene Handlungsfelder benannt.



Abb. 2: Handlungsfelder der Roadmap Wasserwirtschaft 2030

5 Technische, organisatorische und gesellschaftliche Herausforderungen

Induziert durch den Klimawandel werden sich mehrjährige trockene und nasse Phasen ablösen. Dazu werden sich die Temperaturen in allen Wasserkörpern erhöhen. Dies wird neue Lösungen erfordern; bestehende Systeme müssen hinterfragt werden, ob sie den künftigen Anforderungen noch standhalten werden.

In den Gewässern werden Dürrephasen deutlich niedrigere Wasserführungen als bisher verursachen. Sowohl die technische Nutzung (Rohwasser für Trink- und Brauchwasser, Schifffahrt) als auch die ökologischen Verhältnisse werden sich grundlegend ändern. Die Zielbilder der EU-Wasserrahmenrichtlinie müssen überarbeitet werden. Inwieweit ein mehrjähriger Mengenausgleich durch oberirdische Stauseen oder künstliche Grundwasseranreicherung Entlastung schaffen kann, muss für jedes Gewässersystem geprüft werden.

Der ökologisch wünschenswerte Massenguttransport auf dem Wasserweg muss weiterhin ermöglicht werden.

Die Gewässergüte wird in Dürrephasen durch fehlende Verdünnung für Residuen der Abwasserreinigung und Regenwasserbehandlung sowie natürliche Belastung insbesondere von Tieflandgewässern deutlich beeinträchtigt werden. Inwiefern eine zeitweise Absenkung der zulässigen Einleitungen aus Kläranlagen rechtlich und technisch möglich ist, wäre zu untersuchen.

In unseren Siedlungsgebieten müssen wir uns auf längere Hitzeperioden einstellen. Sowohl die klimatische Ausrichtung unserer Siedlungen mit Strömungsschneisen für kühlere Luft, möglichst entlang von (Stadt-)Gewässern, als auch die Bauweise der Häuser muss dem Rechnung tragen. Künstliche Kühlung erhöht durch die Abwärme die Temperatur im Umfeld, Verdunstung von Wasser durch Fassaden- und Dachbegrünung, Straßengrün und Wasserflächen mit vielen Wasserpflanzen stellt hier die notwendige Alternative dar. Das Wasser hierfür muss aber auch zur Verfügung stehen; die Versorgung mit Brauchwasser darf nicht durch Monopole der Trinkwasserkonzessionen blockiert werden. Elemente der Schwammstadt unterstützen diese Entwicklung, ob ein Ausgleich der Niedrigwasserführung und Grundwassertiefstände in Dürrephasen durch Speicherung von Starkniederschlägen wirtschaftlich und in der Wasserbilanz möglich ist, muss noch nachgewiesen werden.

In welchem Bereich des Wasserkreislaufs die Wasserwiederverwendung Entlastungen schaffen kann, muss noch weiter untersucht werden. Für den Wasserbedarf der Landwirtschaft kann gereinigtes Siedlungsabwasser nur punktuelle eine Entlastung darstellen. Für eine dezentrale Nutzung im Stadtgebiet für Kühlzwecke ist eine

hohe hygienische Qualität erforderlich, die in dezentralen Reinigungssystemen kaum erreichbar ist. Für viele kleine Gewässer spenden Kläranlagen in Trockenphasen den maßgeblichen Abfluss. Dies bedeutet, dass die Abwasserreinigung als Qualitätsziel die Gewässerqualität erreichen muss. Grundwasseranreicherung mit gereinigtem Grundwasser ist in Deutschland bisher kaum gebräuchlich, könnte sich aber für einen Langzeitausgleich der Wasserführung sinnvoll werden. Dann werden schmerzhaft Kompromisse in der Grundwasserqualität notwendig werden.

Vermehrte Starkniederschläge werden in Siedlungsgebieten vulnerable Strukturen immer stärker schädigen. Bevor das Wasser überhaupt in Gewässer gelangen kann, muss es im oberflächlichen Abfluss so gelenkt werden, dass Schäden minimiert werden. Objektschutz und lokale Ableitungs- und Speichermöglichkeiten müssen von Stadtplanern, Architekten und Bauherren identifiziert, geplant, umgesetzt und finanziert werden.

Jedes naturbasierte oder technisch geprägte System zum Hochwasserschutz kann durch Extremniederschläge und -abflüsse überlastet werden. Angemessene wasserwirtschaftliche Maßnahmen können einen großen Teil dieser „Krisenhochwässer“ so lenken, dass es nicht zu einer Katastrophe mit Personenschäden und hohen Sachschäden kommt. Organisatorisch muss sich die Gesellschaft auch auf Katastrophenhochwässer vorbereiten. Mit Feuerwehren, Technischem Hilfswerk und trainierten Krisenstäben auf Kreisebene verfügt die Bundesrepublik Deutschland hier über gute Voraussetzungen zur Katastrophenbekämpfung. Aus wasserwirtschaftlicher Sicht ist eine stärkere Einbindung des wasserwirtschaftlichen Wissens in die aktuellen Handlungsgrundlagen des Katastrophenschutzes erforderlich, verbunden mit regelmäßigem gemeinsamem Training. Viele der Opfer jüngerer Hochwasserereignisse in Deutschland und Österreich sind Angehörige der Feuerwehren. Der Schutz der Einsatzkräfte während ihrer Arbeit muss verbessert werden.

Für die Gesellschaft gelten Wasserfragen weitgehend als gelöst. Damit ist die Eigenvorsorge gegen lokale Überflutungen kaum akzeptiert. Auch fehlt das Bewusstsein, dass der nachhaltige Umgang mit der Wasserressource jetzt schon erhebliche finanzielle Ressourcen bindet und dieser Aufwand künftig deutlich steigen wird, um der Gesellschaft einen vergleichbaren Komfort und Sicherheit wie jetzt zu bieten. Damit die Wasserwirtschaft technisch und organisatorisch sinnvolle Maßnahmen durchführen kann, muss in der Gesellschaft das Bewusstsein für die Notwendigkeit der eigenen Mitwirkung und des finanziellen Aufwands entwickelt werden.

6 Fazit

Es wird auch in Deutschland ein verschärfter Wettbewerb um sauberes Wasser einsetzen, der einen gesellschaftlichen Interessenausgleich zwischen Natur, Landwirtschaft und Wasserversorgung für Haushalte und Industrie erfordert.

Eine wasserbewusste Stadtentwicklung kann nur von einem gesellschaftlichen Konsens getragen werden. Kommunen stellen Planungsgrundlagen zur Verfügung, alle bestehenden und künftigen Objekte der Stadtplanung werden auf geringstmögliche Vulnerabilität und größtmögliche wasserwirtschaftliche Effizienz ausgelegt und gepflegt.

Deutschland befindet sich nach wie vor in einer komfortablen Situation der Wasserwirtschaft: Wasserknappheit ist nur ein zeitliches und lokales Phänomen, weder die Bevölkerung noch die Industrie wird durch wassergebundene Probleme ernsthaft eingeschränkt. Gefahren durch Starkniederschläge und resultierende Hochwässer werden häufiger auftreten. In Deutschland können die Auswirkungen aber durch technische und organisatorische Maßnahmen auf ein akzeptables Maß beschränkt werden.

Wir müssen nur verstehen, dass wir zwar immer mehr Wissen über qualitative und quantitative Prozesse im Wasser aufbauen; dies führt aber nicht dazu, dass wir das Wasser beherrschen. Es können immer noch Situationen auftreten, wie Schiller sie beschreibt:

Hoffnungslos
Weicht der Mensch der Götterstärke,
Müßig sieht er seine Werke
Und bewundernd untergehn.

Schrifttum

Anonym: Nationale Wasserstrategie - Kabinettsbeschluss vom 15. März 2023, Herausgeber: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV). Eigenverlag: Berlin, 120 S., 2023.

Anonym: Roadmap 2030 - Handlungsagenda für die Zukunft der Wasserwirtschaft. Herausgeber: DVGW und DWA, Eigenverlag: Bonn, Hennef, 44 S., 2023.

Anonym: Vision 2100 - Vision einer wasserbewussten Gesellschaft für das Jahr 2100. Herausgeber: DVGW und DWA, Eigenverlag: Bonn, Hennef, 16 S., 2023.

Frontinus, Sextus Julius: Wasserversorgung im Antiken Rom, etwa 100 n. Chr. Herausgeber: Frontinus-Gesellschaft e.V., 2. Aufl., Oldenbourg: München, 216 S., 1983.

Strell, Martin: Die Abwasserfrage in ihrer geschichtlichen Entwicklung von den ältesten Zeiten bis zur Gegenwart. Leipzig: F. Leineweber, 1913, 232 S. Faksimilenachdruck der ATV. St. Augustin: Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik (GFA), 1988.

TALSPERREN I

TALSPERREN - ESSENZIELL FÜR DIE MINDERUNG DER KLIMAWANDELFOLGEN

Christian Auel

Kurzfassung

Die Bedeutung von Talsperren und Wasserspeichern wird im Kontext des Klimawandels und der steigenden globalen Wassernachfrage betrachtet. Wasserspeicher sind essenziell und verbessern die Wasserverfügbarkeit, mindern Überschwemmungsrisiken und regulieren die Wassermenge. Die Diskrepanz zwischen Wassernachfrage und verfügbarer Speicherkapazität wächst aufgrund von Klimawandel, Bevölkerungswachstum und Rückgang der Süßwasservorräte. Viele große Talsperren weltweit sind über 50 Jahre alt, was Bedenken hinsichtlich ihrer Standsicherheit und Verlandung des Stauseevolumens aufwirft. Die Verlandung ist ein zunehmendes Problem, mit einer mittleren jährlichen Rate von etwa 1% des Stauraums. Ohne nachhaltige Maßnahmen werden bis 2050 viele Stauseen im Mittel bis zu 50% verlandet sein. Eine nachhaltige Wasserbewirtschaftung und Maßnahmen zur Minderung der Stauraumverlandung angesichts eines wachsenden globalen Wasserspeicherbedarfs sind unabdingbar.

Schlüsselwörter

Wasserspeicher, Talsperre, Stausee, Klimawandel, Stauraumverlandung

1 Einleitung

Der jüngste Bericht der Weltbank „What the Future Has in Store: A New Paradigm for Water Storage“ [1] berichtet über die Bedeutung der Speicherung des Wassers und ruft zu einem dringenden Handeln auf, um Wasser zukünftig nachhaltiger zu bewirtschaften. Die Wasserspeicherung erbringt im Wesentlichen drei Leistungen [1]:

- (1) Die Verbesserung der Verfügbarkeit von Wasser in Trockenperioden,
- (2) die Minderung der Auswirkungen von Überschwemmungen und
- (3) die Regulierung der Wassermenge z.B. für die Wasserkraft, den Transport auf der Wasserstraße oder die Naherholung.

Die größte Herausforderung aus Sicht der Weltbank ist die zunehmende Diskrepanz zwischen der Wassernachfrage und der verfügbaren Speicherkapazität, was durch

- (1) den Klimawandel,

- (2) das Bevölkerungswachstum weltweit (vor allem in den Großstädten) und
- (3) den Rückgang der Süßwasservorräte verschärft wird.

Mehr als 99 Prozent der weltweiten Süßwasserspeicher sind natürliche Speicher, wie die Gletscher, die Schneedecke, die Flusssysteme mit ihren Feuchtgebieten, die Seen, das Grundwasser sowie die Bodenfeuchte [2]. Trotzdem ist die Bedeutung gebauter Speicherinfrastruktur groß und wird infolge der genannten Herausforderungen in der Zukunft bedeutend größer [1]. Talsperren und die dahinter liegenden Stauseen sind dabei die bedeutendste Form der Wasserspeicherung. Es gibt schätzungsweise 6.863,5 km³ an Speicherkapazität in großen Stauseen (bei 7.320 Talsperren mit einer Höhe von mehr als 15 Metern oder einem Stauraum von mehr als 0,1 km³) und weitere 1.873 km³ in kleineren Stauseen [1].

Die Weltbank plädiert für ein neues Paradigma bei der Planung von Wasserspeichern, das natürliche, gebaute und hybride Speicherlösungen kombiniert, um die verschiedenen Wasserbedürfnisse, wie die Bewässerung in der Landwirtschaft, die Wasserkraftnutzung, und die Trinkwasserversorgung effektiver und nachhaltiger zu decken [1].

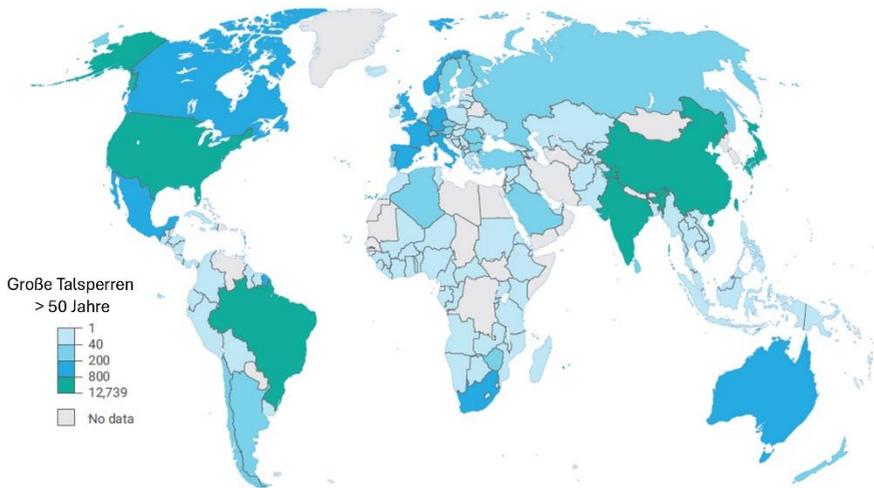


Abb. 1: Anzahl an Talsperren weltweit, die älter als 50 Jahre sind [1].

Vor allem in Japan, China, Indien, den USA und in Brasilien gibt es eine Vielzahl von Stauanlagen, deren Großteil über 50 Jahre alt ist [1].

Der Weltbankbericht unterstreicht die anhaltende Bedeutung von Talsperren und Stauseen und plädiert gleichzeitig für stärker integrierte, nachhaltige Ansätze zur Wasserspeicherung, die ein breiteres Spektrum an Lösungen und deren Auswirkungen auf Ökosysteme und Bevölkerung berücksichtigen.

2 Steigender globaler Wasserbedarf

Die Differenz zwischen der benötigten und der für einen bestimmten Zeitpunkt und Ort vorhandenen - natürlichen und gebauten - Wasserspeichermenge wächst und wird sich voraussichtlich noch vergrößern [2, 3]. Abb. 2 zeigt eindrücklich die große Variabilität des mittleren monatlichen Niederschlags weltweit [1].

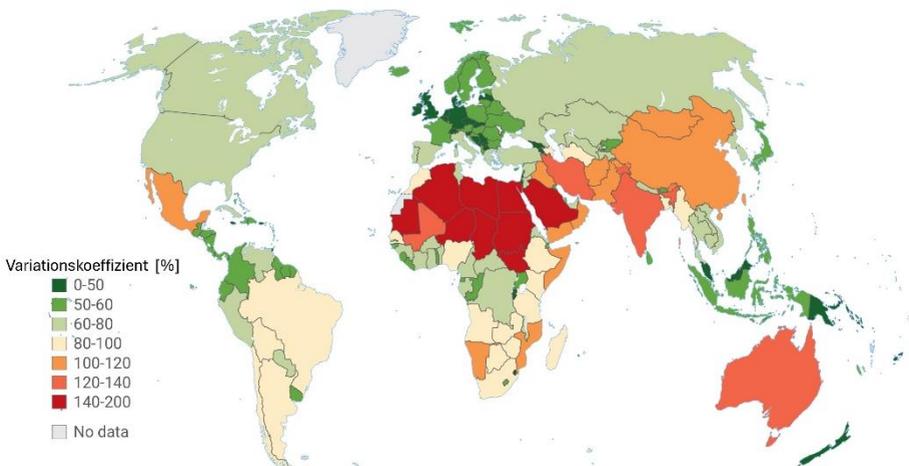


Abb. 2: Variation des mittleren monatlichen Niederschlags (Durchschnitt 2000 – 2005). Die Variationskoeffizienten [%] wurden berechnet, indem die Standardabweichung der monatlichen Niederschläge durch den jährlichen Durchschnitt der monatlichen Niederschläge geteilt wurde.

Zwischen 2018 und 20250 wird die städtische Wassernachfrage voraussichtlich zwischen 50 und 80 Prozent steigen [4], was zum einen auf das Bevölkerungswachstum in den städtischen Gebieten und zum anderen auf die Tatsache, dass der Pro-Kopf-Wasserverbrauch aufgrund eines höheren Lebensstandards wächst, zurückzuführen ist. Das Problem wird dadurch verschärft, dass die städtische Bevölkerung, die mit Wasserknappheit konfrontiert ist, voraussichtlich von 933 Millionen im Jahr 2016 auf 1,7 Milliarden bis 2,4 Milliarden im Jahr 2050 steigen könnte [5].

Eine höhere Nachfrage nach Wasser wird zu einem erheblichen Anstieg des Süßwasserbedarfs sowie des Bedarfs an Wasserspeichern führen. Bis 2050 wird die Welt 60 Prozent mehr Nahrungsmittel anbauen müssen, um mit dem Bevölkerungswachstum Schritt zu halten, was bei einem Business-as-usual-Szenario schätzungsweise einen 50 Prozent Anstieg der bewässerten Nahrungsmittelproduktion erfordert, während nur eine zusätzliche Wasserentnahme von schätzungsweise 10 Prozent zur Verfügung stehen [5]. Erwartete Verbesserungen der Wassernutzungseffizienz und die Zunahme der Wiederverwendung werden essenziell sein zur Verlangsamung des Anstiegs der Süßwasserentnahme [1].

3 Verlandung der Stauseen

Neben dem großen gesellschaftlichen Nutzen der Talsperren, die Wasserspeicherung, ergeben sich ebenfalls gravierende Nachteile. Talsperren stauen den frei fließenden Fluss auf, der Sedimenttransport wird unterbrochen. Dies kann zu weitreichenden geomorphologischen und ökologischen Veränderungen führen. Mit zunehmendem Alter der Talsperren (vgl. Abb. 1) rückt die Stauraumverlandung immer mehr in den Blickpunkt. Durch eine mittlere jährliche Verlandungsrate von etwa einem Prozent des Stauraums sind viele Speicher bereits zu einem beträchtlichen Teil mit Sedimenten gefüllt [6].

Im Hinblick auf eine nachhaltige Entwicklung der Speichervolumina, sollte der Speicherraum als eine natürliche Ressource betrachtet werden, die durch das Vorhandensein eines Staudamms geschaffen wird [7]. Speicherraum kann entweder als erneuerbare oder als erschöpfbare Ressource eingestuft werden, je nachdem, wie der Stausee betrieben wird. Füllt sich der Stausee mit Sedimenten, haben die Planer:innen es als erschöpfbare Ressource behandelt. Wenn es jedoch so geplant und betrieben wird, dass Speicherverluste durch Verlandung verhindert oder minimiert werden, wird das System wie eine erneuerbare Ressource behandelt [7]. Seit der Jahrtausendwende sinkt das weltweite Stauraumvolumen von etwa $4,5 \times 10^{12} \text{ m}^3$ Ende der 1990er Jahre zum einen infolge der Minderung des Baus neuer Talsperren und zum anderen infolge der Stauraumverlandung der bestehenden Anlagen [7]. Dramatischer noch ergibt sich das Bild, wenn man den Speicher pro Kopf betrachtet. Im Jahr 2025 haben wir ein ähnliches Pro-Kopf Speichervolumen wie Anfang der 1960er Jahre von etwa $500 \text{ m}^3/\text{Kopf}$ [7].

Abb.3. zeigt die Schätzung der Verlandungsraten weltweit pro Land für das Jahr 2022 und prognostiziert für das Jahr 2050. Die Daten zeigen, dass ohne zeitnahe nachhaltige Maßnahmen gegen die Stauraumverlandung im Jahr 2050 bereits eine Vielzahl von Stauseen bis zu 50% im Mittel verlandet sind. Diese Daten zeigen eindrücklich

den Bedarf an weitsichtigen Maßnahmen, um die Stauraumverlandung weltweit zu minimieren.

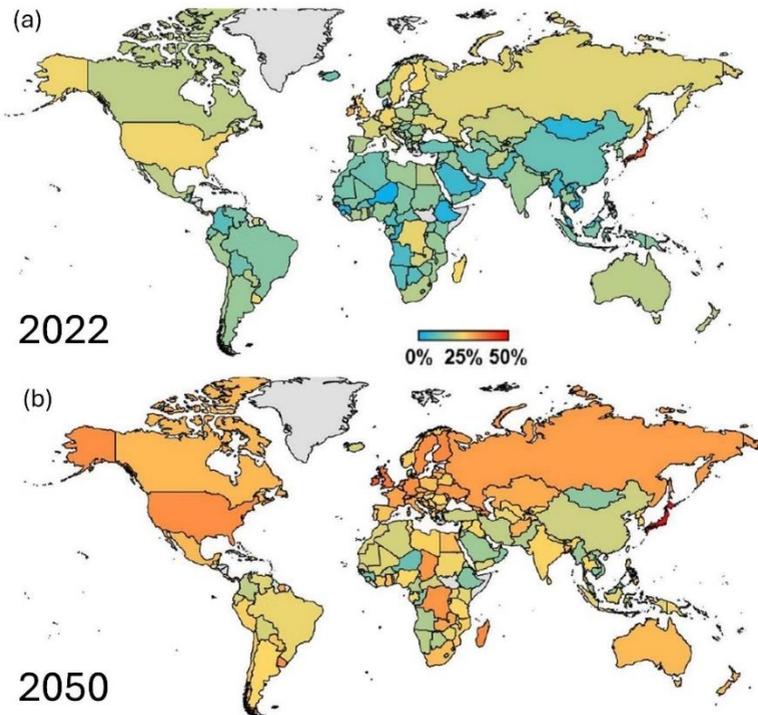


Abb. 3: Geschätzte Verlandungsraten der Stauseen im Jahr 2022 und prognostiziert für 2050 [8].

4 Fazit

Die Weltbank fordert, dass ein neues Paradigma bei der Planung von Wasserspeichern notwendig ist, das natürliche, gebaute und hybride Speicherlösungen kombiniert, um die verschiedenen Wasserbedürfnisse effektiver und nachhaltiger zu decken. Zudem ist zu konstatieren, dass die Verlandung von Stauseen im Wasserinfrastruktursektor die bedeutendste Herausforderung des 21. Jahrhunderts ist, die es durch ein nachhaltiges Sedimentmanagement zu lösen gilt.

5 Literatur

- World Bank (2023). What the Future Has in Store - A New Paradigm for Water Storage. World Bank, Washington, DC.
- McCartney M, Rex W, Yu W, Uhlenbrook S, von Gnechten R. (2022). *Change in Global Freshwater Storage*. International Water Management Institute (IWMI) Working Paper 202, Colombo, Sri Lanka: IWMI, 25. <https://doi.org/10.5337/2022.204>
- GWP (Global Water Partnership) und IWMI (International Water Management Institute). 2021. *Storing Water: A New Integrated Approach for Resilient Development*. Perspectives Paper. Colombo, Sri Lanka: IWMI; Stockholm, Schweden.
- Garrick, D., L. De Stefano, W. Yu, I. Jorgensen, E. O'Donnell, L. Turley, X. Dai, I. Aguilar-Barajas, L. R. de Souza, B. Punjabi, B. Schreiner, J. Svensson, and C. Wight. 2019. "Rural Water for Thirsty Cities: A Systemic Review of Water Reallocation from Rural to Urban Regions." *Environmental Research Letters* 14. doi:10.1088/1748-9326/ab0db7.
- He, Ch., Z. Liu, J. Wu, X. Pan, Z. Fang, J. Li, and B. A. Bryan. 2021. "Future Global Urban Water Scarcity and Potential Solutions." *Nature Communications* 12 (4667). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25026-3>
- International Commission on Large Dams (2009). Sedimentation and sustainable use of reservoirs and river systems. ICOLD-Bulletin Nr. 147. Paris, France.
- Annandale GW, Morris GL., Karki P. (2016). Extending the Life of Reservoirs - Sustainable Sediment Management for Dams and Run-of-River Hydropower. World Bank, Washington, DC. <http://dx.doi.org/10.1596/978-1-4648-0838-8>
- Perera D, Williams S, Smakhtin V. 2023. Present and Future Losses of Storage in Large Reservoirs Due to Sedimentation: A Country-Wise Global Assessment. *Sustainability* 15(1), 219 <https://doi.org/10.3390/su15010219>

DIE BEDEUTUNG VON TALSPERREN UND HOCHWASSERRÜCKHALTEBECKEN FÜR DEUTSCHLAND

Dirk Carstensen

Kurzfassung

Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken sind Elemente der kritischen Infrastruktur. Bei fehlender Sicherheitsvorsorge stellen sie ein erhebliches Gefahrenpotenzial dar. In jüngster Vergangenheit ist die Nutzung und Bedeutung dieser elementaren Anlagen des technischen Hochwasserschutzes wieder mehrfach in den Fokus der Bevölkerung gerückt. Um das Gefahrenpotenzial so gering wie möglich zu halten, gilt es, besondere Aufmerksamkeit im Rahmen der Errichtung sowie der Unterhaltung und beim Betriebes dieser Bauwerke der Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit der Anlagenteile zu widmen. Sicherheitsberichte und Vertiefte Überprüfungen sind zusammen mit der laufenden Überwachung Bestandteil des mehrstufigen Sicherheitskonzepts bestehend aus Eigen- und Fremdüberwachung. Neue, ereignisbezogene und/oder geänderte Ansprüche der Gesellschaft an den Betrieb und die Sicherheit von und durch Talsperren, Fortschreibungen von Regelwerken und/oder Weiterentwicklungen von Mess- und Regeltechnik können neben der Alterung von Anlagen und Anlagenteilen sowie identifiziertem Verschleiß Gründe für ergänzende Betrachtungen und spezielle Untersuchungen sein.

Schlüsselwörter

Talsperre, Hochwasserrückhaltebecken, Stauraum, Klimawandel, Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit, Dauerhaftigkeit

1 Talsperren - Allgemeines und Grundsätzliches

Talsperren wurden und werden weltweit als Einzweck- oder als Mehrzweckanlagen errichtet. Die Zweckbestimmungen sind i. d. R. infolge hydrologischer Extremereignissen, des Bedarfes an Trink- oder Brauchwasser oder hinsichtlich der Absicherung der Energieversorgung auf der Grundlage der Wasserkraft festgelegt worden. Die Einteilung der Talsperren in Deutschland erfolgt in die Talsperrenklassen 1 und 2. Entsprechend der gültigen DIN¹ 19700-11 [1] gibt es in Deutschland 371 große Talsperren, d. h. Talsperren der Klasse 1, deren Absperrbauwerke vom tiefsten Punkt der Gründungssohle bis zur Bauwerkskrone höher als 15 m sind und/oder deren Gesamtstauraum des Speicherbeckens mehr als 1 Mio. m³ beträgt. Talsperren der

¹ Deutsche Institut für Normung e.V. (DIN)

Klasse 2 sind demzufolge mittlere und kleine Talsperren, welche diese Bedingungen unterschreiten bzw. nicht erfüllen. Von den in Deutschland vorhandenen Talsperren der Talsperrenklasse 1 unterliegen 231 Talsperren einer Mehrzwecknutzung (Hochwasserschutz, Wasserkrafterzeugung, Bewässerung, Fischwirtschaft, Niedrigwasseraufhöhung für Fließgewässer in Trockenperioden, Tourismus, Freizeit und Erholung, Rohwasserbereitstellung zur Trinkwassergewinnung, Bereitstellung von Brauch- und/oder Kühlwasser und Zuschusswasser für künstliche oder natürliche Schifffahrtswege bzw. Wasserstraßen). Die restlichen großen Talsperren in Deutschland, 140 an der Zahl, dienen somit nur einem Zweck, z. B. nur der Roh-, Trinkwasser- oder der Wasserkraftgewinnung bzw. dem Hochwasserschutz.

Wird die Anzahl der Anlagen auf die Gesamtfläche von Deutschland bezogen, lässt sich schlussfolgern, dass pro 1000 km² Grundfläche eine große Talsperre vorhanden ist. Ein Blick in die Historie verrät, dass die älteste Anlage dieser Art in Deutschland der Große Teich Torgau ist, welcher bereits 1483/84 angelegt wurde. Im Jahr 2006 wurde zuletzt in Deutschland eine große Talsperre eingeweiht, die Talsperre Leibis-Lichte in Thüringen. Das mittlere Alter der großen deutschen Talsperren beträgt ca. 71 Jahre.

Die baulichen, hydraulischen und wasserwirtschaftlichen Bemessungen einer Stauanlage basieren auf den hydrologischen Parametern des Einzugsgebietes. Für große Talsperren (Klasse 1) wird ein auf Statistiken beruhender Hochwasserzufluss für den Bemessungsfall 1 mit einer jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeit von 10^{-3} (T = 1000 Jahre) und für den Bemessungsfall 2 von 10^{-4} (T = 10 000 Jahre) angenommen. Für die Talsperrenklasse 2 werden die Wiederkehrintervalle für die Bemessungsfälle mit 500 und 5000 Jahren festgelegt. Die Statistiken beruhen grundsätzlich auf Messwerten (z. B. Pegelaufzeichnungen) sowie hydrologischen Bemessungsverfahren mit sehr hohem Vertrauensgrad.

Das Gefahrenpotenzial einer Stauanlage wird über eine fachgerechte Bemessung, eine dauerhafte Überwachung und Unterhaltung sowie eine permanente Anpassung an die allgemein anerkannten Regeln der Technik, welche während der sehr langen Lebensdauer der Anlagen durchaus eine neue Qualität erreichen können, beherrscht. Gerade in Extremsituationen bestätigt sich die Bedeutung einer steten Überwachung (Sickerwasser- oder Setzungsmessungen) der Anlagenteile sowie der periodischen Funktionskontrolle von Schutz- oder Regeleinrichtungen.

Durch den Klimawandel, der sich z.T. in lokal abgrenzbaren Bereichen durch Extremniederschläge und -Abflüsse (z.B. in den Jahren 2002, 2013, 2021, 2023/24) und/oder regelrechte Dürreperioden (z.B. 2018 und 2019) darstellt, wird ein Konflikt hinsichtlich der Beaufschlagung von Talsperren und die Notwendigkeit der Sicherstellung sämtlicher

Funktionen und Nutzungen sichtbar. Nach dem Elbe-Hochwasser 2002, besonders aber seit dem Ahr-Hochwasser im Jahr 2021 laufen verschiedene Bemühungen, unter Berücksichtigung der Hochwasserereignisse der letzten 25 Jahre in den verschiedenen Flusseinzugsgebieten Deutschlands, diesen Vertrauensgrad zu bestätigen bzw. zu erhöhen (vgl. u. a. [2]). Dabei spielen Gedanken zur Einbeziehung von Worst-case-Szenarien oder die Analyse der Größe und Ausbildung von Überflutungsgebieten über einen sehr großen historischen Zeitraum ebenso eine Rolle, wie die Hinterfragung der Aktualität hydraulischer Bemessungsmethoden oder der Präzision der in Modellen hinterlegten Grundlagen und Daten.

Normen, in Deutschland i. d. R. DIN-Normen, werden spätestens alle fünf Jahre auf ihre Aktualität überprüft. Die 2022 erfolgte Prüfung der DIN 19700 ergab, dass die Norm mit ihren Teilen 10 und 11 (vgl. [1]) grundsätzlich noch dem allgemein anerkannten Stand der Technik entspricht, jedoch einzelne Aspekte zur Berücksichtigung von Speichern im Nebenschluss, zu hydrologischen Grundlagen, zur Klassifizierung oder zu Fragen des verbleibenden Risikos in Zeiten des Klimawandels inhaltlich überarbeitet werden sollten. Mit dieser Überarbeitung wurde im Jahr 2023 begonnen. Im Verlauf dieser Bearbeitungen wurde entschieden, den Teil 12 – Hochwasserrückhaltebecken – ebenfalls mit einzubeziehen. Die DIN 19700 Teil 13 – Staustufen – liegt bereits mit Ausgabedatum 2019-06 in überarbeiteter Form vor.

2 Hochwasserrückhaltebecken – Allgemeines und Grundsätzliches

Hochwasserrückhaltebecken (HRB), im Haupt- oder Nebenschluss betrieben, dienen grundsätzlich dem Hochwasserschutz und stellen einen wesentlichen Anteil des technischen Hochwasserschutzes in den verschiedenen Bundesländern Deutschlands dar. Hochwasserrückhaltebecken sperren im Allgemeinen den Querschnitt eines Wasserlaufes über den ganzen Talquerschnitt ab und entsprechen demzufolge damit auch der Definition einer Talsperre (DIN 4048-1). Das Staubecken eines HRB dient ganz oder teilweise ausschließlich dem vorübergehenden Rückhalt von Hochwasser. Sofern das Becken eines HRB variable Betriebsräume aufweist, ein Dauerstauraum, ggf. größer als der Hochwasserrückhalteraum, oder ein Betriebsraum für die Niedrigwasseraufhöhung vorhanden ist, kann dies definitionsgemäß dazu führen, dass es sich nicht um ein HRB sondern um eine Talsperre handelt. Es wird in gesteuerte und ungesteuerte HRB´s sowie in Becken mit und ohne Dauerstau (als Betriebsraum bzw. als Trockenbecken) unterschieden. Trockenbecken wird in der Gegenwart oft der Vorzug gegeben, um die ökologische Durchgängigkeit weitgehend zu erhalten. Jedoch sollte und könnte hier ein Umdenken erfolgen, da Defizite in der Grundwasseranreicherung, auch infolge stetig zunehmender Oberflächenversiegelung, durch diese

temporären oder dauerhaften Dargebote an Oberflächenwasser in diesen Becken ausgleichsen werden könnten.

3 Nutzung von Talsperren und HRB

Talsperren und HRB werden grundsätzlich von unserer Gesellschaft wertgeschätzt und akzeptiert. Trotz dieser Würdigung durch die breite Öffentlichkeit geraten sie aber von Zeit zu Zeit, oft ausgelöst durch die bereits erwähnten hydrologischen Extremereignisse, immer wieder in die Diskussion und werden dann durchaus differenziert dargestellt. Häufig werden in diesen Diskussionen einzelne konkurrierende Nutzungen hervorgehoben, die besonderen und primären Zwecke der Talsperren in Summe aber kaum oder gar nicht erwähnt.

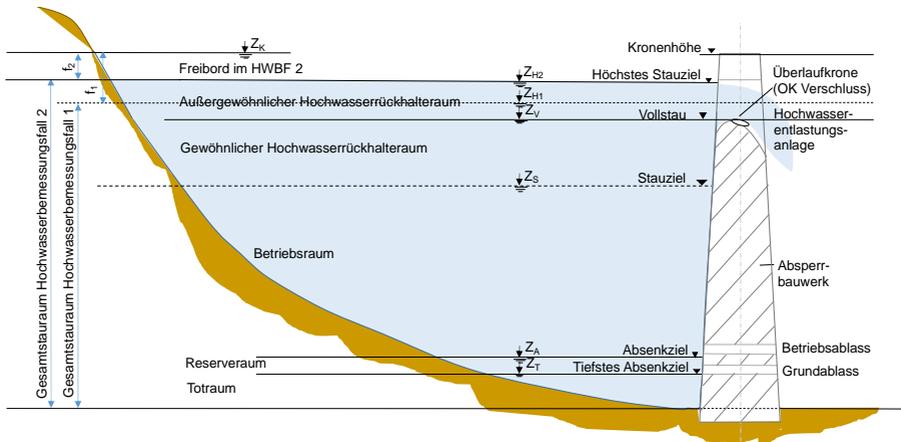


Abb. 1: Speicherraumunterteilung von Talsperren gem. DIN 19700-11:2004-07

Eine Talsperre mit einem großen freigehaltenen Hochwasserschutz- bzw. Hochwasserrückhalteraum (vgl. Abb.) bietet nicht unbedingt lukrative Bedingungen für Tourismus, Freizeit und Erholung, die Wasserkraftnutzung oder die Bereitstellung von Brauchwasser. Nutzungen, die durch ein hohes Stauziel begünstigt werden, z. B. Wasserkraft, Tourismus und Freizeitnutzungen sowie Trinkwassergewinnung, schließen sich teilweise aber auch gegenseitig aus. Obwohl die beiden letztgenannten Nutzungen jeweils beste Wasserqualitäten benötigen, werden touristische bzw. Freizeitnutzungen stets als Gefährdungspotenziale für die Wasserqualität und damit für die öffentliche Wasserversorgung angesehen und aus diesem Grund i. d. R. nicht parallel zur Rohwassergewinnung für die Trinkwasserbereitstellung aus einer Talsperre geduldet.

In Zeiten des Klimawandels, der sich z. T. in lokal abgrenzbaren Bereichen durch Extremniederschläge und -Abflüsse und/oder regelrechten Dürreperioden darstellt, wird ein weiterer Konflikt hinsichtlich der Beaufschlagung von Talsperren in Deutschland sichtbar. Einerseits muss i. d. R. für den Hochwasserschutz eine große Lamelle im Staubecken – ein ausreichend großer Anteil des Stauraums als gewöhnlicher Hochwasserrückhalteraum (vgl. *Abb.*) – freigehalten werden. Andererseits ist der Betreiber einer Stauanlage stets bemüht, in den niederschlagsreichen Monaten jeden Tropfen Wasser in den Stauraum einzuleiten, um so einen möglichst hohen Wasserstand im Staubecken zu erzielen und die Trink- und/oder Brauchwasserbereitstellung unter Berücksichtigung der jahreszeitlichen Schwankungen und der sich ändernden Wasserqualität im Becken sicherstellen zu können.

Deutschland gilt grundsätzlich als ein wasserreiches Land. Basierend auf wissenschaftlichen Studien ist jedoch erwiesen, dass seit Anfang der 90-iger Jahre der Wassernutzungsindex rückläufig ist. Dieser Index stellt einen Parameter zur Beurteilung der Auswirkungen auf die Wasserentnahmen im Vergleich zu den erneuerbaren Wasserressourcen dar. Gegenwärtig liegt er etwa bei 11 % und damit weit unter dem kritischen Wert von 20 %, der sog. Wasserstress darstellen würde. Infolge der Klimaänderung hat sich in der gleichen Zeit jedoch in Deutschland ein Verlust an Wasser eingestellt, der als Defizit im Vergleich des Niederschlags und der Zuflüsse zur Verdunstung und den Abflüssen bei gegebenem Verbrauch ausgedrückt werden kann. In der Tat fehlen in Deutschland ca. 15 Mrd. m³ Wasser. Die Bevölkerung nimmt dies aber nur teilweise oder gar nicht an den Oberflächengewässern wahr. In der Hauptsache tritt dieser Verlust im zum Teil extremen Absinken der Grundwasserstände zutage und ist damit für die Bevölkerung nicht sichtbar.

Die regionalen Unterschiede des Wasserdargebotes in Deutschland sind bekannt. Sie können durch Talsperren und angeschlossene Verteilersysteme ausgeglichen werden. Gegenwärtig werden ca. 10 % der Bevölkerung Deutschlands mit aufbereitetem Wasser aus Talsperren versorgt. Dafür werden jährlich rund 570 Mio. m³ Wasser bereitgestellt. Prognostisch gesehen wird durch größere Bedarfe und Einschnitte infolge der Klimaänderung, des Bevölkerungswachstums, der Nahrungsmittelproduktion usw., eine größere Nachfrage entstehen. Die Talsperrenbetreiber und Wasserversorger sind sich dessen bewusst und formulieren durchaus den Bedarf an weiteren Talsperren in Deutschland.

4 Überwachung von Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken

Für wasserbauliche Anlagen ist in Deutschland grundsätzlich das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) gültig und regelt unter Berücksichtigung der Landeswassergesetze in

den einzelnen Bundesländern die Überwachung der Stauanlagen in Abhängigkeit von ihrer Größe und speziellen Klassenkriterien.

Für Stauanlagen in Deutschland ist im Teil 10 der DIN 19700 - Gemeinsame Festlegungen festgeschrieben, dass die Überwachung unter Sicherheitsaspekten während ihrer gesamten Nutzungsdauer erforderlich ist. Sie umfasst:

- Messungen und Beobachtungen und deren Auswertungen in engen zeitlichen Abständen,
- regelmäßige, i. d. R. jährliche Sicherheitsberichte sowie
- Vertiefte, betreiberunabhängige Überprüfungen in angemessenen Zeitabständen (10 bis 15 Jahre, mindestens aber 20 Jahre) sowie ggf. nach außergewöhnlichen Ereignissen.

Für die Talsperren ist in der Norm Folgendes geregelt:

- Die Gebrauchstauglichkeit und die Funktionsfähigkeit der Betriebseinrichtungen der Talsperre sind i. d. R. unter Betriebsbedingungen nach einem vorgegebenen Zeitraum, der in der für die einzelne Anlage zutreffenden Betriebsvorschrift vorgegeben wird, zu überprüfen. Diese Überprüfungen schließen insbesondere Funktionsprüfungen an Verschlüssen, Armaturen, Antrieben sowie Mess-, Steuer- und/oder Regelanlagen mit ein.
- Dickemessungen an Rohrwandungen, Messungen von Fließgeschwindigkeiten sowie Druck- und Schwingungsmessungen infolge Erschütterung oder Kavitation in und an Rohrleitungen werden bei Erfordernis ebenso erwähnt, wie die Überprüfung der Belüftung von Kontrollgängen, Stollen, Schächten oder Schieberkammern.
- Die statischen, hydrologischen und hydraulischen Bemessungsgrundlagen der Talsperre sowie die Vorgaben für den Betrieb der Anlage sowie das Überwachungsprinzip sind im Rahmen der Vertieften Überprüfung zu kontrollieren und in Berichtsform zu dokumentieren.

Für die Erstellung von Sicherheitsberichten an Talsperren wurde 1995 vom Deutschen Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK) das Merkblatt M-231 [3] herausgegeben. Dieses Merkblatt wird durch das Merkblatt DWA-M 516 [4] ersetzt werden, welches unter Federführung des DWA-Fachausschusses WW-4 „Stauanlagen und Hochwasserschutzanlagen“, einem gemeinsamen Fachausschuss mit der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT) sowie dem Deutschen Talsperren-Komitee (DTK), erarbeitet wurde.

Allen Beteiligten (z. B. Betreibern, mit Planungen und Gutachtenerstellung befassten Fachleuten sowie Personen von Aufsichtsbehörden) wird im Rahmen der Erstellung

von Sicherheitsberichten und der Ausführung und Dokumentation der Vertieften Überprüfung empfohlen, sich an den Hinweisen und Regelungen in DWA-M 516 für die zu erstellenden Unterlagen zu orientieren. Im Merkblatt wird auf die unterschiedliche Überprüftiefe und den unterschiedlichen Überprüfungsumfang für die Stauanlagen gemäß der Normenreihe eingegangen.

Im Rahmen der Vertieften Überprüfung werden u. a. die nachfolgenden sicherheitsrelevanten Themen behandelt:

- Zuverlässigkeit der Absperr- und Einzelbauwerke hinsichtlich der Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit,
- Baulicher Zustand der Absperr- und Einzelbauwerke,
- Hochwassersicherheit,
- Zustand und Beschaffenheit des Stauraumes einschließlich der Hangausbildung,
- Umfang und Ausstattung der Bauüberwachung einschließlich der Bewertung der Messtechnik sowie dokumentierter Überwachungsergebnisse,
- Inhalt, Umfang und Zustand der Dokumentationen zur Talsperre.

Die hydrologischen und hydraulischen Bemessungsgrundlagen sind auf Aktualität zu überprüfen und anhand von vorhandenen Messungen und mit Hilfe der aktuellen Simulationsverfahren zu kontrollieren. Bei Notwendigkeit sind die Bemessungsgrundlagen bzw. Bemessungshochwasserabflüsse (BHQ1, BHQ2, (BHQ3)) anzupassen. Es ist weiterhin zu prüfen und nachzuweisen, dass der Beckenraum/Retentionsraum im Zusammenhang mit den Festlegungen für das gewöhnliche und/oder außergewöhnliche Hochwasserstauziel die betrieblichen Auflagen sowie die zukünftigen Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit und den Hochwasserschutz erfüllen. Durch hydraulische Berechnungen ist aufzuzeigen, dass die Betriebseinrichtungen das erforderliche Abflussvermögen aufweisen und dass der empfohlene Freibord je nach Bemessungsfall eingehalten wird.

Die gewonnenen Erkenntnisse über die verschiedenen Einwirkungen und Widerstände an Bauwerksteilen einer Talsperre oder eines Hochwasserrückhaltebeckens sind mit den vorhandenen Betriebsvorschriften abzugleichen.

5 Resümee

Neben der Überwachung und Gewährleistung der Gebrauchstauglichkeit, Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit einer Talsperre stellen auch die verschiedenen Nutzungen hohe Ansprüche an die Bewirtschaftung des Wassers im Staubecken sowie die Kontrolle von Qualitätsparametern.

Unter Berücksichtigung der Auswirkungen aus dem Klimawandel stellt die Bewirtschaftung des Wasserkörpers in Stauanlagen die dominierende Aufgabe für die Betreiber dar. In diesem Zusammenhang sind aber auch limnologische Untersuchungen und Analysen des Wassers im Stauraum sowie in den Zu- und Ablaufbereichen von besonderer Bedeutung.

Abschließend soll noch bemerkt werden, dass es heutzutage nicht mehr ausreichend ist, sich nur mit der Sicherheit im Sinne von „safety“, der Gewährung der Betriebssicherheit bzw. dem Schutz der Menschen vor einem physischen Schaden, zu beschäftigen. Stetig rücken Fragen und Ansprüche hinsichtlich der Informationssicherheit sowie der Schutz von Daten („security“) in den Fokus. Es muss sicher nicht weiter ausgeführt werden, dass Defizite in diesem Bereich beim Aufkommen neuer Schwachstellen sofort zu einer Gefährdung führen können. Somit ist es für einen sicheren Betrieb der Talsperren und HWR in Deutschland in der Zukunft unvermeidbar und zwingend notwendig, beide Sicherheitswelten in eine Gesamtbetrachtung zu integrieren.

6 Literaturangaben

DIN 19700: 2004-07. Stauanlagen - Teil 10: Gemeinsame Festlegungen, - Teil 11: Talsperren, - Teil 12: Hochwasserrückhaltebecken, - Teil 14: Pumpspeicherbecken, - Teil 15: Sedimentationsbecken. DIN-Media. 2004

Schumann, A.H., Fischer, S.: Sind Bemessungsabflüsse nach dem Kleeberg/Schumann-Verfahren noch zu begründen?, WasserWirtschaft 10/2023, <http://doi.org/10.1007/s35147-023-1908-1>

DVWK-M 231/1995. (1995). Sicherheitsbericht Talsperren-Leitfaden. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V.

DWA-M 516. (2023). Leitfaden zur Erstellung des Sicherheitsberichts und zur Durchführung der Vertieften Überprüfung von Stauanlagen - Entwurf Oktober 2023

TALSPERREN II

TALSPERREN IM WANDEL DER ZEIT

Svenja Kemper, Mareike Lewe un Andreas Schlenkhoff

Kurzfassung

Otto Intze, Bauingenieur und Professor in Aachen, war Ende des 19. Jahrhunderts maßgeblich für den Beginn des Talsperrenbaus in Nordrhein-Westfalen verantwortlich. Die ältesten Talsperren in NRW – Bruchsteinmauern nach den Vorgaben von Intze erbaut, sind heute über 100 Jahre alt. Im Laufe des 20. Jahrhunderts wurden aufgrund neuer Entwicklungen Talsperren als Staudämme mit Innen- oder Oberflächendichtung gebaut. Die wasserwirtschaftlichen Aufgaben sind im Grundsatz die gleichen geblieben, jedoch gibt es Verschiebungen in den einzelnen Nutzungen. Der Sommerhochwasserschutz gewinnt beispielsweise, auch bedingt durch den Klimawandel, zunehmend an Bedeutung. Zur Abschätzung der Wirksamkeit von Talsperren – auch im Hinblick auf die Entwicklung nachhaltiger wasserwirtschaftlicher Konzepte, soll exemplarisch das Verhältnis von (akkumuliertem) Stauvolumen bei Vollstau der Talsperre zum Gesamteinzugsgebiet eines betrachteten Standortes herangezogen werden.

Schlüsselwörter

Otto Intze, Eschbachtalsperre, Wasserwerk, Hochwasser, Dürre

1 Einleitung

Die ältesten Talsperren in Nordrhein-Westfalen – erbaut nach den Vorgaben des Ingenieurs Prof. Dr. Otto Intze als gekrümmte Bruchsteinmauern – sind über 100 Jahre alt – und bis auf wenige Ausnahmen erfüllen sie nach wie vor ihre ursprünglichen wasserwirtschaftlichen Aufgaben. Im Laufe der Zeit haben sich die klimatischen, wasserwirtschaftlichen und gesellschaftlichen Randbedingungen stark verändert. Genau wie Intze vor über 100 Jahren steht die Wasserwirtschaft heute wieder vor großen Herausforderungen, geeignete und nachhaltige Konzepte für ein wasserwirtschaftliches Gesamtkonzept zu entwickeln.

2 Otto Intze und die Entwicklung des Talsperrenbaus in Deutschland

Otto Intze, geboren am 17. Mai 1842 in Laage in Mecklenburg-Vorpommern, war Bauingenieur und ab 1870 (Gründungs-)Professor an der Königlichen Rheinisch-Westfälischen Polytechnischen Schule zu Aachen. Intze konnte nicht nur technische Fragen innovativ lösen, sondern entwickelte während einer wichtigen industriellen

Entwicklungsphase Ende des 19. Jahrhunderts Gesamtlösungen für die dringend benötigte Wasserversorgung im Sommer. Für diese Lösungskonzepte konnte er die Verantwortlichen aus der Industrie begeistern und die Kommunen und die Regierung von der Tragfähigkeit überzeugen. Er prägte maßgeblich mit seinen Konstruktionsgrundsätzen den Bau von Wasserbehältern/Wassertürmen (siehe Abbildung 1, links) und Talsperren als gekrümmte Gewichtsstaumauern (siehe Abbildung 1, rechts) und trug wesentlich zur Verbesserung der gesamten Wasserwirtschaft bei [1]. Ende des 19. Jahrhunderts wurde Intze nach vergangenen Dürrejahre und Problemen mit der Trinkwasserversorgung mit der Durchführung von Voruntersuchungen für den Bau einer Trinkwasser-Talsperre im Eschbachtal in Remscheid betraut. Am 14. November 1891 wurde die Eschbachtalsperre als erste Trinkwasser-Talsperre Deutschlands und älteste Talsperre in Nordrhein-Westfalen fertiggestellt und in Betrieb genommen (siehe Abbildung 1, rechts) [2]. In den folgenden Jahren baute Intze Talsperren unter anderem an der Ruhr, Wupper und Rur sowie in Schlesien und Böhmen, entwickelte gesamtwasserwirtschaftliche Konzepte in der Provinz Ostpreußen und Schlesien sowie eigene Rezepturen für Baumaterialien für den Bau von Bruchsteinmauern. Otto Intze wurde neben zahlreichen weiteren Auszeichnungen 1893 zum Ehrenbürger von Remscheid ernannt [1].



Abb. 1: Wasserturm nach Intze in Remscheid (links), Eschbachtalsperre (rechts)

Intze war außerdem Ende des 19. Jahrhunderts Initiator eines Zwangsgesetzes zur Gründung von Wassergenossenschaften, um die Ausführung von Talsperren zu ermöglichen und die Wasserkräfte besser nutzen zu können [3]. Im Jahre 1896 wurde daraufhin u.a. die „Genossenschaft zur Errichtung von Thalsperren“ im Wuppereinzugsgebiet gegründet sowie 1899 als privatrechtlicher Verein der Ruhrtalsperrenverein [4], [5]. Um die Jahrhundertwende wurden allein in Nordrhein-

Westfalen mehr als 25 Gewichtsstaumauern von Intze geplant und gebaut [4], [5]. Danach etablierten sich aufgrund neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse auf dem Gebiet der Bodenmechanik und durch die Weiterentwicklung der Bautechnik und der Baumaschinentechnik kostengünstigere, weniger aufwendige Bauweisen für den Bau von Talsperren. Staudämme mit einer Innendichtung aus Erdstoffen, Beton oder später Asphaltbeton oder mit einer Asphalt-Oberflächendichtung konnten kostengünstiger als die handarbeitsintensiven Bruchsteinmauern gebaut werden [6].

Ab ca. 1980 wurde die Sanierung der gekrümmten Gewichtsstaumauern nach Intze notwendig. Die Mauern wurden mehr oder weniger vom Stauwasser durchströmt und unterströmt, wodurch die Mauern unter Auftrieb gesetzt wurden. Die Standsicherheit und Gebrauchssicherheit standen somit im Vordergrund der Sanierungsmaßnahmen [7]. Der Auftrieb wurde damals erst bei Talsperren ab ca. 1913 berücksichtigt [6]. Die Überarbeitung der DIN 19700-11 im Jahr 2004 [8] beinhaltete ein neues Sicherheitskonzept für Talsperren, wodurch weitere Sanierungsmaßnahmen an vielen Talsperren notwendig wurden, u.a. Neubewertung/Nachrüstung der Talsperren hinsichtlich der Erdbebensicherheit, zweiter Grundablass, Nachweis der neu eingeführten Hochwasserbemessungsfälle HWBF1 und HWBF2.

Die Wupper-Talsperre (Steinschüttdamm mit Asphaltbetoninnendichtung) wurde zwischen 1982 und 1987 als eine der letzten Brauchwasser-Talsperren in NRW gebaut [4]. Die jüngste Talsperre in Deutschland ist die Trinkwasser-Talsperre Leibis/Lichte (Gewichtsstaumauer), welche 2005 erstmals voll eingestaut wurde [6].

3 Talsperrenbetrieb im Wandel: Woher kommen wir, wo stehen wir heute?

Wesentliche Funktionen von Talsperren sind heute, genau wie Ende des 19. Jahrhunderts, die Wasserversorgung mit Trink- und Brauchwasser, der Hochwasserschutz, die Niedrigwasseraufhöhung, die Nutzung der Wasserkraft sowie die Freizeitnutzung. Mit Beginn des Talsperrenbaus und der Gründung der Wassergenossenschaften/der Wasserverbände können, z.B. im Einzugsgebiet der Ruhr zum Teil stark ansteigende Entnahmemengen für die Trink- und Brauchwassernutzung verzeichnet werden. Mit dem Wirtschaftswachstum werden in den 1960er Jahren die höchsten jährlichen Entnahmemengen erreicht. In der Folge ist bis heute eine Abnahme der Trinkwasser- und Brauchwassernutzung zu verzeichnen [11]. Gründe hierfür sind z.B. ein geringerer Kühlwasserbedarf oder ein gesunkener industrieller Wasserverbrauch. Durch die Verschiebung der benötigten Trink- und Brauchwassermengen steht im Betrieb mehr Wasser für die Niedrigwasseraufhöhung und die ökologische Entwicklung zur Verfügung, auch der Hochwasserschutz gewinnt über die Zeit an Bedeutung – vorrangig aber der Winterhochwasserschutz. Die Wasserkraft rückt eher in den Hintergrund und

stellt eine Nebennutzung dar. Die Freizeitnutzung von Talsperrenanlagen gewann in der Nachkriegszeit immer mehr an Bedeutung, beispielsweise der Badebetrieb an der Möhnetalsperre [10].

Häufig findet früher wie heute eine multifunktionale Bewirtschaftung der Talsperren statt, wodurch es zu Nutzungskonflikten kommt: für die Trink- und Brauchwassernutzung sowie Niedrigwasseraufhöhung des Unterlaufs in Trockenperioden sind die Talsperren möglichst voll vorzuhalten, zur Sicherstellung des Hochwasserschutzes wird jedoch freier Stauraum benötigt, die Talsperre sollte also möglichst leer sein. In den vergangenen Jahrzehnten war es üblich und in den Bewirtschaftungsplänen festgesetzt, dass in den Wintermonaten bei den Brauchwassertalsperren für Hochwasser ein ausgewiesener Hochwasserschutzraum vorzuhalten ist und im Sommer, in der die Wasserversorgung im Vordergrund steht, die Talsperren möglichst voll zu bewirtschaften sind.

Nach dem sechsten IPCC Sachstandsbericht wird die Häufigkeit und Intensität von Klima- und Wetterextremen, u.a. Dürre und Starkniederschlagsereignisse, v. a. in den Sommermonaten jedoch weiter zunehmen [12]. Daher wird es zukünftig zu stärker variierenden Füllständen im Jahresverlauf kommen, die Trockenperioden im Sommer werden länger ausfallen, zusätzlich werden aber auch Starkregenereignisse im Sommer häufiger. Auch die Erwärmung stellt eine erhöhte Belastung für die Talsperren insbesondere im Hinblick auf die Gewässergüte dar. In einem Positionspapier fordern die Wasserverbände in NRW daher Maßnahmen zur Erhöhung der Klimaresilienz der Talsperren. Gefordert wird die Möglichkeit einer möglichst flexiblen Steuerung der Talsperren durch die Betreiber sowie eine weitere Verbesserung der Prognosewerkzeuge, um möglichst früh auf bevorstehende Ereignisse reagieren zu können. Dafür müssen Talsperrenbetriebspläne fortgeschrieben und in kürzeren Zeitabständen angepasst werden [13]. Insbesondere der Sommerhochwasserschutz gewinnt an Bedeutung, welcher bisher nicht prioritär berücksichtigt wurde, aber auch Fragestellungen wie z.B. eine situationsangepasste Niedrigwasseraufhöhung spielen eine Rolle.

4 Brauchen wir (neue) Talsperren?

Das Wasserwerk Eschbachtal wurde im Jahr 2004 geschlossen, da die Trinkwasserversorgung Remscheids ausschließlich durch die Große Dhünntalsperre gewährleistet werden konnte und die Technik des Wasserwerks Eschbachtal nicht mehr dem Stand der Technik entsprach. Unterdurchschnittliche Niederschlagsmengen und langanhaltende Trockenperioden, führten dazu, dass die Reaktivierung des Wasserwerks Eschbachtal im Jahr 2020 beschlossen wurde, um zukünftig eine sichere Trinkwasserversorgung in Remscheid zu gewährleisten [14]. Auch in anderen

Regionen Deutschlands steht die Wasserversorgung wieder vor großen Herausforderungen. Für eine langfristige Sicherstellung der Trinkwasserversorgung bei zunehmenden langanhaltenden Trockenperioden, wie zuletzt in den Jahren 2018, 2019 und 2022, wird aktuell der Neubau von Trinkwasser-Talsperren zum Beispiel im Harz oder in Siegen-Wittgenstein geprüft [15], [16].

Die Starkniederschlagsereignisse im Juli 2021 im Westen Deutschlands, welche zu teils katastrophalen Überschwemmungen führten, haben zum einen gezeigt, dass Talsperren für den Hochwasserschutz dringend benötigt werden, aber auch die „Schwachstellen“ der aktuell gültigen Bewirtschaftungsvorgaben dargelegt – fehlender Hochwasserschutzraum im Sommer sowie fehlende Möglichkeit der flexiblen Steuerung der Talsperren. Durch den Rückhalt in Talsperren konnten während des Hochwasserereignisses Schäden u. a. im Bergischen Land reduziert werden – auch wenn deutlich geworden ist, dass Talsperren ein extremes Hochwasser niemals völlig verhindern können [4]. Zur besseren Darstellung der Wirkung von Talsperren bei Hochwasser bzw. für die Niedrigwasseraufhöhung soll exemplarisch das Verhältnis von (akkumuliertem) Stauvolumen bei Vollstau der Talsperre zum Gesamteinzugsgebiet eines betrachteten Standortes herangezogen werden:

$$\eta_{TSP} = \frac{\sum V}{\sum EZG} \text{ [m]}$$

mit $\sum V$ = (akkumuliertes) Stauvolumen bei Vollstau [m^3] und $\sum EZG$ = gesamtes Einzugsgebiet des ausgewerteten Standorts [m^2]. Die Kennzahl lässt eine einfache und allgemeinverständliche Abschätzung der Wirkung der Talsperren für den Hochwasserschutz und die Niedrigwasseraufhöhung für die unterhalb einer Talsperre gelegenen Einzugsgebiete zu. Je größer die Kennzahl (dunkle Färbung), desto höher ist die Wirkung der Talsperre – vorausgesetzt, Volumen steht für den Rückhalt in der Talsperre zur Verfügung. Für alle in NRW ausgewertete Einzugsgebiete gilt: $0 < \eta_{TSP} \leq 1,4533$ (Versetalsperre). In Abbildung 2 ist diese Kennzahl beispielhaft für verschiedene Talsperren und Pegelstandorte im Einzugsgebiet der Wupper und der Ruhr ausgewertet. Zu erkennen ist, dass im Wuppereinzugsgebiet insbesondere die Große Dhüntalsperre, aber auch die Wuppertalsperre potentiell eine große Wirkung auf das Unterwasser ausüben können. Die Wirkung nimmt mit wachsendem Einzugsgebiet kontinuierlich ab.

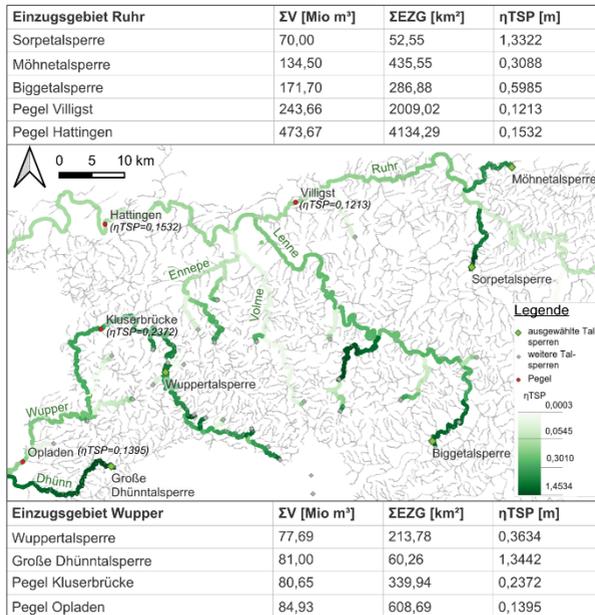


Abb. 2: Kennzahl zur Abschätzung der Wirkung von Talsperren [Kartengrundlage: GSK3E NRW, Stammdaten der Talsperren: www.elwasweb.nrw.de]

5 Zusammenfassung und Ausblick

Der Beginn des Talsperrenbaus war eine Folge vergangener Hochwasser und langanhaltender Trockenperioden, wodurch die Notwendigkeit bestand, eine Bewirtschaftung der Wassermengen vorzunehmen und eine ausreichende Wasserversorgung über das gesamte Jahr sicherzustellen. Nach Vorgaben von Otto Intze wurden allein in NRW um 1900 mehr als 25 Staumauern gebaut, welche heute noch betrieben werden und vorrangig der Trinkwasser- und Brauchwassernutzung, dem Hochwasserschutz sowie der Niedrigwasserhöhung dienen. Zur Erstellung von Konzepten einer an den Klimawandel angepassten Wasserwirtschaft stellt sich die Frage, wieviel Speicherkapazität durch Talsperren zukünftig gebraucht wird, wie eine verbesserte Speichernutzung erreicht werden kann und wie dies in einem gesellschaftlichen Abwägungsprozess einfach und verständlich kommuniziert werden kann – z. B. anhand der dargestellten Kennzahl η_{TSP} . Zu diskutieren ist, ob eine Optimierung der betrieblichen Nutzung, z.B. mittels KI zielführend ist, eine Vergrößerung des bewirtschaftbaren Volumens z.B. durch Erhöhung der Talsperren möglich ist oder, wie schon zu Zeiten Intzes, Talsperren neu gebaut werden müssen.

6 Literaturverzeichnis

- [1] Borchers, W.: Otto Intze – Gedächtnisrede, gehalten am 11. Januar 1905 in der Aula der königlichen technischen Hochschule zu Aachen.
- [2] EWR: Die Geschichte der Eschbachtalsperre, EWR GmbH, Remscheid.
- [3] Intze, O.: Die geschichtliche Entwicklung, die Zwecke und der Bau der Talsperren, Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH, 1906.
- [4] Wupperverband, Wuppertal. Website: <https://www.wupperverband.de>.
- [5] Reißler, P.: Prof. Dr.-Ing. Otto Intze und die Entwicklung der Talsperrenwirtschaft im Ruhrgebiet, in: Die Entwicklung der Wasserwirtschaft im Ruhrgebiet - Beiträge der 20. Fachtagung der Deutschen Wasserhistorischen Gesellschaft (DWhG) e. V. in Essen, Hrsg. C. Ohlig, Siegburg, 2012.
- [6] Bettzieche, V.: 100 Jahre technische Entwicklung des Talsperrenbaus in Deutschland, WasserWirtschaft 100 (2010), Heft 1-2, S. 67-72.
- [7] Salveter, G.: Sanierung von Staumauern aus Bruchsteinmauerwerk, Beitrag zum 11. Deutschen Talsperrensposium, Bonn, 1995.
- [8] DIN 19700-11: Stauanlagen – Teil 11: Talsperren, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, 2004.
- [9] Ruhrverband: Ruhrgütebericht 2013, Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke an der Ruhr und Ruhrverband, Essen.
- [10] Ruhrverband: Ruhrwassermenge 2023, Ruhrverband, Essen.
- [11] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): Climate Change 2023: Synthesis Report. Genf, Schweiz, 2023.
- [12] Arbeitsgemeinschaft der Wasserwirtschaftsverbände NRW (agw): Wasserverbände in Nordrhein-Westfalen befürworten Maßnahmen zur Erhöhung der Klimaresilienz der Talsperren. Positionspapier. März 2022.
- [13] EWR: Reaktivierung des Wasserwerks Eschbachtal startet im Januar 2024, Pressemitteilung, Dezember 2023, Remscheid.
- [14] Kreis Siegen-Wittgenstein, Siegen: <https://www.siegen-wittgenstein.de/Kreisverwaltung/Themen-und-Projekte/Neue-Trinkwassertalsperre/>
Harzwasserwerke, Hildesheim: <https://www.harzwasserwerke.de/infoservice/energie-und-wasserspeicher-harz/>

TALSPERRENBEWIRTSCHAFTUNG BEIM RUHRVERBAND IM SPANNUNGSFELD VON HOCH- UND NIEDRIGWASSER

Anne Becker, Fabian Netzel un Georg zur Strassen

Kurzfassung

Der Ruhrverband betreibt primär zur Wasserversorgung und zum Hochwasserschutz ein Talsperrenverbundsystem, wobei in Bezug auf den erforderlichen Füllstand in den Talsperren ein erheblicher Zielkonflikt zwischen den beiden primären Bewirtschaftungszielen besteht. Mit fortschreitendem Klimawandel ist eine Intensivierung des Zielkonflikts zu erwarten. Zum Erhalt und zur Steigerung der Klimaresilienz des Talsperrenverbundsystems erfolgt dessen Bewirtschaftung unter folgenden drei Aspekten: (1) Zur Steigerung der Klimaresilienz wurden die gesetzlich vorgeschriebenen Mindestabflüsse der Ruhr reduziert, was sich sowohl positiv auf das Niedrigwasser- als auch Hochwassermanagement auswirkt. (2) Das Talsperrenverbundsystem des Ruhrverbands unterliegt vergleichsweise wenigen rechtlich fixierten Bewirtschaftungsregeln, was eine flexible und damit resiliente Bewirtschaftung ermöglicht. (3) Verbesserungen in der Datenerfassung und -verarbeitung ermöglichen eine vorausschauendere Bewirtschaftung.

Schlüsselwörter

Talsperrenbewirtschaftung, Hochwasser, Niedrigwasser, Klimaresilienz, Verbundsystem, Wasserversorgung

1 Das Talsperrenverbundsystem des Ruhrverbands und seine Aufgaben

Der Ruhrverband betreibt im Ruhreinzugsgebiet ein aus acht Talsperren bestehendes Talsperrenverbundsystem, welches seit vollständiger wassermengenwirtschaftlicher Verfügbarkeit der Biggetalsperre im Jahr 1968 ein Gesamtstauvolumen von 462,89 Mio. m³ umfasst. Das Verbundsystem wurde ab dem Jahr 1899 mit dem Ziel errichtet, das aus der Ruhr schädlich entzogene Wasser zu ersetzen und damit die Trink- und Brauchwasserversorgung des Ruhrgebiets zu ermöglichen.

Die acht Multifunktionsspeicher dienen auch heute noch unter Berücksichtigung der in den jeweiligen talsperrenspezifischen Genehmigungsbescheiden vorgegebenen Mindest- und Maximalabgaben primär den Zwecken der überregionalen Wasserversorgung durch Einhaltung gesetzlich oder in einer Plangenehmigung vorgeschriebener Mindestabflüsse in der Ruhr, der regionalen Trinkwasserversorgung durch Direktentnahmen aus den Talsperren sowie dem Hochwasserschutz. Als zusätzliche, jedoch den primären Bewirtschaftungszielen nachgeordnete Aufgaben

sind die Erzeugung von Wasserkraft und die Freizeitnutzung auf und an den Talsperren zu nennen. Zwischen den primären Bewirtschaftungszielen, der Gewährleistung einer vorgeschriebenen Mindestwasserführung und regionale Trinkwasserversorgung einerseits sowie dem Hochwasserschutz andererseits besteht ein erheblicher Zielkonflikt in Bezug auf den erforderlichen Füllstand in den Talsperren.

2 Randbedingungen im Hoch- und Niedrigwassermanagement

Die Summe aller Talsperreneinzugsgebiete beträgt 23 % des gesamten Ruhreinzugsgebietes. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass der Abfluss aus 77 % des Ruhreinzugsgebietes nicht durch Talsperren beeinflusst werden kann (Abb. 1.).

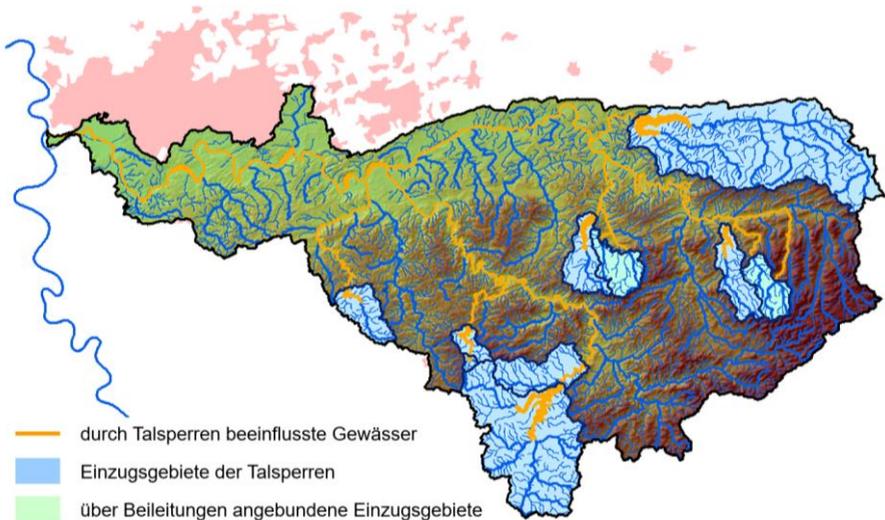


Abb. 1: Einzugsgebiet der Ruhr und der Talsperren sowie durch Talsperren beeinflusste Gewässer

Das Maß der Beeinflussung durch Talsperren nimmt mit steigendem natürlichem Abfluss und steigender Entfernung zu den Talsperren ab. Bei Niedrigwasser weist der rechnerisch ermittelte Abfluss ohne Talsperren im Bereich der mittleren Ruhr (Pegel Villigst) häufiger als an der Mündung Werte um $0 \text{ m}^3/\text{s}$ oder sogar darunter auf. Dies bedeutet, dass ohne Talsperren die Ruhr trockenfallen würde. Das Maß der Beeinflussung beträgt damit nahe 100 %. Bei Hochwasser hingegen ist ein solches Maß der Beeinflussung aufgrund des in Abb. 1 dargestellten Einzugsgebietsanteils der Talsperren am Gesamteinzugsgebiet bei weitem nicht möglich. Es verringert sich je nach

räumlicher Verteilung der Hochwasser bildenden Niederschläge auf eine Größenordnung, die etwa in der Größenordnung des Anteils der Talsperreneinzugsgebiete am Gesamteinzugsgebiet liegt.

In abflussarmen Zeiten stellen sich als Konsequenz der Gewährleistung eines Mindestabflusses in der Ruhr sowie der Trinkwasserversorgung aufgrund negativer Stauinhaltsgradienten fallende Füllstände ein, da die notwendige Abgabe den Zufluss übersteigt. Im Falle von Hochwasserereignissen übersteigt der Zufluss die Abgabe von Talsperren auch bei in Betrieb befindlicher Hochwasserentlastungsanlage (See- retention) [1]. Damit haben Talsperren bei Hochwasserereignissen immer eine abflussmindernde Wirkung auf die unterhalb der Talsperren befindlichen Gewässerabschnitte. Das Maß der Abflussminderung ändert sich im Falle von Hochwasser mit der Zeit insbesondere in Abhängigkeit der Zuflussganglinie. Daher sind in Bezug auf Hochwasserschutzwirkungen durch Talsperren das zu Beginn des Hochwasserereignisses zur Verfügung stehende Volumen zur Aufnahme von Hochwasser und der Faktor Zeit bedeutsam. Während zur Wasserbereitstellung ein möglichst hoher Füllstand in den Talsperren die Wasserversorgung sichert, sichert ein möglichst niedriger Füllstand in den Talsperren die maximal mögliche Hochwasserschutzwirkung durch Talsperren unabhängig von der Zeit. Dabei muss betont werden, dass Hochwasserereignisse durch Talsperren zwar gemindert, aber nicht verhindert werden können.

3 Resiliente Talsperrenbewirtschaftung

Resilienz wird als Fähigkeit eines Systems definiert, Veränderungen zu absorbieren und sich während der Veränderungen unter Beibehaltung derselben Funktionen, Strukturen und Wechselwirkungen neu zu organisieren [2]. Im Zuge des Klimawandels können Trockenheit und Hochwasserereignisse in Anzahl, Dauer und Intensität zunehmen [3, 4]. Die Zunahme der Extreme wirkt sich bei der Talsperrenbewirtschaftung auf den Zielkonflikt Hoch- und Niedrigwassermanagement aus. Um dahingehend die Resilienz der Talsperrenbewirtschaftung zu verbessern, sind Anpassung, Transformation und Widerstandsfähigkeit zentrale Aspekte [2].

3.1 Erhöhung der Resilienz des Talsperrenverbundsystems durch Anpassung gesetzlicher Randbedingungen

In den Jahren 1913 bis 1990 hatte das Talsperrenverbundsystem die gesetzliche Aufgabe, das aus der Ruhr schädlich entzogene Wasser zu ersetzen. Im Jahr 1990 wurde diese Aufgabe dahingehend geändert, einen Mindestabfluss am Pegel Villigst/Ruhr und auf der Gewässerstrecke vom Pegel Hattingen bis zur Ruhrmündung zu gewährleisten. Am 4. Dezember 2024 wurde ein Gesetz zur Änderung des Ruhrverbandsgesetzes im Landtag NRW verabschiedet, in welchem für die Monate

Juli bis März des Folgejahres eine Reduzierung der Mindestabflüsse beschlossen wurde. Durch die Reduzierung der Mindestabflüsse wird der Abstaugradient reduziert und zeitgleich die Resilienz des Talsperrensystems in Bezug auf den Hochwasserschutz verstärkt, da z.B. bei Vorentlastungen (Erhöhung des freien Stauraums vor Hochwasserereignissen durch höhere Wasserabgaben) ein schnellerer anschließender Wiedereinstau ermöglicht wird. Zudem können Freiräume sowie Hochwasserschutzräume bestehen bleiben, ohne das Risiko eines Versagens der Wasserversorgung zu erhöhen.

3.2 Resilienz durch Flexibilität in der operationellen Talsperrensteuerung

Die Bewirtschaftung des Talsperrenverbundsystems unterliegt seit jeher einem ständigen Wandel wie z.B. Veränderungen bei dem Wasserbedarf, der Wasserverwendung, dem Wasservolumen, den gesetzlichen Randbedingungen, den Ansprüchen an die Talsperrenbewirtschaftung, den klimatischen Verhältnissen u.v.m. Die Funktionen des Talsperrenverbundsystems, d.h. Wasserversorgung, Hochwasserschutz, Energieerzeugung usw., blieben dabei auch in anspruchsvollen Situationen (z.B. Weltkriege, steigender Wasserbedarf während Wirtschaftswunder, trockene Jahre u.a. 1959, 1972-1976, 1996, 2016-2022, verschiedene Hochwasserereignisse) erhalten. Die Talsperrenbewirtschaftung unterlag dabei stetigen Änderungen und Anpassungen und konnte resilient auf die Veränderungen reagieren.

Eine hervorzuhebende grundlegende Eigenschaft, um ein hohes Maß an Anpassungs-, Transformations- und Widerstandsfähigkeit zu ermöglichen, ist dabei Flexibilität. Die Bewirtschaftung des Talsperrenverbundsystems des Ruhrverbands unterliegt vergleichsweise wenigen rechtlich fixierten Regelungen aus gesetzlichen Vorgaben oder Plangenehmigungsbescheiden. Mit Ausnahme der Trinkwassertalsperren Ennepe-, Verse- und Fürwiggetalsperre gibt es an den übrigen Talsperren des Ruhrverbands keine festgelegten Bewirtschaftungs-/Lamellenpläne, sondern Vorgaben für minimale und maximale Abgaben und je nach Talsperre Hochwasserschutzräume im hydrologischen Winterhalbjahr.

Die Talsperrensteuerung des Talsperrenverbundsystems, d.h. die Festlegungen von Talsperrenabgaben, erfolgt beim Ruhrverband täglich zentral am Betriebsstandort Essen. Neben der Trink-, Brauch- und ökologischen Mindestwasserversorgung, dem Hochwasserschutz, der Energieerzeugung, der Freizeitnutzung und dem Naturschutz werden auch Baumaßnahmen zur Instandhaltung der Talsperren in der täglichen Abgabenplanung berücksichtigt. Einen großen Einfluss auf die Talsperrensteuerung haben dabei das Wetter und aufgrund der notwendigen Berücksichtigung von Fließzeiten Niederschlagsprognosen, wobei das Eintreten – insbesondere eines advektiven Ereignisses – besser als die mengenmäßige und räumliche Ausprägung

prognostiziert werden kann. Sämtliche relevante Informationen zur Talsperrensteuerung werden über ein Entscheidungsunterstützungssystem (EUS) aufbereitet und zur Verfügung gestellt.

Operationelle Talsperrensteuerung bedeutet die Umsetzung des nach Möglichkeit besten Kompromisses zwischen konkurrierenden Ansprüchen und verschiedensten Nutzungskonflikten unter sich täglich ändernden meteorologischen Randbedingungen, deren tatsächlicher Eintritt sich hinsichtlich zeitlich, räumlicher und mengenmäßiger Verteilung erst im Nachhinein verifizieren und beurteilen lässt. Dies kann dazu führen, dass Entscheidungen der Talsperrensteuerung zu einem späteren Zeitpunkt auf Basis einer dann größeren Anzahl an Informationen mit höherer Genauigkeit, als sie zum Zeitpunkt der Entscheidung vorlagen, anders beurteilt werden können. Vor diesem Hintergrund darf in der Reflexion und Analyse der Talsperrensteuerung die gegenwärtige Vergangenheit nicht mit der vergangenen Gegenwart verwechselt werden.

3.3 Resilienz durch stetige Anpassung und Transformation des EUS

Die Bewirtschaftung des Talsperrenverbundsystems und damit auch die operationelle Talsperrensteuerung unterliegen ständigen intrinsischen Weiterentwicklungen, die durch die Reflexion und Aufarbeitung von bereits aufgetretenen sowie zukünftig möglichen oder sogar nur denkbaren Extremereignissen intensiviert wurden und werden. Beispielweise hat die Trockenheit der Jahre 2016 bis 2022 zur Entwicklung eines Managementkonzepts zur Detektion von Trockenheiten mit Einfluss auf die Talsperrenbewirtschaftung [5] sowie die Überprüfung der gesetzlich festgelegten Mindestabflüsse geführt. Zudem sind verschiedene Modelle zur Abbildung, Prognose und Vorhersage von wassermengenwirtschaftlichen Entwicklungen im Einsatz.

Auch der für das EUS notwendige Pegelbetrieb sowie das Messwesen werden stetig ausgebaut und weiterentwickelt. Hierbei werden Redundanzkonzepte fortwährend überprüft, aktuelle Mess- und Überwachungstechniken wie Electronic Corner Reflectors (ECR) eingesetzt und alternative Wege zur Datenübertragung (bspw. LoRaWAN) getestet und genutzt.

Durch die stetige Anpassung und Transformation des EUS wird die Entscheidungsgrundlage insbesondere im Hinblick auf hydrologische Prognosen fortwährend verbessert, sodass auf möglicherweise bevorstehende Hoch- und Niedrigwasserereignisse vorausschauend reagiert werden kann.

4 Zusammenfassung

Das Talsperrenverbundsystem des Ruhrverbands wurde primär zur Gewährleistung der Wasserversorgung des Ruhrgebiets errichtet und umfasst heute acht Multifunktionsstalsperren, deren primäre Bewirtschaftungsziele Wasserversorgung und Hochwasserschutz sind. Diese Bewirtschaftungsziele stellen an den Füllstand der Talsperren gegensätzliche Anforderungen. Dabei muss berücksichtigt werden, dass das Maß der Beeinflussung des Abflusses durch das Talsperrenverbundsystem sich in Niedrigwasserphasen 100 % annähert, in Hochwasserphasen aber maximal den Anteil der Talsperreneinzugsgebiete (23 %) am Gesamteinzugsgebiet einnimmt. Zudem vermindert jede Talsperre Hochwasserereignisse, kann diese aber nicht verhindern.

Im Zuge des Klimawandels wird das Spannungsfeld zwischen Hoch- und Niedrigwassermanagement zunehmen. Um diesem resilient zu begegnen, wurden und werden folgende drei Strategien beim Ruhrverband verfolgt: (1) Das Ruhrverbandsgesetz wurde geändert und der zu gewährleistende Mindestabfluss der Ruhr reduziert. (2) Die Talsperrensteuerung erfolgt flexibel mit wenigen festgeschriebenen Bewirtschaftungsregeln. (3) Das vorhandene Entscheidungsunterstützungssystem wird zur Verbesserung einer vorausschauenden und resilienten Talsperrenbewirtschaftung stetig weiterentwickelt.

5 Literaturangaben

- [15] Streck, O., & Streck, O. (1950). Durchgang einer Hochwasserwelle durch einen See (Seeretention). Grund- und Wasserbau in praktischen Beispielen: Zweiter Band. Fließende und schwingende Wasserbewegung, Wehre Wasserauflaufen, Bewässerung, Entwässerung Wasserwirtschaft, 606-620.
- [16] Folke, C., Carpenter, S. R., Walker, B., Scheffer, M., Chapin, T., & Rockström, J. (2010). Resilience thinking: integrating resilience, adaptability and transformability. *Ecology and society*, 15(4).
- [17] Dai, A. (2011). Drought under global warming: a review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(1), 45-65.
- [18] Hirabayashi, Y., Mahendran, R., Koirala, S., Konoshima, L., Yamazaki, D., Watanabe, S., ... & Kanae, S. (2013). Global flood risk under climate change. *Nature climate change*, 3(9), 816-821.
- [19] Becker, A., zur Strassen, G. (2023). Detektion und Management von Trockenheiten mit Einfluss auf die Talsperrenbewirtschaftung beim Ruhrverband. *Wasserwirtschaft*, 6, 110-113.

TALSPERREN DES WUPPERVERBANDES: WAS DAS SYSTEM LEISTEN KANN

Claudia Klerx

Kurzfassung

Mit den Niederschlagsextremen der letzten Jahre, die von den langjährigen Aufzeichnungen sowohl unterjährig als auch in Summe im Wuppergebiet deutlich abweichen, steht die Talsperrensteuerung vor großen Herausforderungen. Das Hochwasser 2021 hat gezeigt, dass mit Niederschlagsmengen umgegangen werden muss, für die die Talsperren beim Bau nicht bemessen wurden. Auch die trockenen Jahre 2018 bis 2020 haben die Speicher in Bezug auf Niedrigwasseraufhöhung an die Systemgrenzen gebracht. Mit diesen Erkenntnissen müssen Betriebsregeln angepasst und die Möglichkeiten im vorhandenen technischen System der Talsperren ausgeschöpft werden. Aber auch damit kann ein erneutes Hochwasser ähnlich wie 2021 nicht ohne Schaden beherrscht werden. Niedrigwasseraufhöhung, Hochwasserschutz und Rohwasserbereitstellung als Aufgaben gleichermaßen gerecht zu werden, sind große Herausforderungen unter den sich dynamisch ändernden Randbedingungen des Klimawandels, denen sich der Wupperverband in den Systemgrenzen aktiv stellt.

Schlüsselwörter

Niederschlagsextreme, Betriebsregelanpassung, technische Systemgrenzen, Lösung von Nutzungskonflikten

1 Das Talsperrensystem im Wupperverbandsgebiet

Der Wupperverband betreibt 14 Talsperren im Einzugsgebiet der Wupper, davon 3 Trinkwasser-Talsperren. Die für das Hoch- und Niedrigwassermanagement an der Wupper relevantesten Talsperren sind die Wupper- und Bever-Talsperre mit einem Fassungsvermögen von zusammen 48,8 Millionen Kubikmeter. Die bedeutendste Trinkwassertalsperre mit einem Fassungsvermögen von 81 Millionen Kubikmeter ist die Große Dhünn-Talsperre (GDT). Aus der GDT können jährlich bis zu 42 Millionen Kubikmeter Rohwasser zur Verfügung gestellt werden.

Abb. 1 zeigt das Einzugsgebiet der Wupper und stellt den Anteil der Flächen des Verbandsgebietes dar, der von Talsperren erfasst wird. 36 Prozent der Einzugsgebiete sind Talsperren-beeinflusst. Die zufließenden Wassermengen aus diesen Einzugsgebieten können für die Bewirtschaftung und Regulierung der Wassermengen genutzt werden. Dagegen ist der Abfluss in 64 Prozent (unvorentlastete Gebiete) nicht durch

Talsperren gefasst. Die Abflussbildung in diesen Einzugsgebieten z.B. durch flächenhafte Starkregenereignisse mit entsprechender Abflussbildung können nicht durch die Wassermengenbewirtschaftung beeinflusst werden. Dies zeigt die Grenzen der Talsperrenbewirtschaftung auf.

Einzugsgebiet der Wupper mit und ohne Talsperreneinfluss

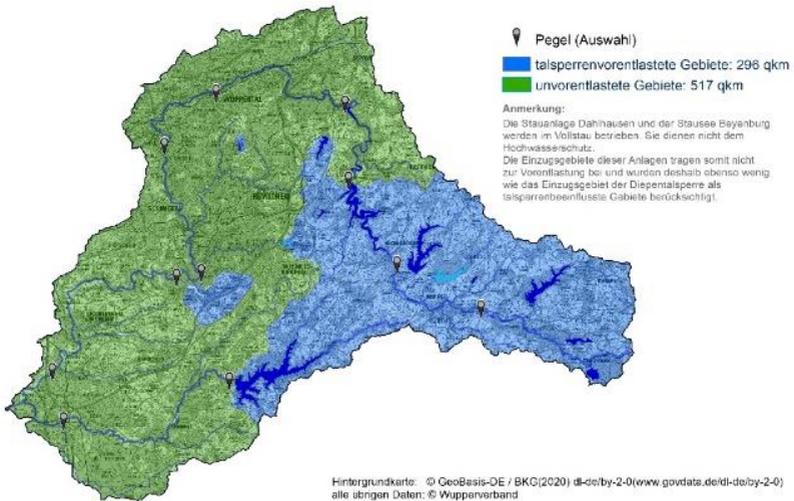


Abb. 1: Einzugsgebiet des Wuppertalverbandes

2 Bemessungsgrundlagen beim Bau der Talsperren

Der Wasserreichtum im Bergischen Land führte schon früh zu Gewerbe- und Industriensiedlung. Der Anspruch auf eine vergleichmäßigte Wasserführung hatte den Bau der Bever-, der Lingese und der Brucher-Talsperre zur Folge. Historische Winterhochwässer wie 1946 zeigten allerdings deutlich, dass das damit geschaffene Hochwasserschutzvolumen von 6,5 Millionen Kubikmetern immer noch nicht ausreichte. 1987 wurde die Wupper-Talsperre mit einen zusätzlichen winterlichen Hochwasserschutzraum von 9,9 Millionen Kubikmetern in Betrieb genommen. Bei der Planung und Dimensionierung der Brauchwassertalsperren spielten der Hochwasserschutz für Sommerhochwässer, die häufig durch kurze und lokale Starkregenereignisse ausgelöst werden, keine Rolle. Der Umfang der zu leistenden Niedrigwasseraufhöhung (NWA) von 3,5 m³/s am Referenzpegel an der Kluserbrücke in Wuppertal wurde erst nach Inbetriebnahme der Wupper-Talsperre festgelegt. Das

Niedrigwasseraufhöhungsziel wurde mit einer Betriebssicherheit von etwa 99 Prozent dimensioniert, die eine Absenkung des Aufhöhungsziel in extremen Trockenjahren, wie beispielsweise das Dürrejahr 1959, vorsah. *Abb. 2* ordnet die zeitliche Abfolge ein.

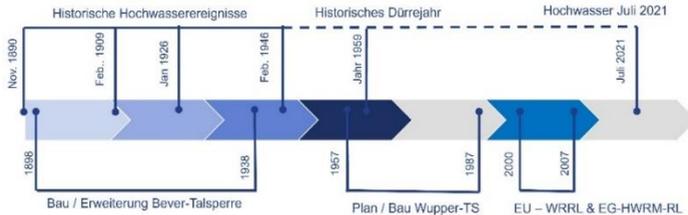


Abb. 2: Historie von Wupper- und Bever-Talsperre

3 Auswirkung Klimawandel auf Bewirtschaftungsregeln

Das Hochwasser 2021 und die Dürrejahre 2018-2020 haben deutlich den Handlungsdruck gezeigt, der mit dem Klimawandel einhergeht, aber auch Systemgrenzen aufgezeigt. Der Wupperverband begegnet diesen Extremen mit der Flexibilisierung der Bewirtschaftung. Ziel muss es sein, die Nutzungskonflikte aus Hochwasserschutz, Niedrigwasseraufhöhung im Brauchwassersystem möglichst optimal aufzulösen und neben wassermengenwirtschaftlichen Anforderungen auch die Wassergüte mit zu berücksichtigen. Bei den Trinkwasser-Talsperren kommt dann als Daseinsvorsorge noch die prioritär zu gewährleistende Bereitstellung von ausreichend Rohwasserkontingenten hinzu.

3.1 Hochwasserschutz der Talsperren am Beispiel des Ereignisses am 14. Juli 2021 im Wupperverbandsgebiet

Das Hochwasserereignis vom 14.7.2021 ist durch eine Sommer-Witterungssituation ausgelöst worden, die es in dieser Ausprägung und Flächigkeit nicht gegeben hat. Flächendeckend sind 120 bis 160 mm innerhalb von 18 Stunden gefallen. Dieses Ereignisses hat zu historischen Abflüssen im Zufluss der Talsperren aber auch in den Unterstrom der Talsperren gelegenen Einzugsgebieten geführt.

Bei diesem Ereignis wurden in der Spitze an der Wupper-Talsperre ca. 172 m³/s abgegeben. Ohne Talsperren wären ca. 300 m³/s zum Abfluss gekommen [1]. Dies verdeutlicht, dass auch wenn die Talsperren nicht alle Niederschläge aufnehmen konnten, die Abflüsse ohne die Speicherwirkung um etwa 75 Prozent höher gewesen

wären. An der Großen Dhünn-Talsperre wurde im Ereignis der komplette Zufluss eingestaut. Ohne Talsperre wären die Abflüsse am Pegel Manfort noch etwa 70% höher gewesen. Trotz vollständigem Einstau, der in der Talsperre etwa 8 Mio. Kubikmeter mehr Stauinhalt erzeugte, konnten unterhalb der Talsperre in Leverkusen Hochwasserschäden nicht verhindert werden.

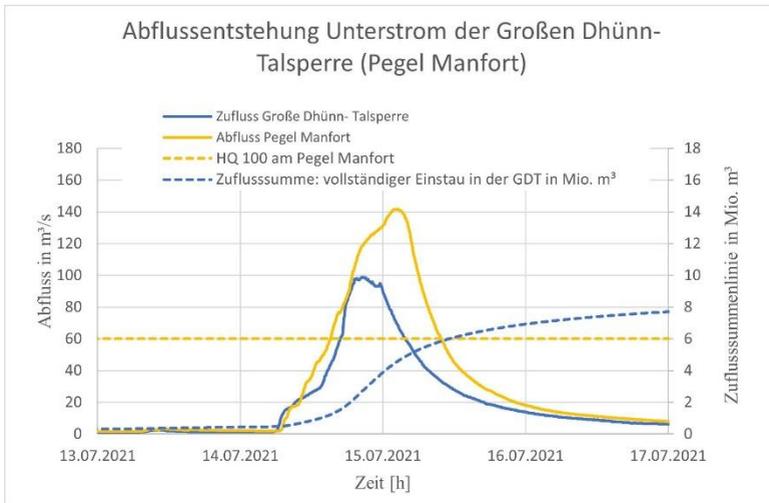


Abb. 3: Abflussentstehung Unterstrom der Großen-Dhünn-Talsperre am Pegel Manfort (Datenquelle Wupperverband und Landesumweltamt NRW)

Dies zeigt einerseits auf, dass die Talsperren im Hochwasser deutlich dämpfende Wirkung erzielt haben. Auf der anderen Seite gibt es aber auch Grenzen für den Unterlauf z.B. in Talsperren-unbeeinflussten Gebieten.

3.2 Niedrigwassermanagement

3.2.1 Niedrigwassermanagement an der Wupper-Talsperre

Der Wupper-Talsperre kommt mit der Größe, der Lage und der Tatsache, dass sie um Hauptschluss der Wupper liegt, eine Schlüsselfunktion in der Talsperrensteuerung zu. *Abbildung 4* verdeutlicht, dass es in der Betriebszeit schon mehrere Situationen gegeben hat, in denen die Wupper-Talsperre den Mindeststauinhalt unterschritten hat. Durch günstige gewässergütemwirtschaftliche Rahmenbedingungen konnten diese Zeiträume bisher überbrückt werden. 2018 stand der Wupperverband erstmals kurz

vor einem Antrag bei der Aufsichtsbehörde, die Niedrigwasseraufhöhung reduzieren zu müssen.

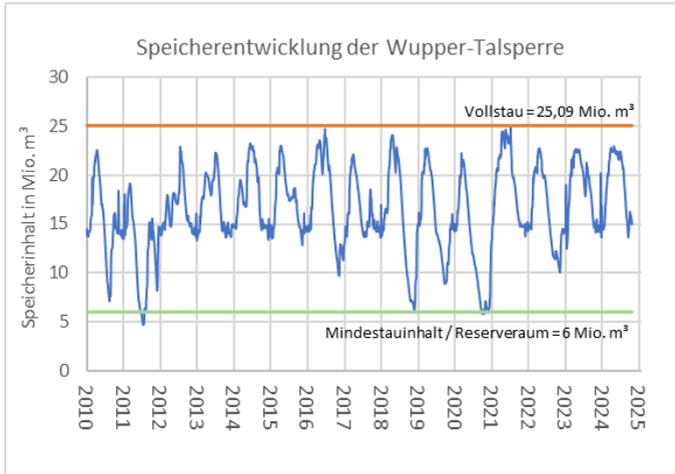


Abb. 4.: Speicherentwicklung der Wupper-Talsperre

3.2.2 Niedrigwassermanagement an der Großen Dhünn-Talsperre

Die Große Dünn-Talsperre hat neben der Rohwasserlieferung auch die Verpflichtung zur Niedrigwasseraufhöhung. Diese ist mit einer Menge von 1 m³/s am Pegel Manfort planfestgestellt und weicht im Sommer sehr erheblich vom natürlichen Zufluss zur Talsperre ab. Erstmals wurde 2015 die Reduzierung der Niedrigwasseraufhöhung beantragt. In den Folgejahren wurde der Antrag auf Reduzierung vom Stauinhalt abhängig gemacht. Ziel war es, den Stauinhalt zum Wohle der Trinkwasserversorgung zu schonen und den Mindeststauinhalt von 25 Mio. m³ nicht zu unterschreiten. Zeitgleich haben 2015/16 erstmals die Wasserversorger auf 10% ihres Rohwasserkontingents verzichtet und haben redundante Rohwasserquellen zur Versorgung genutzt.

4 Optimierte Bewirtschaftungskonzepte unter Berücksichtigung bestehender Systemgrenzen

Zur Anpassung an den Klimawandel sind Optimierungen der Bewirtschaftungskonzepte essenziell:

- Veränderung der Hochwasserbewirtschaftung: Es wurden an den großen Talsperren Sommerretentionsräume eingeführt. Weiter soll zukünftig mit Hilfe von Prognosemodellen die Vorentlastung intensiver genutzt werden.
- Niedrigwassermanagement: Die Niedrigwasseraufhöhung im Unterlauf soll zukünftig in Abhängigkeit vom Wasserdargebot unter Berücksichtigung ökologischer Notwendigkeiten zeitweise reduziert werden. Rohwasserkontingente werden dann bei Nutzung von redundanten Rohwasserquellen reduziert, falls die verminderte Niedrigwasseraufhöhung zu keiner Erholung des Stauinthalts geführt hat.

5 Fazit

Der Anspruch des Wupperverbandes ist, ein nachhaltiges Flussgebietsmanagement zu betreiben, wozu die Talsperrenbewirtschaftung einen wichtigen Beitrag leistet. Die maßvolle Reduktion der Niedrigwasseraufhöhung ist notwendig, um Sommerretentionsräume zu ermöglichen. Vorentlastungen erhöhen dabei noch den situativen Retentionsraum. Wenn die Wildbettabgabereduzierung in Dürrezeiten nicht ausreicht, müssen redundante Rohwasserquellen genutzt werden. Mit optimierten Betriebsregeln müssen die Möglichkeiten im vorhandenen technischen System der Talsperren ausgeschöpft werden. Aber auch damit kann ein erneutes Hochwasser ähnlich wie 2021 nicht ohne Schaden beherrscht werden.

6 Literaturangaben

[1] Dokumentation des Hochwassers im Juli 2021 im Wupperverbandsgebiet und Untersuchungen zur Talsperrenbewirtschaftung der Wuppertalsperre während des Hochwassers im Juli 2021 durch den Wupperverband, Schüttrumpf, Juni 2022

ABWASSER ALS ALTERNATIVE WASSERRESSOURCE I

ENTWICKLUNGEN IN DER WASSERWIEDERVERWENDUNG

Jens Haberkamp

Kurzfassung

In Anbetracht der zu erwartenden Folgen des Klimawandels kann die Wiederverwendung weitergehend aufbereiteten kommunalen Abwassers, beispielsweise für Bewässerungszwecke, einen wichtigen Beitrag zur Schonung natürlicher Wasserressourcen leisten. Während auf EU-Ebene bereits seit 2023 Mindestanforderungen an die landwirtschaftliche Wasserwiederverwendung gültig sind, steht deren Integration in das deutsche Wasserrecht bislang noch aus. Der Beitrag gibt einen Überblick zu den jüngeren Entwicklungen hinsichtlich der regulatorischen und praktischen Umsetzung von Wasserwiederverwendung insbesondere in Deutschland.

Schlüsselwörter

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

1 Hintergrund

Der globale Wasserbedarf ist seit der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts deutlich angestiegen. Während die industrielle Wasserentnahme in den vergangenen Jahren u. a. aufgrund sinkenden Kühlwasserbedarfs einen rückläufigen Trend zeigte, steigen die Anteile der öffentlichen Wasserversorgung und insbesondere der Landwirtschaft, der 2018 ca. 72 % der weltweiten Wasserentnahme zuzuschreiben waren, weiter an [1]. Vor dem Hintergrund der Klimawandelfolgen sowie des anhaltenden Weltbevölkerungswachstums ist ein weiterhin zunehmender globaler Wasserbedarf zu erwarten.

In Europa liegt der Anteil der landwirtschaftlichen Wasserentnahme bei rund 24 %, wovon die weitaus größte Entnahme auf Mittelmeeranrainerstaaten entfällt [2]. Deutschlands Landwirtschaft verlässt sich bislang weitestgehend auf natürliche Niederschläge. Allerdings verzeichnete das Statistische Bundesamt zwischen 2009 und 2022 einen 47%igen Anstieg der Bewässerungswassermenge von 293,3 Mio. m³/a auf 431,1 Mio. m³/a und eine 24%ige Erweiterung der potentiell bewässerbaren Freilandfläche auf 791.800 ha [3]. Obwohl dies lediglich 4,8 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche Deutschlands sind, spiegelt der zunehmende Ausbau der Bewässerungsinfrastruktur den durch die vergangenen trockenen und heißen Sommer gestiegenen Wasserbedarf der Landwirtschaft wider. Darüber hinaus ist anzunehmen, dass die zuvor genannten Daten [3] die tatsächliche Wasserentnahme aufgrund

unzureichender Erfassung der Entnahmemengen der deutschen Landwirtschaft unterschätzen [4].

Infolge des für die Zukunft erwarteten steigenden Bewässerungswasserbedarfs sind in Trockenperioden zunehmende Konkurrenzsituationen hinsichtlich natürlicher Wasserressourcen wahrscheinlich, z. B. hinsichtlich der öffentlichen Wasserversorgung. Die Nutzung von je nach Anwendungszweck adäquat aufbereitetem Wasser als alternative Wasserressource kann regional zur Schonung wertvoller natürlicher Wasserressourcen und somit zur Verminderung von Nutzungskonkurrenzen beitragen.

2 Regulatorische Entwicklungen

Die europäische Kommission wies bereits 2012 auf das in Europa bislang vielfach ungenutzte Potential der Wasserwiederverwendung zur Schonung natürlicher Wasserressourcen hin [5]. Zur Schaffung EU-weit einheitlicher Rahmenbedingungen wurde 2020 die EU-Verordnung 2020/741 über Mindestanforderungen an die Wasserwiederverwendung [6] verabschiedet, die seit dem 25. Juni 2023 unmittelbar in den EU-Mitgliedstaaten gilt und u. a. Anforderungen zur Sicherstellung der Lebensmittelhygiene landwirtschaftlicher Erzeugnisse in der EU harmonisiert. Darin werden vier Güteklassen (A bis D) mit Wasserqualitätsanforderungen an das aufbereitete Wasser unter Berücksichtigung des landwirtschaftlichen Verwendungszwecks und der Bewässerungsmethode unterschieden. Zur weiteren Konkretisierung der Anforderungen wurden von der Europäischen Kommission ergänzende Leitlinien zur Anwendung der Verordnung [7] sowie eine delegierte Verordnung [8] zur Spezifikation wesentlicher Elemente des Risikomanagements veröffentlicht.

Trotz der unmittelbaren Gültigkeit der EU-Verordnung [6] in den EU-Mitgliedstaaten ist deren Integration in das deutsche Wasserrecht erforderlich. Zu diesem Zweck wurden von der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) Empfehlungen erarbeitet und 2022 veröffentlicht [9], die gegenüber der EU-Verordnung [6] einige Verschärfungen beinhalten.

Auf Grundlage der LAWA-Empfehlungen [9] wurde am 28.02.2024 ein Referentenentwurf zur Änderung des Wasserhaushaltsgesetzes [10] veröffentlicht. Dieser beinhaltet u. a. Regelungen zu Anwendungsausschlüssen und Zulassungserfordernissen sowie die Ermächtigungsgrundlage für den Erlass einer Rechtsverordnung, die die nationalen Anforderungen an die Wasserwiederverwendung weiter konkretisieren soll. Die Verabschiedung des novellierten Wasserhaushaltsgesetzes sowie der Rechtsverordnung wird für 2025 erwartet.

Die DWA wird im Frühjahr 2025 den Gelbdruck des dreiteiligen Merkblatts DWA-M 1200 [11] zur Umsetzung von Wasserwiederverwendung in Deutschland veröffentlichen. Als untergesetzliches Regelwerk wird es den Stand der Technik definieren und Planern, Anlagenbetreibern, Anwendern sowie Genehmigungsbehörden mit umfangreichen Ausführungen u. a. zum Risikomanagement und zur erforderlichen weitergehenden Aufbereitung (Abb. 1) die praktische Umsetzung von Wasserwiederverwendungsvorhaben erleichtern. Das DWA-M 1200 [11] wird sich nicht auf die Verwendung von aufbereitetem Wasser für landwirtschaftliche Bewässerungszwecke beschränken, sondern unter Berücksichtigung internationaler Normen auch konkrete Hinweise für die Anwendung von Wasserwiederverwendung für Landschaftsbau, Freiflächenpflege und weitere urbane Anwendungen geben.

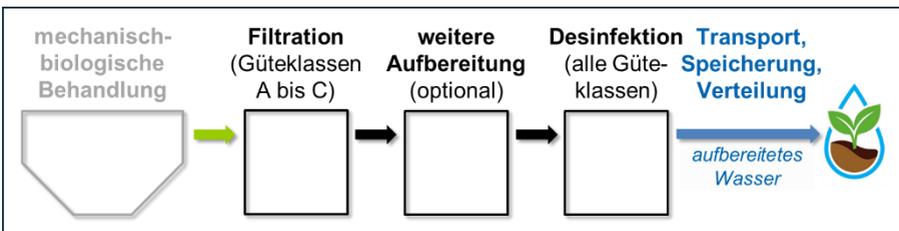


Abb. 1.: Verfahrensstufen der weitergehenden Aufbereitung nach mechanisch-biologischer Kommunalabwasserbehandlung (Reihenfolge der Stufen ist verfahrensabhängig)

In der Zwischenzeit wurde die Umsetzung der europäischen Vorgaben zur Wasserwiederverwendung auch als Ziel in die Nationale Wasserstrategie [12] der Bundesregierung aufgenommen. Darin wird u. a. die angestrebte Entwicklung von Rahmenbedingungen für weitere, über den Anwendungsbereich der EU-Verordnung [6] hinausgehende Nutzungen von aufbereitetem Wasser genannt, d. h. beispielsweise die Bewässerung von Grünflächen, Straßenbegleitgrün und Sportplätzen. Darüber hinaus sollen ein quantitatives Echtzeitentnahmemonitoring zur Erfassung der tatsächlich entnommenen Grundwassermengen sowie ein transparentes Wasserregister zur Registrierung aller Grundwasserentnahmen entwickelt und bisherige Ausnahmen von der Erlaubnispflicht bei Grundwasserentnahmen geprüft werden [12].

Neben Kosten für die Speicher- und Verteilungsinfrastruktur werden je nach erforderlicher Güteklasse z. T. erhebliche Kosten für die weitergehende Aufbereitung des mechanisch-biologisch behandelten Kommunalabwassers entstehen, die vom Endnutzer des aufbereiteten Wassers zu tragen sind. Durch die Anforderungen der novellierten EU-Kommunalabwasserrichtlinie [13] hinsichtlich einer Spurenstoffelimination für eine Vielzahl von Kläranlagen werden sich zukünftig jedoch Synergien ergeben,

da die Spurenstoffelimination inkl. des damit i. d. R. verbundenen Filtrationsverfahrens dann abwassergebührenfähig sein wird und vom Endnutzer einer Wasserwiederverwendung lediglich die Kosten für eine zusätzliche Desinfektion zu tragen wären.

3 Erfahrungen in Deutschland

In Deutschland liegen langjährige großtechnische Erfahrungen zur Wiederverwendung kommunalen Abwassers nur in Wolfsburg und Braunschweig vor [14]. Da an diesen Standorten bislang lediglich mechanisch-biologisch behandeltes Kommunalabwasser ohne weitergehende Aufbereitung für die landwirtschaftliche Bewässerung verwendet wurde, waren zur Erfüllung der neuen Mindestanforderungen kurzfristige Erweiterungen der Aufbereitungsverfahren erforderlich. Mittelfristig wird eine weitgehende Ertüchtigung der Behandlungsprozesse der Kläranlagen Wolfsburg und Braunschweig-Steinhof erfolgen.

Seit 2016 wurden vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) mit den Fördermaßnahmen „Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung“ (WavE) und „Wassertechnologien: Wiederverwendung“ (WavE II) diverse Forschungsprojekte zur Wiederverwendung aufbereiteten Wassers gefördert. Im Rahmen dieser Projekte wurden vielfältige Erfahrungen u. a. im Hinblick auf Wasseraufbereitungstechnologien, Risikomanagement, Verfahrensvalidierung sowie weitere Aspekte der Implementierung gewonnen, die auch in die Erarbeitung des DWA-M 1200 [11] eingeflossen sind.

Im inneren der BMBF-Fördermaßnahme WavE durchgeführten Projekt „MULTI-ReUse“ wurden im Verbandsgebiet des Oldenburgisch-Ostfriesischen Wasserverbands (OOWV) modulare weitergehende Aufbereitungsverfahren mit dem Ziel der Wiederverwendung von Kommunalabwasser für industrielle Zwecke untersucht [15]. Aufgrund der erfolgreichen Projektdurchführung und der großen Nachfrage industrieller Unternehmen wird der OOWV in den kommenden Jahren großtechnische Vorhaben zur industriellen Wiederverwendung kommunalen Abwassers an verschiedenen Standorten umsetzen (Nordenham: ca. 1,1 Mio. m³/a aufbereitetes Wasser zur TiO₂-Herstellung; Varel: ca. 1 Mio. m³/a aufbereitetes Wasser für die Papierindustrie; Brake: ca. 350.000 m³/a aufbereitetes Wasser zur Wasserstoffproduktion).

4 Fazit und Ausblick

Nachdem die EU-Verordnung zur Wasserwiederverwendung bereits seit 2023 gilt, wird in Deutschland mit dem novellierten Wasserhaushaltsgesetz und der diesbezüglichen Rechtsverordnung voraussichtlich 2025 Klarheit hinsichtlich der Regelung von

weitergehenden Anwendungsausschlüssen und Anforderungen an die Qualität aufbereiteten Wassers geschaffen werden. Das DWA-Merkblatt 1200 [11] wird die Implementierung von Wasserwiederverwendungsvorhaben durch detaillierte Ausführungen zur praktischen Umsetzung erleichtern. Mit den gestiegenen Anforderungen der novellierten EU-Kommunalabwasserrichtlinie [13] werden sich Synergien hinsichtlich der Aufbereitungskosten für die Wasserwiederverwendung ergeben. Die Umsetzung von Wasserwiederverwendungsvorhaben kann in Deutschland jedoch kaum wirtschaftlich attraktiv werden, solange vom Gesetzgeber nicht auch die Entnahme von Grund- und Oberflächenwasser u. a. für Bewässerungszwecke strenger als bisher reglementiert und kontrolliert wird. Darüber hinaus sollten zukünftig auch weitere Anwendungen für Wasserwiederverwendung bis hin zur Grundwasseranreicherung national geregelt werden.

5 Literaturangaben

- [1] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture 2021 – Systems at Breaking Point. Main Report. Rom 2022 (<https://doi.org/10.4060/cb9910en>)
- [2] European Environment Agency (EEA): Water and Agriculture: Towards Sustainable Solutions. Publications Office of the European Union, Luxemburg 2021 (DOI: 10.2800/73735)
- [3] Statistisches Bundesamt (Destatis): Pressemitteilung Nr. 186 vom 10. Mai 2024. Wiesbaden 2024
- [4] Joeres, A., Huth, K., Steeger, G., Bogdanski, D.: Wassermangel: Konsum der Landwirtschaft offenbar massiv unterschätzt. CORRECTIV – Recherchen für die Gesellschaft gemeinnützige GmbH, Online-Veröffentlichung vom 02.02.2023 (<https://correctiv.org/aktuelles/klimawandel/2023/02/02/wasser-konsum-der-landwirtschaft-unterschaetzt/>)
- [5] European Commission: A Blueprint to Safeguard Europe's Water Resources. COM(2012) 673, Brüssel 2012
- [6] Verordnung (EU) 2020/741 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Mai 2020 über Mindestanforderungen an die Wasserwiederverwendung. Amtsblatt der Europäischen Union vom 05.06.2020, Brüssel 2020
- [7] Leitlinien zur Anwendung der Verordnung 2020/741 über Mindestanforderungen an die Wasserwiederverwendung (2022/C 298/01). Amtsblatt der Europäischen Union vom 05.08.2022, Brüssel 2022
- [8] Delegierte Verordnung (EU) 2024/1765 der Kommission vom 11. März 2024 zur Ergänzung der Verordnung (EU) 2020/741 des Europäischen Parlaments und des Rates in Bezug auf technische Spezifikationen der wesentlichen Elemente

- des Risikomanagements. Amtsblatt der Europäischen Union vom 20.06.2024, Brüssel 2024
- [9] Endbericht der LAWA-Ad hoc AG/KG Water Reuse an die 163. LAWA-Vollversammlung. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), Berlin 2022
- [10] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV): Entwurf eines Dritten Gesetzes zur Änderung des Wasserhaushaltsgesetzes. Referentenentwurf vom 28.02.2024, Berlin 2024
- [11] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA): DWA-M 1200 – Wasserwiederverwendung für landwirtschaftliche und urbane Zwecke in Deutschland. Teil 1: Grundsätze zur Wasserwiederverwendung für unterschiedliche Nutzungen; Teil 2: Anforderungen an die weitergehende Wasseraufbereitung; Teil 3: Verwendung von aufbereitetem Wasser für die Bewässerung in Landwirtschaft, Gartenbau und Grünflächen (in Bearbeitung)
- [12] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV): Nationale Wasserstrategie. Kabinettsbeschluss vom 15. März 2023, Berlin 2023
- [13] Richtlinie (EU) 2024/3019 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. November 2024 über die Behandlung von kommunalem Abwasser (Neufassung). Amtsblatt der Europäischen Union vom 12.12.2024, Brüssel 2024
- [14] Gromadecki, F.: Erfahrungen mit der Wasserwiederverwendung im Raum Braunschweig. Tagungsband der 7. Wassertage Münster „Klimawandel – Trockenheit und Starkregen im urbanen Raum“, 14./15.02.2023, S. 82-88, Münster 2023
- [15] Nahrstedt, A., Gaba, A., Zimmermann, B., Jentzsch, T., Kroemer, K., Tiemann, Y., Harsanyi, L., Buchta, P., Doelchow, U., Lipnizki, J., Mende, K., Koch, T., Rohn, A.: Reuse of municipal wastewater for different purposes based on a modular treatment concept. Journal of Water Reuse and Desalination (2020) 10(4), 301-316 (<https://doi.org/10.2166/wrd.2020.040>)

UMSETZUNG UND ZUKUNFTSPERSPEKTIVEN DER WASSERWIEDERVERWENDUNG IN DEUTSCHLAND

Manuela Helmecke

Kurzfassung

Seit 26. Juni 2023 gilt die Verordnung (EU) 2020/741 über Mindestanforderungen für die Wasserwiederverwendung. Diese regelt die Nutzung von aufbereitetem Wasser für die landwirtschaftliche Bewässerung. Auch wenn die Verordnung unmittelbar gilt, sind Konkretisierungen und Ergänzungen im nationalen Recht nötig. Diese werden durch eine Änderung des Wasserhaushaltsgesetz sowie eine geplante Bundesverordnung zu Wasserwiederverwendung festgeschrieben und durch das technische Regelwerk in (DWA-M 1200) ergänzt. Neben der landwirtschaftlichen Bewässerung sind perspektivisch auch andere Anwendungsbereiche der Wasserwiederverwendung denkbar.

Schlüsselwörter

Wasserwiederverwendung, Anforderungen, Abwasser, Bewässerung

1 EU-Verordnung zu Wasserwiederverwendung

Am 26. Juni 2020 trat die Verordnung (EU) 2020/741 des Europäischen Parlaments und des Rates über Mindestanforderungen für die Wasserwiederverwendung in Kraft. Drei Jahre später, am 26. Juni 2023, erlangte die Verordnung in den Mitgliedstaaten der Europäischen Union - und damit auch in Deutschland - Gültigkeit.

Die EU-Wasserwiederverwendungsverordnung (EU-Wasser-WVVO) definiert EU-weite Mindestanforderungen für die landwirtschaftliche Bewässerung mit aufbereitetem Wasser, das aus kommunalen Kläranlagen stammt. Sie ergänzt dabei bestehende EU-Regelungen zum europäischen Wasser- und Umweltrecht sowie die Gesetzgebung zur Lebensmittelsicherheit.

1.1 Wesentliche Inhalte der EU-Verordnung

Im Folgenden werden Kernelemente der EU-Wasser-WVVO dargelegt; insbesondere die, auf die Empfehlungen für nationale Ergänzungen und Konkretisierungen (s.u.) Bezug nehmen.

- Die EU-Wasser-WVVO legt fest, dass die „Erzeugung von und Versorgung mit aufbereitetem Wasser für die landwirtschaftliche Bewässerung“ genehmigungspflichtig ist. Für das aufbereitete Wasser sind Mindestanforderungen (e.coli, BSB5, Feststoffe, Trübung) in vier Güteklasse definiert, die sich nach Art der Kulturpflanzen und Bewässerungstechnologie unterscheiden. Die Mindestanforderung der entsprechenden Güteklasse sind an der Stelle einzuhalten, an der der Betreiber einer Aufbereitungseinrichtung das aufbereitete Wasser dem nächsten Akteur übergibt.
- Güteklasse A, geeignet für die Bewässerung von Lebensmitteln zum Rohverzehr mit direktem Kontakt des essbaren Pflanzenteils, erfordert zusätzlich ein Validierungsmonitoring für Viren, Bakterien und Protozoen.
- Standortspezifische Umwelt- und Gesundheitsrisiken sind im Risikomanagement zu identifizieren, bewerten und minimieren. Der Risikomanagementplan ist Voraussetzung für den Genehmigungsantrag. Während die EU-Wasser-WVVO die Kernelemente recht knapp beschreibt, liegen weitere Vorgaben zur Erstellung des Risikomanagementplans in der Delegierten Verordnung (EU) 2024/1765 vor.
- Im Rahmen des Risikomanagementplans können bzw. sollen zusätzliche Anforderungen entsprechend der Risikobewertung festgelegt werden, so bspw. für Spurenstoffe, antimikrobielle Resistenzen oder Mikroplastik. Dazu geben weder die EU-Wasser-WVVO, ergänzende EU-Leitlinien noch die delegierte Verordnung konkrete Hinweise.
- In Anbetracht der heterogenen Ausgangssituation in der EU ermöglicht die EU-Wasser-WVVO Mitgliedstaaten, Flusseinzugsgebiete, Teile davon oder auch das gesamte Territorium von der Wasserwiederverwendung unter Berücksichtigung bestimmter Kriterien auszuschließen (Artikel 2 Absatz 2).
- Des Weiteren beinhaltet die EU-Wasser-WVVO Anforderungen für die Information der Öffentlichkeit und Berichterstattung über die Überwachung der Umsetzung. Die transparente Bereitstellung von Daten zur Wasserwiederverwendung soll die Akzeptanz der Verbraucher*Innen fördern.

2 Nationale Regelungen zur Wasserwiederverwendung

Zwar gilt die EU-Wasser-WVVO unmittelbar in den Mitgliedstaaten. Dennoch ist eine weitere Ausgestaltung auf nationaler Ebene nötig.

Um Lösungs- und Regelungsvorschläge für die nationale Anwendung und Umsetzung der EU-Wasser-WVVO zu entwickeln, wurde 2020 eine Bund-Länder-Ad hoc AG der LAWA zu Water Reuse eingerichtet.

Neben Vertreter*innen mit fachlicher und rechtlicher Expertise aus den Bereichen Wasser, Abwasser und Boden war auch das BMEL sowie dessen nachgeordnete Behörden (BfR, BVL, MRI, FLI, JKI, TI) eingebunden.

Der Endbericht der LAWA AG wurde im Februar 2022 veröffentlicht (LAWA 2022). Die dort genannten Regelungsvorschläge stellen die Grundlage für die Änderung des Wasserhaushaltsgesetz sowie die Erarbeitung einer Bundesverordnung zu Wasserwiederverwendung dar. Im Folgenden werden die jeweils geplanten Regelungen bzw. Empfehlungen sowie der aktuelle Stand der Rechtssetzung vorgestellt.

2.1 Anpassung Wasserhaushaltsgesetz

Im Februar 2024 wurde der Referentenentwurf eines Dritten Gesetzes zur Änderung des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) veröffentlicht (BMUV 2024).

Darin wird die Bewässerung mit aufbereitetem Wasser als eigener Benutzungstatbestand definiert, der nicht unter die Abwasserbeseitigung fällt. Die Zuständigkeit für Genehmigungsverfahren liegt bei den Wasserbehörden, erfordert aber die Beteiligung anderer relevanter Behörden.

Ergänzend zu den Erfordernissen für die *Aufbereitungsgenehmigung* der EU-Wasser-WVVO (Artikel 6) soll in Deutschland eine *Aufbringungserlaubnis* eingeführt werden, um auch die Verpflichtungen des Endnutzers rechtlich festzuschreiben (bspw. die Verwendung der entsprechenden Güteklasse/ Bewässerungstechnologie, ggf. Umsetzung von Risikominderungsmaßnahmen). Ein Versagensgrund für eine Genehmigung besteht, wenn durch die Wasserwiederverwendung die ökologische Mindestwasserführung nicht mehr aufrecht gehalten wird.

Der Ausschluss von der Wasserwiederverwendung gemäß Artikel 2 Absatz 2 der EU-Wasser-WVVO wird im WHG für Wasserschutzgebietszonen festgelegt, um den Schutz der Trinkwasserressourcen sicherzustellen. Weitere Ausschlüsse sind durch die Bundesländer zu regeln.

Das WHG wird durch die Ergänzungen eine Ermächtigungsgrundlage für die geplante Bundesverordnung für Wasserwiederverwendung schaffen.

Die finale Fassung der WHG-Änderung ist fachlich abgestimmt. Eine Veröffentlichung im Bundesgesetzblatt kann jedoch erst erfolgen, wenn eine neue Regierung 2025 im Amt ist und die Änderung verabschiedet.

2.2 Bundesverordnung

Die geplante Bundesverordnung für Wasserwiederverwendung wird auf Grundlage der LAWA-Empfehlungen zusätzliche materiellen Anforderungen für den Schutz der Gesundheit von Mensch, Tier und Pflanze sowie den Schutz von Boden, Grundwasser und Oberflächengewässern festlegen.

Im Rahmen der LAWA Ad hoc AG kamen Expert*Innen zu der Einschätzung, dass auch bei Einhaltung der EU-Mindestanforderungen Risiken durch humanpathogene Viren oder Protozoen bestehen können. Dies legt die Risikobewertungen des BfR dar (BfR 2020, BfR 2022a, b). Um entsprechende Risiken zu minimieren, soll ausgeschlossen werden, dass roh verzehrbare Teile von Pflanzen mit dem aufbereiteten Wasser in Kontakt kommen. Auch hydroponische Systeme sollen von der Wasserwiederverwendung ausgeschlossen werden.

Zudem soll für den Gesundheitsschutz das Validierungsmonitoring auf alle zum Verzehr bestimmten Kulturen (auch Güteklasse B und C) ausgeweitet werden. Um - insbesondere bei der Bewässerung von rohverzehrt Nahrungsmittelpflanzen- eine wirkungsvolle Desinfektion zu gewährleisten, empfiehlt die LAWA Ad hoc AG einen strengeren Wert für die Trübung für die Güteklassen A, B und C. Damit einhergehend sollte für diese Güteklassen zusätzlich zur Desinfektion eine Filtration erforderlich sein.

Mögliche Einträge chemischer Schadstoffe, insbesondere Spurenstoffe, sind laut EU-Wasser-WVVO über den Risikomanagementplan zu berücksichtigen. Dazu sollen nationale ergänzende und konkretisierende Vorgaben getroffen werden, um eine Stoffanreicherung im Boden sowie eine Verlagerung ins Grundwasser oder die Pflanzen zu verhindern. Zum einen soll die Bewässerung nachweislich bedarfsgerecht erfolgen. Für den Bodenschutz sind die Vorsorgewerte gemäß der Bundesbodenschutzverordnung (BBodSchV) zu berücksichtigen. Zum anderen sollen relevante Spurenstoffe bei der Gefahrenermittlung und Risikobewertung im Rahmen des Risikomanagements betrachtet werden. Dazu hat das Umweltbundesamt als Empfehlung für das DWA-M1200 (s.u.) eine Stoffliste erarbeitet (UBA 2024b). Nichtsdestotrotz sind zusätzlich die Rahmenbedingungen im Einzugsgebiet und die dort vorliegenden Daten und Kenntnissen zu berücksichtigen. Die Kenntnisse zu den Stoffen sollen im Rahmen des Risikomanagements dazu dienen, eine Entscheidung über eine erforderliche/ geeignete Spurenstoffelimination zu treffen sowie Anforderungen an das standortspezifische Monitoring (einschließlich Grundwasser und Boden) abzuleiten. Aufgrund ihrer kritischen Stoffeigenschaften ist für PFAS zusätzlich explizit ein vorsorgender Grenzwert $PFAS_{\Sigma 20} = 0,10 \mu\text{g/l}$ entsprechend der Trinkwasserrichtlinie vorgesehen.

Da bisher keine deutschen Ausführungsbestimmungen erlassen wurden obliegt es bis zum Erlass nationaler Vorschriften dem Ländervollzug, die EU-Regelungen anzuwenden.

2.3 DWA-Merkblatt M1200

Ergänzend zu den gesetzlichen Regelungen wird mit der DWA Merkblattreihe M1200 das technische Regelwerk zur Wasserwiederverwendung erarbeitet. Das DWA M1200 wird zusätzlich zur Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen auch Flächen im Gartenbau und Grünflächen adressieren. Es gliedert sich in folgende drei Merkblattteile:

- DWA-M1200-1 – „Grundsätze zur Wasserwiederverwendung für unterschiedliche Nutzungen“
- DWA-M1200-2 – „Anforderungen an die weitergehende Wasseraufbereitung“
- DWA-M1200-3 – „Verwendung von aufbereitetem Wasser für die Bewässerung in Landwirtschaft, Gartenbau und Grünflächen“

Die Ausgestaltung erfolgte in enger Abstimmung mit dem Umweltbundesamt und unter Berücksichtigung der o.g. LAWA-Empfehlungen. Darauf aufbauend führt das DWA-M 1200-1 die EU-Anforderungen mit den Empfehlungen für Deutschland zusammen. Die Veröffentlichung des Gelbdrucks ist für Frühjahr 2025 geplant und soll wertvolle Orientierung und Hilfestellung für Betreiber*Innen, Anwender*Innen und Behörden liefern.

3 Wasserwiederverwendung – Relevanz für Deutschland?

Landwirtschaftliche Bewässerung spielte in Deutschland bisher eine untergeordnete Rolle. Statistischen Daten zufolge entfällt nur ein sehr geringer Anteil von ca. 2% der Wasserentnahmen auf die landwirtschaftliche Bewässerung (Destatis 2023). Doch sowohl die Bewässerungsmenge als auch die bewässerten landwirtschaftlichen Flächen nehmen zu (Destatis 2024). Die Trockenheit 2018-2020 und 2022 führten zu Absenkungen von Grundwasserspiegeln, zu einer Steigerung des Bewässerungsbedarfs und lokal teils zu Überschreitungen der Wasserentnahmerechte für die Bewässerung. Auch zukünftig wird der Bewässerungsbedarf weiter zunehmen (DVGW 2024, UBA 2024b). Dies erfordert Anpassung der Produktions- und Bewässerungssysteme und einen veränderten Umgang mit der Ressource Wasser hinzu mehr Rückhalt und Speicherung. Aber auch aufbereitetes Wasser kann dann eine mögliche Alternative darstellen. Dies spiegelt sich in Aktion 54 der Nationalen Wasserstrategie (NWS) zur Stärkung der Wasserwiederverwendung wider (BMUV 2024).

Für die Praxis werden jedoch weitere regulatorische, ökonomische und infrastrukturelle Aspekte entscheidend sein. So sind in der NWS u.a. mögliche Begrenzungen von Wasserentnahmerechten (Aktion 5 NWS), Leitlinien für den Umgang mit Wasserknappheit (Aktion 6 NWS) und die Einführung bzw. Anpassung von Wasserentnahmeentgelten (Aktion 11 NWS) geplant; zahlreiche Aktionen zielen auf eine gesamtheitliche Verbesserung des Landschaftswasserhaushalts ab (BMUV 2024).

Durch die skizzierten Anforderungen an die Wasserwiederverwendung entstehen im Vergleich zur aktuellen Bewässerungspraxis zusätzliche Kosten nicht nur für Aufbereitung, ggf. Speicherung und Transport, sondern auch für die Erstellung des Risikomanagementplans und das damit einhergehende Monitoring. Die bestehende Aufbereitungstechnologie der Kläranlage, die Entfernung zur landwirtschaftlichen Fläche sowie Gegebenheiten vor Ort (bspw. Wasserschutzgebiete, Mindestabfluss, Grundwasser- und Bodenbeschaffenheiten) sind ausschlaggebend, ob und mit welchem Aufwand (Kosten) die Bewässerung mit aufbereitetem Wasser machbar und wirtschaftlich ist. Wesentliche Synergien sind diesbzgl. durch die novellierte Kommunalabwasserrichtlinie (2024/3019) zu erwarten.

Neben der landwirtschaftlichen Bewässerung gewinnen auch andere potentielle Anwendungen der Wasserwiederverwendung in Deutschland nach und nach mehr Aufmerksamkeit. Dazu gehören urbane Einsatzbereiche wie die Bewässerung von Grünflächen oder Golfplätzen mit aufbereitetem Wasser. Im Vergleich zur landwirtschaftlichen Nutzung ist die Nähe zu einer Kläranlage in der Regel gegeben. Es unterscheiden sich die möglichen Expositionsszenarien (in Abhängigkeit vom Zugang) und somit die Risiken. Prinzipiell kann aber der Ansatz der EU-Wasser-WVVO einschließlich des Risikomanagements übertragen werden (UBA 2024b).

Auch für die Nutzung von aufbereitetem Kommunalabwasser in der Industrie sowie die Verwendung von gering belastetem Industrie-/ Gewerbeabwasser für Bewässerungszwecke gibt es nach und nach mehr Anwendungsbeispiele bzw. Forschungsprojekte in Deutschland - die Potenziale sollten perspektivisch weiter betrachtet werden.

Nach den Trockenjahren steigt auch das Interesse an einer Grundwasseranreicherung (GWA) mit aufbereitetem Wasser. Diese kann dazu beitragen, den gewünschten Wasserrückhalt in der Fläche zu verbessern und Grundwasserstände zu stabilisieren. Im Unterschied zur direkten Bewässerung mit aufbereitetem Wasser können durch die GWA saisonale Bedarfsspitzen ausgeglichen und Nutzungskonkurrenzen gedämpft werden. Allerdings besteht ein höheres Risiko von Schadstoffeinträgen. Daher bedarf es anspruchsvoller und vorsorgeorientierter Anforderungen aus Sicht des

Grundwasser-, Trinkwasser- und Bodenschutzes, die forschungsbasiert abgeleitet werden sollten.

4 Ausblick und Fazit

Während aktuell der Fokus darauf liegt, den nationalen Rechtsrahmen für die EU-Wasser-WVVO fertigzustellen, sollten perspektivisch weitere Anwendungsbereiche der Wasserwiederverwendung hinsichtlich ihrer Potentiale und Anforderungen in den Blick genommen werden. Auf EU-Ebene wird dies im Rahmen der Evaluation der EU-Wasser-WVVO bis 2028 geschehen.

In der Praxis sollten die jeweiligen Wasserbedarfe, die ggf. mit aufbereitetem Wasser gedeckt werden können, sowie die resultierenden Risiken, Kosten und Energiebedarfe gesamtheitlich betrachtet werden. Dabei müssen auch Flussökologie und Mindestwasserführung, sowie quantitative und qualitative Aspekte sorgsam abgewogen und anderen Anpassungsmaßnahmen gegenübergestellt werden. Gleichmaßen sollten potentielle Risiken einer „de facto Wasserwiederverwendung“ (Drewes et al 2018) berücksichtigt werden.

Die gezielte Nutzung von aufbereitetem Wasser *kann* einen Beitrag im Umgang mit Wassernutzungskonflikten und Knappheitssituation spielen, wird aber nicht überall eine geeignete und ausreichende Lösung sein. Es bedarf einer Kombination verschiedener Ansätze, um den Wasserrückhalt in der Landschaft zu verbessern, Speichermöglichkeiten auszubauen und den Einsatz von Wasser sparsamer und effizienter zu gestalten.

5 Literatur

BfR (2020): Stellungnahme Nr. 021/2020 „Aufbereitete Abwässer: Bakterielle Krankheitserreger auf frischem Obst und Gemüse vermeiden“ https://www.bfr.bund.de/de/aufbereitete_abwaesser_in_der_landwirtschaft-307386.html

BfR (2022a): Stellungnahme Nr. 019/2022 „Aufbereitete Abwässer: Virale Krankheitserreger auf pflanzlichen Lebensmitteln vermeiden“ https://www.bfr.bund.de/de/aufbereitete_abwaesser_in_der_landwirtschaft-307386.html

BfR (2022b): Stellungnahme Nr. 021/2022 „Aufbereitete Abwässer: Protozoen auf pflanzlichen Lebensmitteln vermeiden“ https://www.bfr.bund.de/de/aufbereitete_abwaesser_in_der_landwirtschaft-307386.html

- BMUV (2023): Nationale Wasserstrategie. Kabinettsbeschluss vom 15. März 2023. https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Binnengewaes-ser/nationale_wasserstrategie_2023_bf.pdf
- BMUV (2024): Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV): Entwurf eines Dritten Gesetzes zur Änderung des Wasserhaushaltsgesetzes. Referentenentwurf vom 28.02.2024, Berlin 2024. <https://www.bmuv.de/gesetz/referentenentwurf-eines-dritten-gesetzes-zur-aenderung-des-wasserhaushaltsgesetzes>
- Destatis (2023): Nichtöffentliche Wasserversorgung 2019, Fachserie 19 Reihe 2.2, veröffentlicht 14.03.2023
- Destatis (2024): Pressemitteilung Nr. 186 vom 10. Mai 2024, https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2024/05/PD24_186_41.html
- DVGW (2024): Szenarien der zukünftigen Wassergewinnung aus den natürlichen Süßwasserressourcen für Deutschland. Überblick aus aktuellen DVGW-Studien und statistischen Daten. <https://www.dvgw.de/medien/dvgw/leistungen/publikationen/szenarien-wassergewinnung-dvgw.pdf>
- Drewes, J.E., Karakurt, S., Schmid, L., Bachmaier, M., Hübner, U., Clausnitzer, V., Timmermann, R., Schätzl, P., McCurdy, S. (2018): Dynamik der Klarwasseranteile in Oberflächengewässern und mögliche Herausforderungen für die Trinkwassergewinnung in Deutschland. UBA-Berichte 59/2918. Dessau/Roßlau. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/dynamik-der-klarwasseranteile-in>
- EU (2020): Verordnung (EU) 2020/741 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Mai 2020 über Mindestanforderungen an die Wasserwiederverwendung.
- EU (2024): Richtlinie (EU) 2024/3019 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. November 2024 über die Behandlung von kommunalem Abwasser (Neufassung).
- LAWA - Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (2022): Endbericht der LAWA-Ad hoc AG/KG Water Reuse an die 163. LAWA-Vollversammlung. https://www.lawa.de/documents/endbericht-lawa-ag-water-reuse-barriere-frei_1689856679.pdf
- UBA (2024a): EU-Verordnung zu Wasserwiederverwendung | Wichtige Punkte für die Umsetzung in Deutschland. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/wasser-bewirtschaften/wasserwiederverwendung/eu-verordnung-zu-wasserwiederverwendung#wichtige-punkte-fur-die-umsetzung-in-deutschland>

UBA (2024b): Auswirkung des Klimawandels auf die Wasserverfügbarkeit – Anpassung an Trockenheit und Dürre in Deutschland (WADKlim). UBA-Texte 143/2024.

INTERNATIONALE FALLBEISPIELE ZUR WASSERWIEDERVERWENDUNG

Ulf Miede

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 entgegnen, wird im Forschungsvorhaben KIWaSuS² 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

² 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.

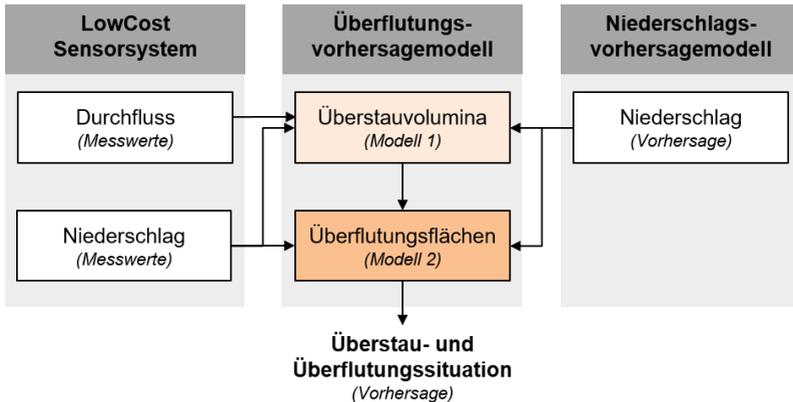


Abb. 1: Übergeordneter Aufbau des Vorhersagesystems für urbane Überflutungen

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 stammten. 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.

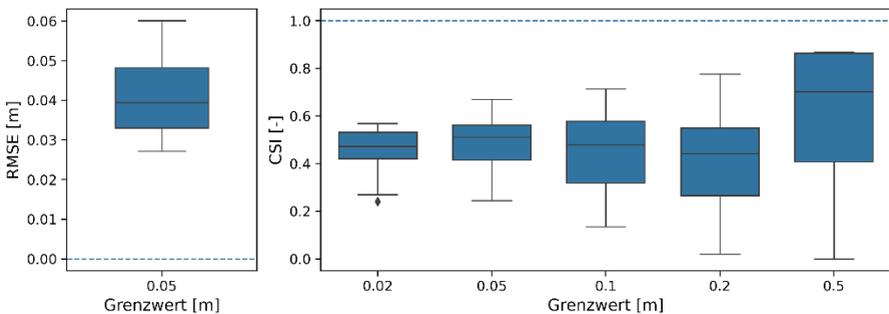


Abb. 2: Verteilung der Metriken über alle Ereignisse im Testdatensatz. Die gestrichelte Linie gibt jeweils den optimalen Wert an.

Am 03.07.2009 wurde das Untersuchungsgebiet von einem besonders extremen Starkregenereignis mit einer Wiederkehrzeit von mehr als 200 Jahren heimgesucht.

Abb. 3 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.

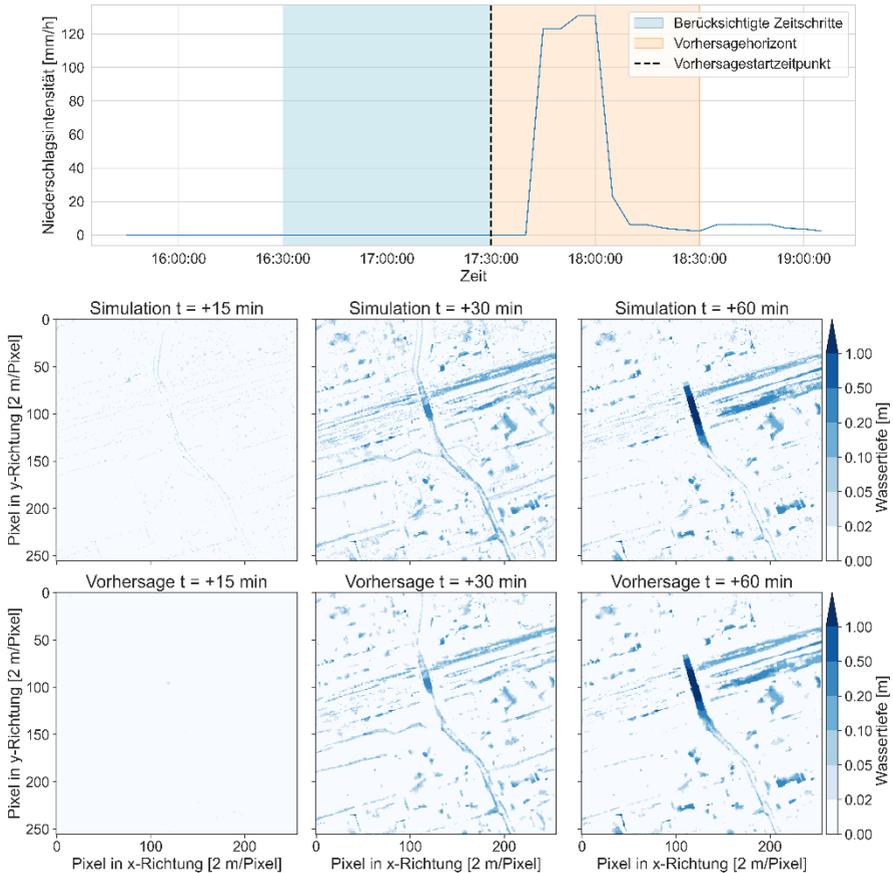


Abb. 3: Exemplarisches Vorhersageergebnis für das Starkregenereignis vom 03.07.2009 ($T > 200$ a)

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 angelernt 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] Berkahn, 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 II

AUFBEREITETES ABWASSER - EINE ALTERNATIVE FÜR DIE GRÜNFLÄCHENBEWÄSSERUNG UND WEITERE ANWENDUNGEN IM KOMMUNALEN UMFELD?

Susanne Brants

Kurzfassung

In Bad Oeynhausen, einer von Wasserdefiziten betroffenen Region, verschärfen zunehmende Dürreperioden die Nutzungskonflikte um die Trinkwasserressource. Die Erschließung alternativer Wasserquellen kann solchen Konflikten begegnen. Eine solche Quelle stellt die Wiederverwendung von weitergehend aufbereitetem Abwasser dar.

Im Rahmen des laufenden Forschungsprojektes „DigiWaVe“ soll die Implementierung einer Wasserwiederverwendung für die urbane Grünflächenbewässerung in der Stadt Bad Oeynhausen vorbereitet und durch den Einsatz digitaler und KI-gestützter Steuerungstools eine bedarfsgerechte und ressourceneffiziente Bewässerung ermöglicht werden.

Nach Abschluss des Projektes soll eine Brauchwasserleitung vom Klärwerk ins Stadtzentrum gebaut werden. Derzeit sind die genehmigungsrechtlichen Anforderungen für Bau und Betrieb sowohl für die Brauchwasseranlage als auch für die Nutzung auf nationaler Ebene noch nicht geklärt. Ein gemeinsamer Austausch zwischen allen beteiligten Akteuren soll Risiken und Bedenken minimieren und die Akzeptanz der Maßnahmen fördern. In Bad Oeynhausen findet dieser Prozess derzeit statt.

Schlüsselwörter

Wasserknappheit, Wasserwiederverwendung, Risikomanagement, Genehmigungsfähigkeit, DigiWaVe

Hintergrund

In den letzten Jahren haben sich in Europa Dürreperioden gehäuft, was dem Thema Wasserknappheit auch in Deutschland große Aufmerksamkeit verliehen hat, sowohl bei den vielfältigen Akteuren im Wassersektor als auch in der breiten Bevölkerung. Zu den ökologischen, ökonomischen und sozialen Folgen einer akuten Dürrephase kommt ein systemisches Wasserdefizit in vielen Regionen Deutschlands hinzu. Die

Wasserwiederverwendung kann einen wertvollen Beitrag dazu leisten, bereits bestehenden bzw. zukünftigen Engpässen und Nutzungskonflikten um Wasserressourcen entgegenzuwirken. Praktische Nutzungsmöglichkeiten von Wasser ohne Trinkwasserqualität (Brauchwasser) werden dabei immer dringlicher und besonders der steigende Bedarf von urbaner Grünflächenbewässerung rückt hierbei in den Fokus. Für viele Kommunen in Deutschland ist die Wasserwiederverwendung zwar ein neues, aber mittlerweile unumgängliches Thema. Vor allem hinsichtlich der Planung und Implementierung bestehen derzeit noch viele Fragen.

Auch die Stadt Bad Oeynhausen muss sich mit Wasserknappheit in den Sommermonaten auseinandersetzen. Bad Oeynhausen liegt im nordöstlichen NRW und ist gemäß der langjährigen klimatischen Wasserbilanz eine defizitäre Region.

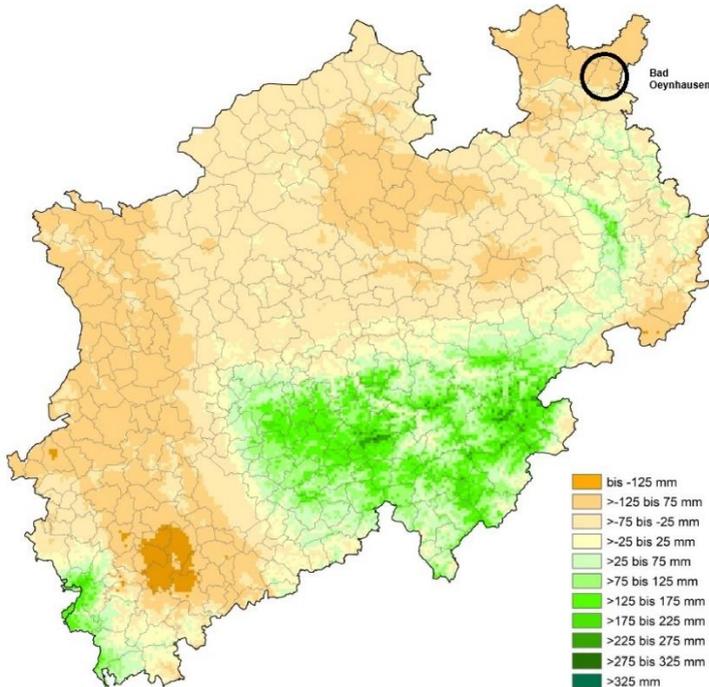


Abb. 4: klimat. Wasserbilanz in der Vegetationszeit (Apr – Sep) 1988-2017 [DWD]

Zur Bewässerung von Grünflächen, Sportplätzen und Freizeitflächen wird dort seitens der städtischen Grünflächenunterhaltung Wasser aus verschiedenen Quellen genutzt: Brauchwasserbrunnen (Grünflächen, Sportplätze), Oberflächenwasser

(Rasenflächen des Freibads) und Trinkwasser (Schulsportplätze). Das Brauchwasser der Grünflächen entstammt nach kurzer Uferfiltration einem Brunnen aus der Werre und wird per Tankwagen im Stadtgebiet verteilt. Vor allem in den trockenen Sommermonaten bei Niedrigwasser besteht ein nicht unerheblicher Wasseranteil der Werre (ca. 30 – 45 %) aus den Einleitungen der oberliegenden Kläranlagen. Zudem existieren Soleeinleitungen im Oberlauf aus Bad Salzuflen und Bad Oeynhausen aufgrund von artesischen Solelagen und Abschlagwasser der Quellen. Das entnommene Uferfiltrat und insbesondere das verwendete Oberflächenwasser ist daher je nach Einleitungsverhalten aus den Solelagen vom hohen Salzgehalt des Gewässers und durch Kläranlageneinleitungen geprägt. Saisonal kommt es bereits jetzt schon in den trockenen Monaten von April bis Oktober zu Konflikten hinsichtlich der Wassernutzung zwischen Privathaushalten, Landwirtschaft, Stadtgrünbewässerung und Gewerbe. [1] Im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit wird die Bevölkerung der Stadt Bad Oeynhausen durch eine „Trinkwasser- Ampel“ über die aktuelle Situation der Trinkwasserversorgung informiert mit dem Aufruf, das Verhalten bezüglich des Trinkwassergebrauches möglichst anzupassen.



Abb. 2: Trinkwasserampel

Diesen Nutzungskonflikten könnte die Stadt Bad Oeynhausen durch die Wiederverwendung von weitergehend aufbereitetem Abwasser zur urbanen Bewässerung begegnen. Der Betrieb einer solchen Wasserwiederverwendungsanlage trägt zu einer klimaresilienten Bewirtschaftung der lokalen Wasserressourcen bei und schont diese aufgrund von Einsparungen von benötigten Trink- und Grundwassermengen. Die Wasserwiederverwendung erhöht während klimatisch bedingten Dürrephasen die Versorgungssicherheit für die Grünflächenpflege und reduziert den Druck auf die Trink- und Grundwasserressourcen.

Forschungsvorhaben DigiWaVe

Seit November 2022 befindet sich eine vierte Reinigungsstufe mit granulierter Aktivkohlefiltration im Regelbetrieb auf der Kläranlage Bad Oeynhausen. Diese soll nun im

Rahmen des BMBF-geförderten Forschungsvorhabens „DigiWaVe – Digitale Lösungen für eine ressourceneffiziente und sichere Wasserwiederverwendung im urbanen Raum“ [2] (Projektlaufzeit: September 2023 bis August 2025) um eine UV-Desinfektion erweitert und die praktische Umsetzung einer Wasserwiederverwendung am Beispiel der Stadtgrünbewässerung erprobt werden. Hierzu werden digitale, KI-basierte Tools entwickelt und getestet, die die weitergehende Wasseraufbereitung mittels UV-Desinfektion auf der Kläranlage Bad Oeynhausen steuern und optimieren sowie eine bedarfsgerechte Bewässerung ermöglichen sollen. Ein enger Austausch bei der Entwicklung der digitalen Werkzeuge mit dem Personal der Stadtbildpflege und der Kläranlage erhöht hierbei die personelle Entlastung sowie die Akzeptanz bei der späteren Umsetzung der Bewässerungsmaßnahme. [3]



Abb. 3: Forschungsinhalte DigiWaVe

Zukünftige Perspektiven

Nach Abschluss des Forschungsvorhabens soll eine ca. 3 km lange Brauchwasserleitung von der Kläranlage Bad Oeynhausen zum Stadtzentrum gebaut werden, um Wasser für die urbane Bewässerung im Stadtgebiet verfügbar zu machen. Die derzeitige Bewässerung der städtischen Grünanlagen mit Tankwagen ist logistisch limitiert (verfügbare Fahrzeuge und Personal) und verursacht hohe Bewässerungskosten. Die Bewässerung mit Trinkwasser ist nur sehr eingeschränkt möglich und muss in Hitzesommern ganz ausgesetzt werden. Eine leitungsgebundene Bewässerung reduziert Transportwege durch verteilte Entnahmepunkte und ermöglicht in Leitungsnähe automatisierte Bewässerungstechniken.

Genehmigungsfähigkeit

Für die Nutzung des aufbereiteten Abwassers sind Anlagen- und Nutzungsgenehmigung essenziell. Mit Inkrafttreten der EU-Verordnung über Mindestanforderungen für die Wasserwiederverwendung [4] am 23.06.2023 ist der rechtliche Rahmen für die Genehmigungsfähigkeit grundsätzlich geschaffen. Aufgrund der aktuell noch nicht verfügbaren nationalen Umsetzungsrichtlinien sowie der bisher sehr wenigen umgesetzten Maßnahmen ist die Verunsicherung im Abstimmungsprozess zur Genehmigungsfähigkeit zur Nutzung weitergehend aufbereiteten Abwassers seitens aller eingebundenen Akteure groß (Wasserversorgung, Abwasserentsorgung, Wasserbehörden, Gesundheitsamt, usw.). Das geforderte Risikomanagement soll möglichst viele potentielle Risiken, die bei der Nutzung des wiederverwendeten Wassers entstehen können, minimieren. Jedoch wird über die Größe des hinnehmbaren Restrisikos durchaus kontrovers diskutiert. Es gilt, einen konstruktiven Austausch zwischen verschiedenen Genehmigungsbehörden, der Arbeitssicherheit und der Hygieneüberwachung einzuleiten, um gemeinsam alle relevanten Aspekte berücksichtigen zu können. In Bad Oeynhausen hat dieser Prozess begonnen.

Literaturangaben

- [1] S. Schölzel, C. Jantzen, S. Brants, J. Hunsicker, Bewässerung von Stadtgrün mit dem Ablauf kommunaler Kläranlagen, Neue Landschaft - Fachzeitschrift für Garten-, Landschafts-, Spiel- und Sportplatzbau, Juli 2024, 69. Jahrgang, Seiten 36–40
- [2] Dr. U. Miehe et al., Digitale Lösungen für eine ressourceneffiziente und sichere Wasserwiederverwendung im urbanen Raum (DigiWaVe) Vorhabenbeschreibung, März 2023
- [3] S. Schölzel; Dr. U. Miehe; S. Brants; S. Dück, Von der vierten Reinigungsstufe zur Wasserwiederverwendung, wwt - Modernisierungsreport 23/24, Sonderausgabe der Fachzeitschrift wwt wasserwirtschaft wassertechnik, Seite 38 - 42
- [4] Verordnung (EU) 2020/741 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Mai 2020 über Mindestanforderungen an die Wasserwiederverwendung, Amtsblatt der Europäischen Union L 177/32–55 vom 5. Juni 2020

NACHHALTIGES ABWASSERMANAGEMENT MIT RESSOURCENORIENTIERTEN SANITÄRSYSTEMEN

Jonas Kleckers

Kurzfassung

Abwassersysteme sind infolge des Klimawandels und der Ressourcenknappheit mit zunehmenden Herausforderungen konfrontiert. Die Nutzung von Abwasser als Ressource rückt dabei vermehrt in den Fokus. Neben zentralen Systemen ermöglichen Ressourcenorientierte Sanitärsysteme (NASS) durch eine getrennte Erfassung einzelner Schmutzwasserteilströme (z. B. Grauwasser oder Urin) eine gezielte Behandlung und effiziente Wiederverwendung und/oder Ressourcenrückgewinnung direkt vor Ort. Zusätzlich können NASS die bestehende Infrastruktur entlasten und die Flexibilität von Abwasserinfrastrukturen erhöhen.

Anhand verschiedener Praxisbeispiele werden aktuelle Einsatzgebiete von NASS in verschiedenen Größenordnungen vorgestellt. Weiterhin werden mit dem Projekt „Be-Reit“ die Vorteile einer Urinseparation auf die bestehende Infrastruktur verdeutlicht. Das Projekt demonstriert, dass die Integration der Urinseparation im Einzugsgebiet einer Kläranlage den Belüftungsbedarf, die Stickstoffablaufkonzentrationen und die Spurenstoffemissionen reduzieren kann.

Schlüsselwörter

Kläranlage, NASS, Ressource, Ressourcenorientierte Sanitärsysteme, Simulation, Stoffstromtrennung

1 Einleitung

Sich stetig verändernde Rahmenbedingungen wie der Klimawandel, der demografische Wandel und steigende Anforderungen an die Abwasserbehandlung sowie eine Ressourcenverknappung stellen Abwassersysteme vor besondere Herausforderungen. Zusätzlich rücken Anforderungen wie Anpassungsfähigkeit, Erweiterbarkeit, Flexibilität, Ressourceneffizienz und Ressourcenrückgewinnung vermehrt in den Fokus. Dabei steht Flexibilität und Anpassungsfähigkeit im Widerspruch zur gängigen Praxis, in welcher Abwasserinfrastrukturen aufgrund ihrer hohen Anfangsinvestitionen und langen Nutzungsdauern eine hohe Pfadabhängigkeit aufweisen [1]. In der Vergangenheit lag der Fokus zudem auf der Elimination von Abwasserinhaltsstoffen und weniger auf deren Nutzung. Dabei hat Abwasser ein enormes Ressourcenpotential [24].

Dass ein Umdenken stattfindet, wird besonders durch den stetigen Zuwachs der Biogas- und Stromproduktion auf Kläranlagen [2], die verpflichtende Phosphorrückgewinnung aus Klärschlämmen (AbfKlärV 2017), die EU-Verordnung zur Wasserwiederverwendung (2020/741) und die EU-Kommunalabwasserrichtlinie (2024/3019) deutlich. Gegenstand der letzteren ist es u. a. einen „Beitrag zum Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft zu leisten“.

2 NASS

An dieser Stelle können Ressourcenorientierter Sanitärsysteme (NASS, früher: Neuartige Sanitärsysteme) einen Beitrag leisten die Ressource Abwasser effizienter zu nutzen und dabei Abwasserinfrastrukturen flexibler und nachhaltiger zu gestalten. Das Grundprinzip ist die getrennte Erfassung und Behandlung von einzelnen Schmutzwasserteilströmen. Dazu zählen beispielsweise Urin, Grauwasser (fäkal-freies Abwasser), Schwarzwasser (Fäkalien mit Spülwasser) oder Fäzes als solche. Dadurch werden gering belastete Teilströme (Grauwasser) von nährstoffreichen Teilströmen (Urin oder Schwarzwasser) getrennt, wodurch eine effizientere Aufbereitung und Nutzung der vorhandenen Ressourcen möglich ist. Durch Grauwasserrecycling kann Trinkwasser eingespart werden [3]. Die getrennte Erfassung von Grauwasser hat zudem ein hohes Potential die im Abwasser vorhandene Wärme effizient über Wärmetauscher oder Wärmepumpen zurückzugewinnen [4]. Schwarzwasser kann über Unterdrucktoiletten gesammelt werden und über eine Unterdruckentwässerung unmittelbar einer anaeroben Behandlung zugeführt werden. Aus den Gärresten können wiederum Nährstoffe wie Stickstoff und Phosphor zurückgewonnen werden [5]. Über Trockentoiletten gesammelte Fäzes oder Fäkalien können unmittelbar zu hygienisch einwandfreiem Humus-Dünger verarbeitet werden [6]. Aus dem nährstoffreichen Stoffstrom Urin kann direkt Dünger hergestellt werden [7]. Die rechtliche Zulassung der Düngemittelprodukte von NASS stellt noch eine Herausforderung dar [8]. Seit 2018 wurde erstmals ein Dünger aus Urin in der Schweiz und darauffolgend 2019 in Lichtenstein und 2022 in Österreich zugelassen [9].

NASS schließen Wasser- und Nährstoffkreisläufe und können damit zur zirkulären Wertschöpfungskette beitragen. Sie zeigen ein erhebliches Potential das Treibhausgaspotenzial, Eutrophierungspotenzial und den Primärenergiebedarf von Abwasserinfrastrukturen zu reduzieren [10] und können den Eintrag von antibiotikaresistenten Keimen durch Überlaufereignisse reduzieren [11].

3 Praxisbeispiele

Da NASS eine Vielzahl von Technologien umfassen, sind auch die Anwendungsbeispiele vielfältig und hängen stark von den lokalen Gegebenheiten ab. NASS werden

auf verschiedenen Größenordnungen von einzelnen Wohneinheiten bis zu ganzen Stadtquartieren eingesetzt. Die hier dargestellten Projekte stellen eine Auswahl dar, welche besonders die Vielfältigkeit darstellen soll.

Trockentoiletten oder Trockentrenntoiletten werden zunehmenden im öffentlichen Raum (z. B. Berlin [12], Köln [13], Leipzig [14] oder auf Musikfestivals eingesetzt [15]). Sie eignen sich besonders an Standorten, wo der Zugang zur bestehenden Infrastruktur (Trinkwassernetz, Kanalisation) nur begrenzt möglich oder nicht vorhanden ist. In Eberswalde wird seit mehreren Jahren Deutschlands erste Fäkalkompostieranlage betrieben [16].

Projekte mit einer Grauwasserseparation werden bereits seit vielen Jahren umgesetzt (z. B. Passivhaus Arnimplatz in Berlin, Block 6 in Berlin [4], Ecoquartier Pfaffenhofen [17]). Das aufbereitete Grauwasser wird meistens für die Toilettenspülungen wiederverwendet.

Die Schwarzwasserseparation über Unterdrucktoiletten mit einer anschließenden anaeroben Behandlung wird besonders auf Quartiersebene eingesetzt. Beispiele hierfür sind die Jenfelder Au in Hamburg, H+ in Helsingborg (Schweden) oder De Nieuwe Dokken in Gent (Belgien) [18]. In jedem dieser Projekte werden die Schmutzwasserströme von mehr als 1000 Personen behandelt und aufbereitet. Die Stoffstromtrennung ermöglicht eine effiziente Ressourcennutzung. So werden im Projekt H+ 80 bis 90 % des Wassers wiederverwendet und 95 % des Phosphors und 80 % des Stickstoffs zurückgewonnen. Durch die Biogasanlage werden 120 kWh_{Biogas} und durch Wärmerückgewinnung 800 kWh_{Wärme} pro Einwohner und Jahr erzeugt bzw. zurückgewonnen [19].

Am Forschungsinstitut EAWAG in der Schweiz wird seit Jahren an der Aufbereitung von Urin geforscht. Aus dieser Forschung ist das Spin-Off VUNA GmbH entstanden, welches das Urinaufbereitungsverfahren VUNA vertreibt. Die Urinseparation und Aufbereitung mit dem VUNA Verfahren wird beispielsweise seit 2023 in dem Hauptgebäude der europäischen Weltraumagentur (ESA) in Paris durchgeführt [20]. Eines der größten Projekte entsteht gerade im 14. Arrondissement in Paris. Dort wird ein vollständiges Quartier mit etwa 600 Wohnungen und Geschäften mit einer Urinseparation und semizentralen Behandlung auf Quartiersebene ausgestattet. Ein Treiber für die Urinseparation sind neben Nachhaltigkeitskriterien die bereits ausgelasteten Pariser Kläranlagen, welche somit den abgetrennten Stickstoff nicht weiter behandeln müssen. Das Quartier stellt ein Pilotprojekt für die ökologische Transformation dar. Aus dem Urin wird Dünger für städtische Grünflächen hergestellt. [21]

4 Projekt „BeReit“

4.1 Veranlassung

Die Integration von NASS in bestehende Infrastruktur verändert die Schmutzwasserzusammensetzung und hat somit unmittelbar Auswirkungen auf den Kläranlagenbetrieb. Mit dem Projekt „BeReit“ (*Betriebsoptimierung von Kläranlagen und Reduktion von Spurenstoffen durch Urinseparation*) wird der Einfluss der Integration einer Urinseparation auf bestehende Infrastruktur am Beispiel von Münster-Hiltrup mittels Simulationsmodellen untersucht. Die Abtrennung von Urin ermöglicht die Nutzung der im Urin enthaltenen Ressourcen (Stickstoff, Phosphor und Kalium) und entlastet gleichzeitig die Kläranlage durch reduzierte Stickstoff- und Phosphorzulaufmengen. Ein besonderer Fokus liegt auf der räumlichen Integration der Urinseparation: Gibt es Regionen/Quartiere, in denen die Urinseparation die Kläranlage besonders entlastet? Zusätzlich wird der Einfluss einer Urinseparation auf die Spurenstoffemissionen der Kläranlage Münster-Hiltrup betrachtet. Da etwa 64 % der Spurenstoffe über Urin ausgeschieden werden [22], kann durch eine Separation eine Verdünnung durch volumenreiche Schmutzwasserteilströme (z. B. Grauwasser) verhindert und damit eine effiziente Aufbereitung und Entfernung der Spurenstoffe gewährleistet werden.

4.2 Methodik

Das Untersuchungsgebiet Münster-Hiltrup liegt im Süden von Münster und wird zum Großteil im Trennsystem entwässert. In dem Projekt wurden an zwei Pumpwerken im Einzugsgebiet und an der Kläranlage Münster-Hiltrup innerhalb drei einwöchiger Messkampagnen die Schmutzwassermengen und -zusammensetzungen in einer hohen zeitlichen Auflösung mittels 2h-Mischproben erhoben. Die Daten wurden für die Kalibrierung und Validierung eines stochastischen Schmutzwasseranfallmodells (in Anlehnung an [23]) genutzt. Das Schmutzwasseranfallmodell ermöglicht eine Simulation der Urinseparation auf Haushaltsebene, wodurch besonders eine räumlich variable Verteilung innerhalb der einzelnen Szenarien berücksichtigt werden kann. Für die Simulation der Kläranlage wurde die Software SIMBA# (ifak GmbH) genutzt. Die untersuchten Szenarien unterscheiden sich hinsichtlich der räumlichen Verteilung der Urinseparation und des Umfangs der Urinseparation.

An einem weiteren Tag wurden die Konzentrationen von 15 Spurenstoffen an den einzelnen Messstellen erhoben. Über eine Massenbilanzierung wurde das Reduktionspotential einer Urinseparation hinsichtlich der Spurenstoffe im Einzugsgebiet bewertet. Hierfür wurden Daten hinsichtlich der Ausscheidungswege (Urin/Fäzes) einzelner Spurenstoffe und Wirkungsgrade für verschiedene Behandlungsverfahren (konventionelles Belebungsverfahren, Aktivkohle, Schwebbett-Biofilm-Verfahren)

erhoben. Für die Potentialabschätzung wurde eine vollständige Urinseparation angenommen.

4.3 Vorläufige Ergebnisse

Exemplarisch wird hier der Einfluss einer 50 %igen Urinseparation auf den Betrieb der Kläranlage Münster-Hiltrup gezeigt. In Abb. 1 ist das Urinseparationszenario dargestellt. Der Urin von etwa 50 % der angeschlossenen Einwohner wird im Norden und Osten Hiltrups abgetrennt.

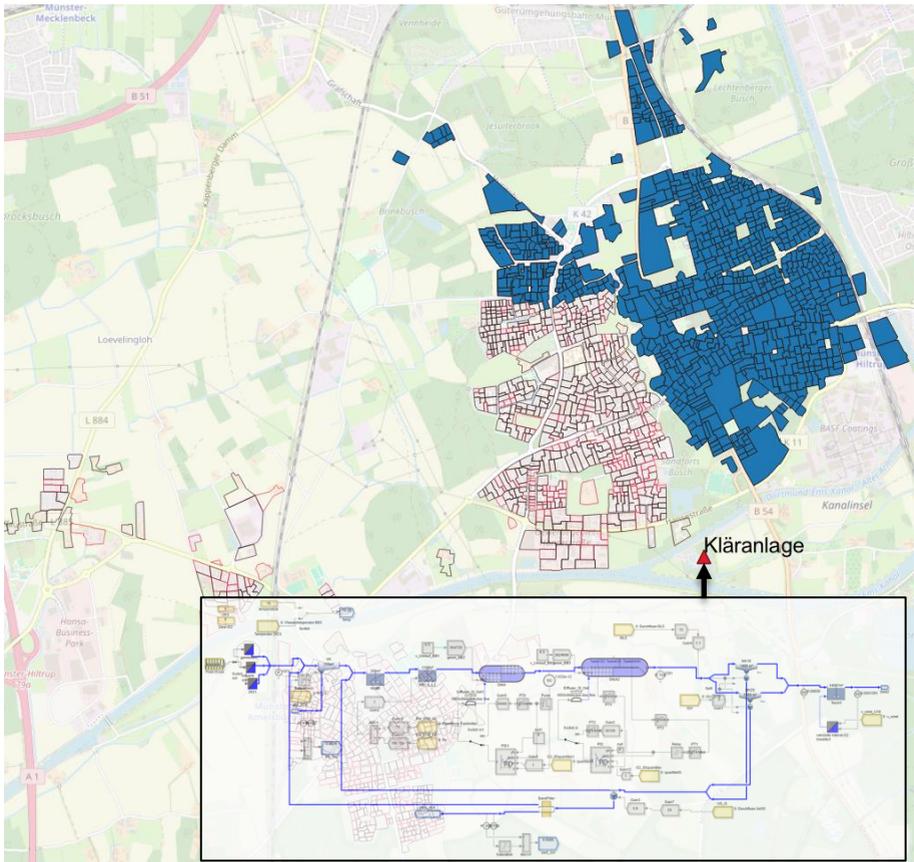


Abb. 1: Urinseparation (blau) im Einzugsgebiet der Kläranlage Münster-Hiltrup (K. Brandherm; OpenStreetMap) und die Umsetzung der Kläranlage Münster-Hiltrup in SIMBA#

Durch die Urinseparation wird der Belüftungsbedarf auf der Kläranlage Hilstrup für den betrachteten Zeitraum einer einwöchigen Messkampagne um 28 % reduziert. Die Ammoniumkonzentrationen im Ablauf der Nachklärung bleiben aufgrund der Belüftungssteuerung, welche nach Ammoniumkonzentrationen gesteuert wird, konstant. Die Nitratkonzentrationen reduzieren sich von 0,55 mg/L auf 0,07 mg/L (-88 %)

Eine vollständige Urinseparation ermöglicht eine Reduktion der Emissionen der untersuchten Spurenstoffe in den Vorfluter um 73 % (Mittelwert) bzw. 88 % (Median). Im Ausgangszustand werden auf der Kläranlage etwa 38 % (Mittelwert) bzw. 27 % (Median) der Spurenstoffe entfernt. Der wesentliche Einflussfaktor ist der Anteil der Spurenstoffe, welche über den Urin ausgeschieden werden.

5 Fazit

Um aktuelle und zukünftige siedlungswasserwirtschaftliche Herausforderungen anzugehen, bedarf es einer flexiblen und nachhaltigen Abwasserinfrastruktur. Ein zentrales Element für ein nachhaltiges Abwassermanagement stellt die Nutzung der Ressource Abwasser und der im Abwasser vorhandenen Ressourcen dar. Mit NASS können diese Ressourcen effizienter wiederverwendet und/oder zurückgewonnen werden. Aktuelle Umsetzungsbeispiele von NASS zeigen deren vielfältige Einsatzbereiche von öffentlichen Sanitäreinrichtungen über einzelne Wohnungen/Gebäude bis zur Quartiersebene. Dadurch können NASS die Flexibilität bestehender Infrastruktur erhöhen. Mit dem Projekt „BeReit“ wird verdeutlicht, dass die Integration von NASS in eine bestehende Infrastruktur diese zusätzlich erheblich entlasten kann. Insbesondere eine Urinseparation im Einzugsgebiet einer zentralen Kläranlage ist für deren Betrieb vorteilhaft.

6 Danksagung

Dieser Beitrag wurde vom Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen im Rahmen des Programms „ResA II“ gefördert. Zusätzlicher Dank gilt dem Amt für Mobilität und Tiefbau der Stadt Münster für die Zusammenarbeit und dessen Unterstützung.

7 Literatur

[1] T. Hillenbrand, K. Eckartz, H. Hierssl, C. Hohmann, und J. Niederste-Hollenberg, „Transition urbaner Wasserinfrastruktursysteme – notwendig und machbar?“,

Korrespondenz Abwasser Abfall KA, Bd. 2, Nr. 65, S. 121–129, 2018, doi: 10.3242/kae2018.02.003.

[2] Statistisches Bundesamt (Destatis), „Sewage gas extraction, utilisation and distribution: Germany, years (Code: 43381-0001)“.

[3] O. R. Al-Jayyousi, „Greywater reuse: towards sustainable water management“, *Desalination*, Bd. 156, Nr. 1–3, S. 181–192, 2003, doi: 10.1016/S0011-9164(03)00340-0.

[4] E. Nolde, „Dezentrale Wärmerückgewinnung aus Grauwasser - Erprobung, Optimierung und Monitoring verschiedener Technologien an unterschiedlichen Standorten“, Berlin, Abschlussbericht DBU-AZ 34056/01, 2021.

[5] H. Kjerstadius, M. Hagman, I. Bisschops, J. R. Torres, B. Meulman, L. Demolder, P. D. Smet, N. Morales, J. Vazquez-Padin, und F. Rogalla, „Full scale resource recovery from domestic wastewater in Europe“, in *Abstract of poster presentation at the IWA World Water Congress and Exhibition*, Tokyo, Japan: International Water Association (IWA), 2018.

[6] J.-O. Boness, T. Kautz, und R. Hoffmann-Bahnsen, „Konzentrationen seuchenhygienisch relevanter Indikatororganismen im Boden nach Düngung mit Kompost aus menschlichen Fäkalien“, gehalten auf der 135. VDLUFA-Kongress Karlsruhe, Karlsruhe, 2024.

[7] K. M. Udert und B. Etter, „Vom Urin zum Dünger“, *AQUA GAS*, Bd. 96, Nr. 3, S. 62–69, 2016.

[8] P. M. Schulz, „Rechtlicher Rahmen für die Verwertung von Stoffen aus neuartigen Sanitärsystemen“, *Zeitschrift für deutsches und europäisches Wasser-, Abwasser- und Bodenschutzrecht*, Bd. 7, Nr. 4, S. 204–214, 2018.

[9] EAWAG, „Aurin - der Dünger aus Urin“. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.eawag.ch/de/abteilung/eng/projekte/aurin-duenger-aus-urin/#:~:text=Aurin%20als%20Endprodukt,Recycling%2DD%C3%BCnger%C2%BB%20in%20Gebrauch> (abgerufen am 13.12.2024).

[10] J. Kleckers, A. Steinkamp, R. Arendt, J. Rummler, V. Bach, M. Finkbeiner, und J. Haberkamp, „Leitfaden RessourcenPlan – Teil 2.2: Ressourcenmanagement Schmutzwasser“, FH Münster, IWARU Institut für Infrastruktur-Wasser-Ressourcen-Umwelt, Münster, 2023, doi: 10.25974/fhms-15754.

- [11] J. Londong, „HOSS: Ein Hygiene-orientiertes Siedlungsentwässerungssystem“, *Korrespondenz Abwasser Abfall KA*, Bd. 2022, Nr. 1, S. 30–37, Jan. 2022, doi: 10.3242/kae2022.01.002.
- [12] Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt Berlin, „Klimafreundliche Parktoiletten für Berlin“. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.berlin.de/sen/uvk/mobilitaet-und-verkehr/infrastruktur/oeffentliche-toiletten/klimafreundliche-parktoiletten/> (abgerufen am 13.12.2024).
- [13] S. Hofer, „Trockentoilette: ‘Holy Shit’ in Köln“, gwf. [Online]. Verfügbar unter: <https://gwf-wasser.de/forschung-und-entwicklung/trockentoilette-holy-shit-in-koeln/> (abgerufen am 13.12.2024).
- [14] Stadt Leipzig, „Leipzig-Reudnitz: Öffentliche Toiletten im Lene-Voigt-Park eröffnet“. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.leipzig.de/newsarchiv/news/leipzig-reudnitz-oeffentliche-toiletten-im-lene-voigt-park-eroeffnet> (abgerufen am 13.12.2024).
- [15] 3sat, Die Ärzte – Nachhaltige Konzerte: Wie Trockentoiletten Wasser sparen. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.3sat.de/wissen/nano/241014-die-aerzte-nachhaltige-konzerte-und-trockentoiletten-nano-100.html> (abgerufen am 13.12.2024).
- [16] A. Krause, C. von Hirschhausen, E. Schröder, F. Augustin, F. Häfner, G. Bornemann, G. Sundermann, J. Korduan, KM. Udert, L. Deutsch, ML. Reinhardt, R. Götzenberger, S. Hoffmann, S. Becker-Sonnenschein, „Ressourcen aus der Schüssel sind der Schlüssel – Wertstoffe zirkulieren, Wasser sparen und Schadstoffe eliminieren. Diskussionspapier zur Sanitär- und Nährstoffwende. Berlin, Hamburg, Zürich. Verfügbar unter: www.naehrstoffwende.org (abgerufen am 13.12.2024).
- [17] A. Söfker-Rieniets, L. Vonhoegen, C. Klemm, J. Budde, B. Hörnschemeyer, M. Lewe, J. Kleckers, und C. Stretz, „Leitfaden RessourcenPlan – Teil 3.2: Lernen von anderen – Booklet ‚Best-Practice‘. Ergebnisse des Projekts R2Q RessourcenPlan im Quartier“, FH Münster, 2023. doi: 10.25974/FHMS-15759.
- [18] I. Bisschops, H. Kjerstadius, B. Meulman, und M. van Eekert, „Integrated nutrient recovery from source-separated domestic wastewaters for application as fertilisers“, *Current Opinion in Environmental Sustainability.*, Bd. 40, S. 7–13, 2019, doi: 10.1016/j.cosust.2019.06.010.

- [19] H. Kjerstadius, „Ocianhamnen“, gehalten auf der ANCHOR KICK-OFF, Ghent, Belgien, 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://cdn.hybridconferences.org/events/Anchor/Slides/Ocianhamnen.pdf> (abgerufen am 13.12.2024).
- [20] European Space Agency, „VunaNexus“. [Online]. Verfügbar unter: <https://business.esa.int/projects/vunanexus> (abgerufen am 13.12.2024).
- [21] A. Joveniaux, M. Legrand, F. Esculier, und B. De Gouvello, „Towards the development of source separation and valorization of human excreta? Emerging dynamics and prospects in France“, *Frontiers in Environmental Science*, Bd. 10, S. 976624, Nov. 2022, doi: 10.3389/fenvs.2022.976624.
- [22] J. Lienert, T. Bürki, und B. I. Escher, „Reducing micropollutants with source control: substance flow analysis of 212 pharmaceuticals in faeces and urine“, *Water Science and Technology*, Bd. 56, Nr. 5, S. 87–96, Sep. 2007, doi: 10.2166/wst.2007.560.
- [23] O. Bailey, J. A. M. H. Hofman, T. C. Arnot, Z. Kapelan, M. Blokker, und J. Vreeburg, „Developing a Stochastic Sewer Input Model to Support Sewer Design Under Water Conservation Measures“, in *New Trends in Urban Drainage Modelling*, G. Mannina, Hrsg., in Green Energy and Technology. , Cham: Springer International Publishing, 2019, S. 74–78. doi: 10.1007/978-3-319-99867-1_13.
- [24] H. Steinmetz, „Abwasser – Rohstoff statt Reststoff“, Themenheft Forschung Wasser und Umwelt, Nr. 8, 2012

WASSERBEWUSSTE
STADT – BLAU-GRÜNE
INFRASTRUKTUR

BLAU-GRÜNE TRANSFORMATION EINER REGION – MISSION (IM)POSSIBLE?

Andreas Giga

Kurzfassung

Die Folgen der Klimakrise sind in unseren Städten immer stärker spürbar. Mit zunehmendem Anteil versiegelter Flächen und Fassaden resp. dem geringeren Anteil an Grün- und Wasserflächen verstärken sich die Auswirkungen von Starkregen und Hitze. Dies betrifft besonders Ballungsräume wie das Ruhrgebiet. Eine maßgebliche Aufgabe ist es, damit unserer Städte weiterhin lebenswert bleiben, diese klimaangepasst und wasserbewusst umzubauen. Es braucht eine echte blau-grüne Transformation - für eine ganze Region. Doch wer setzt die vielen Maßnahmen um? Wie kann diese notwendige Transformation gelingen? Ist dies eine Mission (im)possible? Die Zukunftsinitiative Klima.Werk (früher „Wasser in der Stadt von morgen“) (ZI) [1] ist seit 2014 aktiv. Das fach- und städteübergreifende Netzwerk aus inzwischen 17 Kommunen im Emscher- und Lipperaum ist zugleich Kommunikator, Initiator und Umsetzer. Im Rahmen des vom Land geförderte Projekt „Klimaresiliente Region mit internationaler Strahlkraft“ [2] sollen bis 2030 im Bestand 250 Mio. EUR für Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung investiert werden.

Schlüsselwörter,

Schwammstadt, Klimaanpassung, blau-grüne Transformation, wasserbewusste Stadtentwicklung, integrale Zusammenarbeit, Zukunftsinitiative Klima.Werk, „Klimaresiliente Region mit internationaler Strahlkraft“

1 Einführung

In urbanisierten Regionen wie dem Ballungsraum zwischen Emscher und Lippe kann Regenwasser durch den hohen Versiegelungsanteil nur in geringem Anteil in den natürlichen Wasserkreislauf gelangen. Stattdessen wird es - mit Schmutzwasser vermischt - über das Mischwasserkanalnetz Richtung Kläranlage abgeleitet. Die Folgen für den natürlichen Wasserkreislauf sind u. a. eine verringerte Grundwasserneubildung und weniger Verdunstung. Durch den Klimawandel machen sich diese Änderungen mehr und mehr negativ bemerkbar. Der blau-grüne Umbau der Region, mit dem Ziel des Erhalts bzw. der Wiederherstellung naturnaher Wasserbilanzen, ist essenziell für mehr Klimaresilienz.

Die große Herausforderung liegt in der breiten Umsetzung von Maßnahmen in den über Jahrzehnte gewachsenen Siedlungsstrukturen. Hier kommen - Finanzierungsfragen, Zuständigkeitsdenken, Eigentumsverhältnisse, technische und gesetzliche Anforderungen, Skepsis aufgrund von Unkenntnis oder der Notwendigkeit, die bequemen bekannten Pfade bisherigen Agierens zu verlassen - zusammen und lassen dieses Vorhaben mehr und mehr als „Mission impossible“ erscheinen.

2 Gemeinsame Verantwortung übernehmen

Damit die blau-grüne Transformation im Bestand gelingt, braucht es eine breite Trägerschaft und Umsetzungsbereitschaft vieler Akteur:innen und Eigentümer:innen. Statt „Zuständigkeitsdenken“ hilft ein Verständnis einer gemeinsamen Verantwortung für die Aufgaben. Es braucht die Menschen, die diese Anpassung an den Klimawandel wollen und unterstützen, ob in Stadtverwaltungen oder in privaten oder gewerblichen Bereichen. Bezüglich des Bewusstseins in der Zivilgesellschaft ist auffällig, dass es oft nach Starkregenereignissen eine höhere Bereitschaft gibt, Maßnahmen in die Umsetzung zu bringen. Solche Phasen sind intensiv für das Anstoßen von Projekten oder die Sensibilisierung für das Thema allgemein zu nutzen, bevor neue Schlagzeilen weiter in den Vordergrund treten („Katastrophendemenz“).

Im Bereich der kommunalen Verwaltungen muss die Anpassung an die Folgen des Klimawandels als integrale Anforderung an die Planung, den Bau und den Betrieb von Entwässerungssystemen auf breiter Ebene 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. Wie so oft hängt auch der Erfolg dieser Generationenaufgabe weniger an den technischen Möglichkeiten als an der Bereitschaft von Menschen, sich auf neue Wege einzulassen.

3 Zukunftsinitiative Klima.Werk

Um unter anderem die o. g. kontinuierliche Unterstützung zu gewährleisten und Motor für dieses Thema zu sein, gibt es seit 2014 die Zukunftsinitiative Klima.Werk (vormals „Wasser in der Stadt von morgen“) (ZI). Die ZI ist ein kollaborativ arbeitendes Netzwerk für wasserbewusste Stadtentwicklung. Seit über 10 Jahren wird fach- und städteübergreifend in einer bestimmten „ZI-Kultur“ gemeinsam an der blau-grünen Transformation gearbeitet. EGLV sowie bislang 17 Emscher-Lippe-Kommunen in Kooperation mit anderen Wasserverbänden, Institutionen oder weiteren Akteuren übernehmen gemeinsam Verantwortung.

Eine einmal jährlich stattfindende Vernetzungs- und Innovationsplattform (ZI-Expertenforum), agile Arbeitsgruppen für bestimmte Themen oder Fragestellungen (ZI-Expertennetzwerke) oder der regelmäßige Austausch der Ansprechpartner:innen in den Städten für Klimafolgenanpassung (ZI-Stadtkoordinatorentreffen) sind einige Beispiele der vielfältigen Formate. Hierüber entstehen Projektidee und Initiativen, die getragen von dem Engagement und im gegenseitigen Wissens- und Erfahrungsaustausch in die Umsetzung gebracht werden. Aber auch die Kommunikation und die Sensibilisierung für diese Themen sind wichtige Aufgaben, um vor allem innerhalb der kommunalen Verwaltungen, aber auch bei wichtigen Stakeholdern (Gewerbe, Wohnungsbau...) weitere Akteure für Maßnahmen zu gewinnen oder ein allgemeines Bewusstsein zu stärken.

Durch die Netzwerkarbeit im Klima.Werk kommen Menschen zusammen, die sonst eher nicht zusammenkommen würden und es entstehen Ideen und Dinge, die sonst vielleicht nicht gelingen könnten.



Abb. 1: Expertenforum (links) und metapolis-Magazin zum 10-jährigen Jubiläum der ZI (rechts) [Fotos: EGLV/polis]

4 Service-Organisation

Als sozialer und fachlicher „HUB“ fungiert die zentrale „Service-Organisation“ (SO) bei EGLV für das gesamte Netzwerk. Dieses rd. 30-köpfige Team ist aufgrund der Arbeitsweisen und der interdisziplinären Aufstellung seit Anfang 2020 Teil des Erfolgskonzeptes. Es ist eine Kultur der Zusammenarbeit u. a. auf Augenhöhe, integral und im gegenseitigen Interesse. Anders als in eher klassisch organisierten Strukturen wird nicht in „Zuständigkeiten“ gedacht, sondern selbstbeauftragt und mit Verantwortung für den Prozess gehandelt. Ziele, Rollen und Aufgaben werden je Thema oder Projekt gemeinsam festgelegt und dann in die Umsetzung gebracht. Die

SO berät, bündelt, unterstützt, synchronisiert, sammelt packt mit an etc. und ist mittlerweile ein wesentlicher Teil der Erfolgsgeschichte der ZI und eine Voraussetzung, damit aus der „Mission impossible“ eine echte Transformation wird. Was auch immer das Netzwerk initiiert und angeht, es wird stets im Sinne der „ZI-Kultur“ agiert, das heißt u. a.:

- Zusammenarbeit auf Augenhöhe (ohne Hierarchien).
- Des anderen Glückes Schmied sein.
- Selbstbeauftragt und nach dem „Pull-Prinzip“.
- Jeder leistet seinen Beitrag.
- Gegenstromprinzip: Bottom-Up und Top-Down.
- Agil und gemeinsam.
- Alles ist möglich, was auf das gemeinsame Ziel „Schwammstadt“ einzahlt.

5 Erfolge der Zusammenarbeit

Auf diese Weise konnten in den letzten Jahren bislang über 500 Projekte gemeinsam umgesetzt werden. Es handelt sich hierbei um „Abkopplungsprojekte“ im Bestand vom Mischsystem. Viele weitere „Produkte“ oder „Mehrwerte“ sind dadurch entstanden. Beispielhaft genannt an der Stelle das niederschwellige Förderprogramm „10.000 grüne Dächer“, das „Ausrollen“ des Projektes „Gießkannenheld:innen“ mit über 400 aufgestellten Tanks, die KlimAR-App oder das Spiel „Schwamm drunter“.



Abb. 2: Gießkannen:heldinnen und interaktives Spiel „Schwamm drunter“ [Fotos: EGLV]

6 Klimaresiliente Region mit internationaler Strahlkraft

Bemerkenswert ist das Projekt „Klimaresiliente Region mit internationaler Strahlkraft“ (KRIS), welches seit 2022 Handlungsrahmen und Perspektive für die Umsetzung

blau-grüner Maßnahmen mit dem Ziel der Abkopplung vom Mischsystem gibt. Gefördert durch das Umweltministerium NRW und in den Gebieten von Emschergenossenschaft und Lippeverband (EGLV) durch den Wasserverband weiter aufgestockt, stehen bis 2030 Finanzmittel von rd. 250 Mio. EUR zur Verfügung. Die Förderkulisse bezieht sich auf 53 Kommunen im gesamten Raum des Regionalverbandes Ruhr. Maßnahmen wie Entsiegelungen, Versickerungen, Regenwasserableitung zum Gewässer, Baumrigolen oder Dach- und Fassadenbegrünungen sind bei entsprechender Abkopplung vom Mischsystem im Bestand förderfähig. Das primäre Ziel dabei ist die räumlich konzentrierte Abkopplung von 25 % der befestigten Flächen von der Mischkanalisation. Dazu sollen entweder gebündelt Maßnahmen in den sog. „Betrachtungsräumen“ umgesetzt werden oder Einzelmaßnahmen eine entsprechende Größe haben, so dass sie wasserwirtschaftlich relevant sind. Die ZI-Service-Organisation bei EGLV fungiert dabei als zentrale Fördermitelantrag- und -weiterleitungsstelle.

7 Fazit

Die Anpassung unserer Städte an den Klimawandel und die notwendige blau-grüne Transformation ist besonders im Bestand und dicht besiedelten Städten eine große Herausforderung. Was vielleicht zunächst wie eine „Mission impossible“ aussieht, kann mit Gemeinschaftsverantwortung, Kontinuität und den passenden Strukturen und Formaten z. B. in Form eines kollaborativ arbeitenden Netzwerks Stück für Stück in die Realität umgesetzt werden. Letztlich ist das Netzwerk Motor und Unterstützer für Sensibilisierung und Umsetzung. Die Anpassung an den Klimawandel kann nicht in „Zuständigkeiten“ gedacht und mittels eines Masterplans umgesetzt werden. Es geht darum Menschen zu gewinnen und durch andere Wege der Zusammenarbeit sie durch Beteiligung und die Übernahme von Trägerschaft zu Akteur:innen machen, die umsetzen. Transformation kann nur aus den Beiträgen vieler entstehen und dafür setzt sich die ZI ein.

8 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 Geretshäuser: Für Grün – für Blau: für die Region, Transforming Cities, 3|2019.

DEZENTRALE NIEDERSCHLAGSWASSERSPEICHER ALS RÜCKHALTE- UND BEWÄSSERUNGSSYSTEM

Helmut Grüning und Nils Siering

Kurzfassung

Zu den Maßnahmen der wasserbewussten Stadtentwicklung zählen dezentrale Speicher mit multifunktionaler Wirkung. Die Ausführung dieser Systeme als Baumrigole ermöglicht die Bewässerung von Stadtbäumen, die in niederschlagsarmen Zeiträumen unter Trockenstress leiden. Die Wirkung eines von der Fa. Humberg GmbH gemeinsam mit der FH Münster entwickelten Baumrigolensystems wurde im Vergleich zu klassisch gepflanzten Referenzbäumen untersucht. Die Ergebnisse einer dreijährigen Messphase belegen die positive Wirkung der Systeme.

Schlüsselwörter

Wasserbewusste Stadt („Schwammstadt“), Bewässerung, dezentrale Speicher, Baumrigole, Versickerung

1 Einleitung und Ziele

Systemelemente der Wasserwirtschaft im urbanen Raum dienten in der Vergangenheit primär dem Zweck der Stadtentwässerung. Die klimabedingte Zunahme ausgeprägter Trockenphasen mit Unterbrechung durch intensive Niederschläge während der Sommermonate stellt vor allem in hochverdichteten urbanen Räumen eine Herausforderung dar. Vor diesem Hintergrund muss Stadtentwässerung anders gedacht werden. Intensiv genutzte und damit häufig befestigte Flächen sind in der Regel so gestaltet, dass eine zügige Ableitung des Niederschlagswassers in die Kanalisation erfolgt. Von hier aus geht es dann möglichst rasch zur Klär- oder Entlastungsanlage und damit in das Fließgewässer. Wasser im urbanen Raum darf nicht primär ab- und eingeleitet werden, sondern muss vor Ort (dezentral) im natürlichen Wasserkreislauf bleiben. Neben den ursprünglichen Zielen der Hygiene und dem Schutz der Gewässer rücken zunehmend auch die Funktionalitäten „Überflutungsvorsorge“ und „Bewässerung“ in den Fokus. Diese Funktionen erfordern in erster Linie neue dezentrale Konzepte. Dazu zählen Baumrigolen die, ausgeführt als dezentrale Speicher, multifunktional wirken [1]. Das Speicher-Baum-System einer Baumrigole kombiniert dabei

- Bewässerung des Baumes mit gespeichertem Niederschlagswasser
- Verdunstungskühlung durch den Baum

- Überflutungsvorsorge durch dezentrale Retentionsräume

Die wasserwirtschaftliche Wirkung dieser dezentralen Systeme ist komplex und so sind zahlreiche Kriterien bei der Ausführung und Bemessung zu berücksichtigen. 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).

2 Art und Ausführung

Die Quantifizierung der Wirkung einer gezielten Bewässerung durch dezentrale Speicher erfolgt hier durch vergleichende Gegenüberstellung von drei Systemen:

- System 1 „Systembaum (Sy)“: Baum innerhalb des Rigolensystems AL-VEUS. Die Bewässerung erfolgt hauptsächlich über eine 300 m² große Teilfläche des Daches der Produktionshalle.
- System 2 „Referenzbaum (Re)“: Klassisch gepflanzter Stadtbaum mit 6 m² großer Baumscheibe. Die Bewässerung erfolgt durch Oberflächenzufluss einer Pflasterfläche (Direktzufluss und Sammelrinne).
- System 3 „Schutzrostbaum (Sc)“: Baumrost zum Schutz der Baumwurzeln vor Verkehrslasten ohne offene Baumscheibe. Die Bewässerung erfolgt durch Oberflächenzufluss von einer Pflasterfläche.

Die Systeme befinden sich auf dem Firmengelände der Humberg GmbH in Nottuln (Abb. 1). Gepflanzt wurden Liquidamber styraciflua (Amerikanischer Amberbaum). Die Pflanzung erfolgte im Februar 2020 in eine ca. 12 m³ große Pflanzgrube in das Substrat Vulcatree® L 0-32. (Fa. VulcaTec) Der umgebende Boden ist mit einem k_f -Wert von $4,37 \cdot 10^{-6}$ m/s nur gering durchlässig.

In der Anfangsphase erfolgte eine Bewässerung der Bäume. Zur Optimierung des Bewässerungssystems war im Zeitraum vom 28.02.2021 bis zum 05.03.2021 eine temporäre Entnahme und Neupflanzung des Systembaumes erforderlich. Dadurch wurde die Entwicklung des Baumes in einem nicht exakt zu bezifferndem Umfang gestört.

In Abb. 2 ist das Prinzip des Baumrigolensystems zur Bewässerung des Systembaums auf dem Gelände der Humberg GmbH dargestellt. Das Niederschlagswasser

von der 300 m² großen Dachfläche wird in die beiden oberen Speicher mit einem Gesamtvolumen von 520 Liter geleitet. Von dort gelangt das Wasser über Perlschläuche in den Wurzelraum des Baumes. Ab einem gewissen Füllstand erfolgt ein Überlauf in den unteren Speicher. Das Niederschlagswasser im unteren Speicher wird von dort in den Untergrund versickert und steht dem Baum daher nicht unmittelbar zur Verfügung. Bei starken Regenereignissen, die das ganze Speichervolumen des Systems füllen, entlastet das System über einen Notüberlauf, je nach Standort in den Abwasserkanal oder in ein Oberflächengewässer.



Abb. 1: Bäume mit unterschiedlichen Systemen auf dem Gelände der Fa. Humberg GmbH (Systembaum – Referenzbaum – Schutzrostbaum v.r.n.l.)

An jedem Standort wurden der Niederschlag, die Bodenfeuchte und Bodentemperatur sowie die Füllstände in den Speichern in einem fünfminütigen Messintervall kontinuierlich erfasst. Zum Nachweis der Bewässerungsleistung wurden in den Substratkörpern der Pflanzgruben der untersuchten Projektbäume jeweils zehn Sonden der Firma TRUEBNER des Typs SMT 100 eingesetzt. Neben der Bodenfeuchte messen diese Sonden auch die Bodentemperatur in unterschiedlicher Lage innerhalb

der Pflanzgrube. Die Sonden wurden in zwei Ebenen angeordnet. Die obere Ebene liegt in einer Tiefenlage zwischen 0,20 und 0,40 m und die untere Ebene in einem Bereich zwischen 0,80 und 1,0 m.



Abb. 2: Darstellung des prinzipiellen Aufbaus des ALVEUS-Systems (Fa. Humberg)

3 Boden und Wasserverfügbarkeit

Die Entwicklung eines Baumes hängt von zahlreichen Bedingungen ab. Neben Nährstoffen und Luft ist der baumverfügbare Wassergehalt maßgeblich. Der Gehalt an pflanzenverfügbarem Wasser ist abhängig von den Wasserbindungskräften des jeweiligen Bodens. Der Zustand, bei dem der Boden (vergleichbar zu einem Schwamm) das gesamte Wasser gerade noch gegen die Schwerkraft halten kann, wird Feldkapazität (FK in Vol. %) genannt. So ist beispielsweise das Wasserbindevermögen sandiger Böden geringer. Die Feldkapazität liegt hier weit unter der Bodensättigung.

Gegen die Wasserbindungskräfte des Bodens "saugen" die Pflanzen über ihre Wurzeln Wasser zur Verdunstung aus dem Boden. Die Saugspannung der Pflanzen ist allerdings begrenzt und vermag nicht das gesamte Wasser aus dem Boden zu entnehmen. Der Grenzzustand, bis zu dem Pflanzen aus dem Boden Wasser entnehmen können, wird als Welkepunkt (WP in Vol. %) bezeichnet. Die Pflanze kann somit nur Wasser zwischen den Zuständen „Welkepunkt“ und „Feldkapazität“ nutzen. Diese Spanne entspricht 100 % des für die Pflanze nutzbaren Wassers oder auch 100 % nutzbarer Feldkapazität (nFK). Der momentane Anteil des für Pflanzen verfügbaren Wassers wird häufig in % nFK angegeben.

Ideale Böden können viel Wasser speichern und haben gleichzeitig eine hohe Belüftung. Vor diesem Hintergrund werden individuell gemischte Baumsubstrate zur Füllung der Baumgrube verwendet. Dabei handelt es sich gemäß DIN 18915 um einen technisch hergestellten Bodenersatz, der aus mehreren miteinander vermischten Stoffen besteht. Grundsätzlich ist neben dem Wassergehalt des Bodens die Bodenart bei der Beurteilung der Wasserversorgung von Pflanzen von grundlegender Bedeutung. Weitergehende Ausführungen dazu finden sich in [2].

Der Wasserbedarf von Bäumen ist abhängig von ihrer Art und Größe. Manche Bäume können direkt im Wasser gedeihen und andere halten auch längere Phasen mit geringem Wasserangebot stand. Untersuchungen zeigen, dass bei Werten unterhalb von 40 % nFK die Transpirationsleistung abnimmt [3], [4], [5]. Es entsteht Trockenstress. Neben dem Trockenstress führen längerfristig komplett mit Wasser gefüllte Poren zu einem Luftmangel für die Wurzeln und einer eingeschränkten Nährstoffaufnahme. Der Beginn einer Gefahr durch Sauerstoffmangel wird teilweise mit Werten ab 80 % nFK angegeben. Bei Werten von über 100 % nFK tritt Staunässe ein. Die Gefahr von Fäulnisschäden besteht insbesondere bei bindigen Böden mit geringem Grobporenanteil [5]. Dabei variiert die Empfindlichkeit gegenüber Staunässe abhängig von der Baumart. Nach [6] führt bei *Acer campestre* bereits ein Zeitraum von 10 % des Jahres unter gesättigten Verhältnissen zu signifikanten Wachstumseinbußen. In Extremfällen entsteht Wurzelfäule. Der optimale Bereich des baumverfügbaren Wassers ist abhängig von der Art des Baumes. Die GALK-Straßenbaumliste bietet umfassende Informationen zu Ansprüchen und Wuchs unterschiedlicher Baumarten [7].

4 Langfristiges Bewässerungsverhalten

Bäume können extrem anpassungsfähig sein. Baumrigolen sollen die Baumentwicklung durch gezielte Bewässerung unterstützen. Dieses Ziel kann mit gezieltem Rückhalt als Beitrag zur Überflutungsvorsorge kombiniert werden, wenn wasserwirtschaftliche Kompetenz mit Baumsachverstand Hand in Hand gehen. Das beginnt bei

der Auswahl geeigneter Bäume und passenden Baumstandorten und geht bis zu angepasster Wasserzuführung in den Wurzelraum unter Berücksichtigung des Wassergehaltes im Boden. Bäume benötigen vor allem in den ersten Jahren eine ausreichende Wasserzuführung. Etablierte Bäume mit Wurzeln, die in tiefere Schichten reichen, überstehen auch längere Trockenphasen. Ziel muss es sein, die Lebensdauer von Stadtbäumen über viele Jahrzehnte zu gewährleisten.

Im Rahmen des Projektes BeGrüKlim wurden über einen mehrjährigen Zeitraum die Bodenfeuchten als prozentualer Anteil der nutzbaren Feldkapazität ermittelt. Abb. 3 bis Abb. 5 zeigen die Jahresverläufe von 2022 bis 2024 für die jeweiligen Systeme „Systembaum (Sy)“, Referenzbaum (Re) und Schutzrostbaum (Sc). Dargestellt sind über den Zeitraum eines Jahres:

- Niederschlag (Tagessummen) und Temperatur
- Füllstand im oberen Bewässerungsspeicher
- Bodenfeuchte in einer Tiefenlage der Feuchtesonden von 20 bis 40 cm
- Bodenfeuchte in einer Tiefenlage der Feuchtesonden von 80 bis 100 cm

Die Jahre sind durch unterschiedliche Jahresniederschlagsverläufe und Jahresniederschlagssummen gekennzeichnet (Tabelle 1). Das Jahr 2022 war außergewöhnlich trocken. Die Werte im Bundesdurchschnitt wiesen ein Minus von 40 % im Vergleich zur Referenzperiode von 1961 bis 1990 auf. Dies führte gemäß DWD zur geringsten Bodenfeuchte unter Gras seit 1961. Das Jahr 2023 war mit einer Jahresniederschlagshöhe von 1220 mm in NRW das nasseste Jahr im Bundesdurchschnitt. Die überdurchschnittlich hohen Niederschläge setzten sich in 2024 fort. Das hydrologische Winterhalbjahr (Nov. 23 bis Apr. 24) war in Deutschland das nasseste seit Messbeginn. Alle drei Jahre sind durch hohe Temperaturen auf Rekordniveau gekennzeichnet.

Tabelle 1: Jahresniederschläge von 2022 bis 2024 in mm

Jahr	Standort	NRW	BRD	Referenz NRW
2022	528	737	670	875 (1961-1990)
2023	1016	1220	958	
2024	848	1067	903	

Im Jahr 2022 führten niederschlagsarme Phasen in den Sommermonaten Juli und August zu tageweise leerem Bewässerungsspeicher. In diesem Zeitraum nahm der Wassergehalt bei den Referenzbäumen deutlich ab und erreichte zwischenzeitlich

Trockenstressphasen mit Werten unterhalb von 40 % nFK. Der Schutzrostbaum war in der zweiten Jahreshälfte 2022 mehrere Wochen unterversorgt. Der Systembaum konnte konstant mit ausreichend Wasser versorgt werden.

Im Jahr 2023 führten niederschlagsarme Phasen im Zeitraum von Mai bis September zu einer zeitweise deutlichen Abnahme des pflanzenverfügbaren Wassers bei den Referenzsystemen. Auch hier war im Zeitraum von Mai bis Juli nur ein begrenztes Wasserdargebot von unter 40 % nFK verfügbar. In dieser Zeit sind Schwankungen des Füllstandes im Bewässerungsspeicher erkennbar. Allerdings kam es nicht zu Phasen mit leerem Speicher.

Im vergleichsweise niederschlagsreichen Jahr 2024 war der Speicher dauerhaft gefüllt. Allerdings ist davon auszugehen, dass sich die Perlschläuche zwischenzeitlich mit Feinmaterial zugesetzt haben, so dass eine effektive Bewässerung des Systembaumes nicht mehr stattgefunden hat. Phasen mit Trockenstress traten nicht auf, allerdings sind auch keine nennenswerten Unterschiede zwischen den Wassergehalten innerhalb der jeweiligen Systeme erkennbar.

Maßgeblichen Einfluss auf die Bewässerung durch den Speicher haben 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 ($V = 520 \text{ l}$) während der angenommenen Vegetationsphase von Mai bis September innerhalb eines Tages über die Perlschläuche möglich ist. Während der Nichtvegetationsphase im Herbst/Winterzeitraum ist eine völlige Entleerung des Speichers dagegen selten.

Die Ergebnisse zeigen, dass durch die Rigolen die Phasen von Trockenstress deutlich reduziert werden konnten. Phasen mit geringerem Wasserdargebot führen nicht zwangsläufig zu einer nachhaltigen Schädigung des Baumes. Abhängig von der Baumart werden temporäre Trockenphasen durchaus verkraftet. Bei den untersuchten Bäumen waren keine Entwicklungsstörungen erkennbar.

Ein längerfristiges Wasserüberangebot durch die Baumrigolen war innerhalb der untersuchten drei Jahre nicht nachweisbar, obwohl vor allem die Jahre 2023 und 2024 durch hohe Jahresniederschläge gekennzeichnet waren. Auffällig waren lediglich Werte von über 100 % nFK über einen Zeitraum von mehr als 48 Stunden im Dezember 2023 und Januar 2024 im Wurzelraum des Schutzrostbaumes, der jedoch nicht gezielt bewässert worden ist.

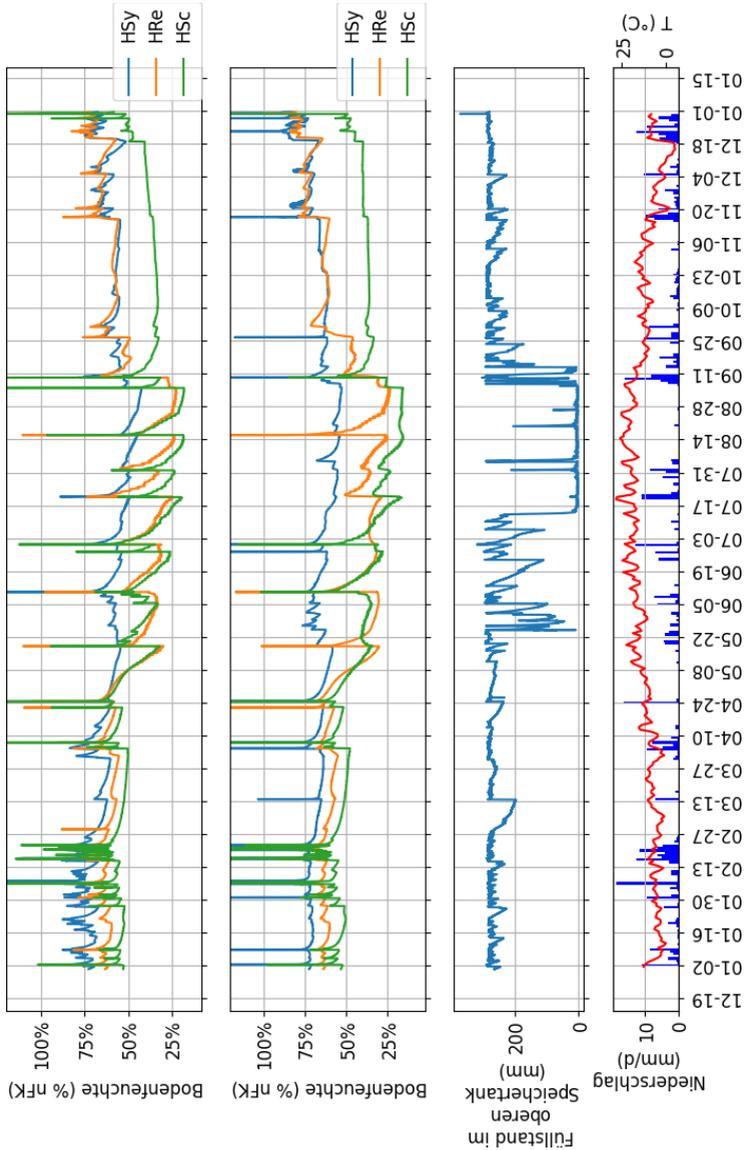


Abb. 3: Messdaten zur Wasserverfügbarkeit über den Zeitraum eines Jahres (2022) mit Bodenfeuchtedaten in oberer Lage (0,2 m bis 0,4 m unter GOK) und unterer Lage (0,8 m bis 1,0 m unter GOK)

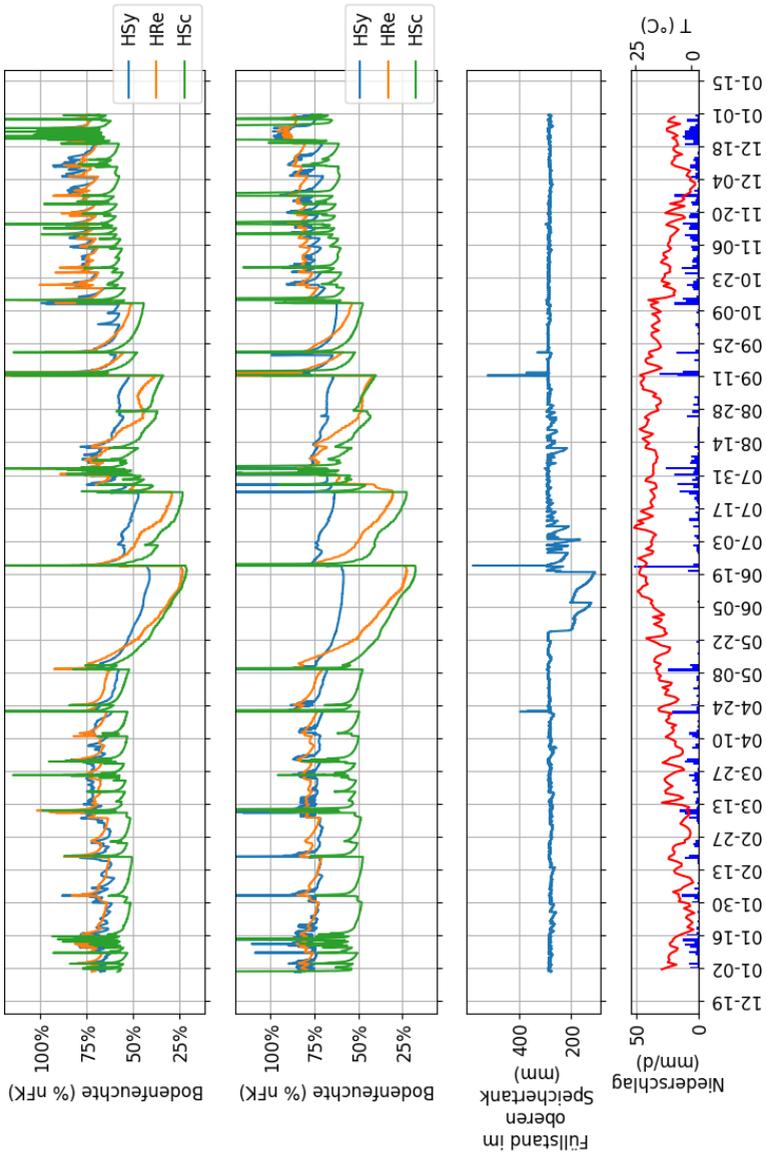


Abb. 4: Messdaten zur Wasserverfügbarkeit über den Zeitraum eines Jahres (2023) mit Bodenfeuchtedaten in oberer Lage (0,2 m bis 0,4 m unter GOK) und unterer Lage (0,8 m bis 1,0 m unter GOK)

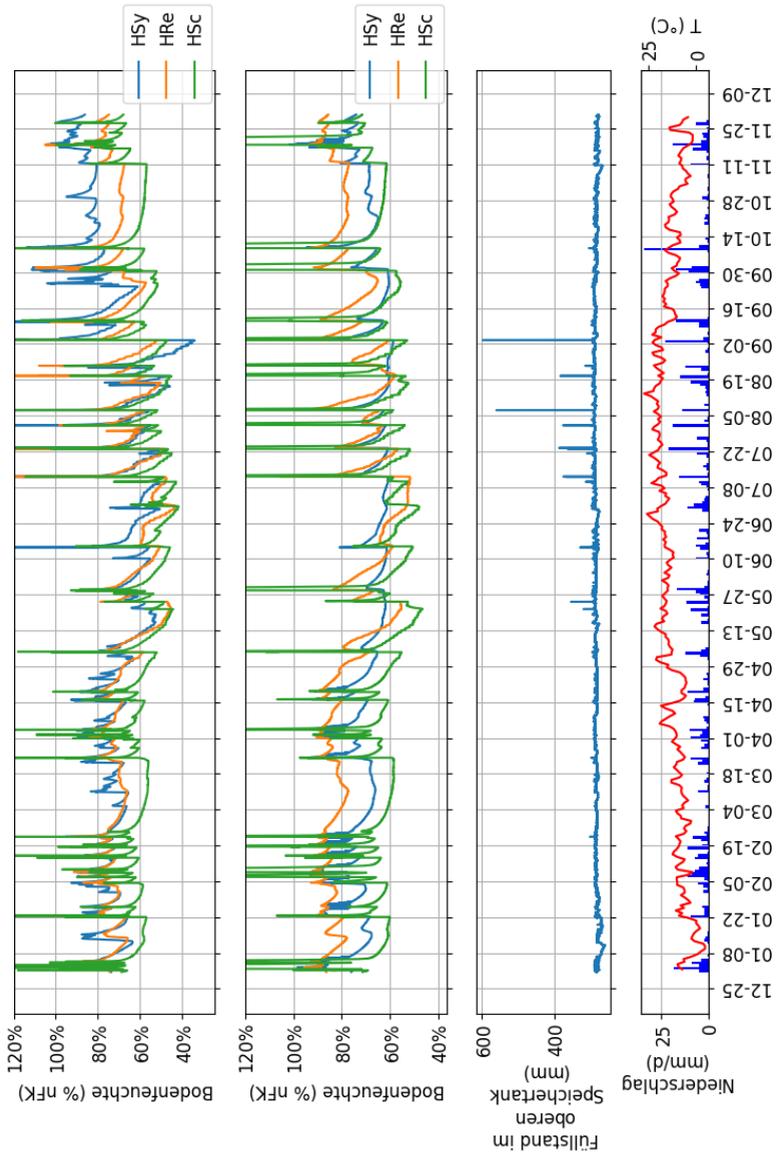


Abb. 5: Messdaten zur Wasserverfügbarkeit über den Zeitraum eines Jahres (2024) mit Bodenfeuchtedaten in oberer Lage (0,2 m bis 0,4 m unter GOK) und unterer Lage (0,8 m bis 1,0 m unter GOK)

5 Fazit

Trockenphasen und Starkregen erfordern weitergehende Konzepte zur Bewirtschaftung von Niederschlagsabflüssen. Mit dezentralen Speichern können Folgen der Klimaentwicklung zumindest teilweise reduziert werden. Die als „Baumrigolen“ bezeichnete Sonderform dezentraler Speicher sind ein wirkungsvolles Element künftiger Be- und Entwässerungskonzepte. Die vorgestellten mehrjährigen Messdaten zeigen, dass Trockenphasen temporär überbrückt werden und eine Vernässung nicht generell zu befürchten ist. Um langfristige gesicherte Aussagen treffen zu können, sind weitergehende Untersuchungen an unterschiedlichen Standorten erforderlich.

6 Literatur

- [1] Grüning H. und Siering N. (2023) Divergierende Ziele bei der Bewirtschaftung von Baumrigolen. In: Berichte aus der Siedlungswasserwirtschaft der Technischen Universität München Aqua Urbanica 2023, Garching 9. bis 10. Oktober, Gesellschaft zur Förderung des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft der Technischen Universität München e. V., Heft-Nr. 227, S. 232 bis 241
- [2] Weltecke, K. (2020). Bäume richtig wässern mit Blick auf zunehmende Trockenheitsperioden. In: Jahrbuch der Baumpflege 24, S. 195–212. url: <https://www.bodenundbaum.de/downloads/> (besucht am 01.01. 2025).
- [3] Black, T. A. (1979) Evapotranspiration from Douglas fir stands exposed to soil water deficits. In: Water Resources Research 15.1, S. 164–170
- [4] Granier, A., N. Bréda, P. Biron und S. Villette (1999). A lumped water balance model to evaluate duration and intensity of drought constraints in forest stands. In: Ecological Modelling 116.2-3, S. 269–283
- [5] Roth-Kleyer S (Hrsg.) (2016) Bewässerung im Garten- und Landschaftsbau. Verlag Eugen Ulmer KG, Stuttgart
- [6] Grey, V., S. J. Livesley, T. D. Fletcher und C. Szota (2018). Establishing street trees in stormwater control measures can double tree growth when extended waterlogging is avoided. In: Landscape and Urban Planning 178, S. 122–129
- [7] GALK: GALK-Straßenbaumliste/online, <https://www.galk.de/arbeitskreise/stadtbaeume/themenubersicht/strassenbaumliste>, aufgerufen am 01.01.2025

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).

ZIELGRÖÖE WASSERHAUSHALT - POTENTIALE ZUR ANNÄHERUNG AN DEN NATÜRLICHEN WASSERHAUSHALT IN NEUBAU- UND BESTANDSGEBIETEN

Birgitta Hörnschemeyer und Malte Henrichs

Kurzfassung

Die Fachverbände DWA und BWK haben in ihrer Arbeits- und Merkblattreihe DWA-A/M 102/BWK-A/M 3 den aktuellen Stand der Technik für die Bewirtschaftung und Aufbereitung von Niederschlagsabflüssen vor deren Einleitung in Fließgewässer dargestellt. Mit der Einführung des Wasserhaushaltsnachweises nach DWA-M 102-4 wird es zum Ziel, den Wasserhaushalt des bebauten Gebiets so zu gestalten, dass er dem eines gleichartigen unbebauten Gebiets nahekommt. Der vorliegende Beitrag beschreibt Anforderungen des Wasserhaushaltsnachweises, gibt einen Überblick zu ersten Erkenntnissen und offenen Fragen aus der Praxis und beleuchtet im Besonderen das Potential zur Annäherung an die Zielgröße Wasserhaushalt in Neubau- und Bestandsgebieten.

Schlüsselwörter,

Wasserhaushalt, Wasserhaushaltsnachweis, Referenzzustand, Neubaugebiete, Bestandsgebiete

1 Einführung

Die Bebauung von Einzugsgebieten hat weitreichende Auswirkungen auf den Wasser- und Stoffhaushalt, das hydrologische Regime und die Morphologie der betroffenen Gewässer [1]. Die mit der Bebauung einhergehenden Auswirkungen auf die hydrologischen Prozesse, wie Infiltration und Evapotranspiration, verändern den Wasserhaushalt in Siedlungen und das Abflussregime in Gewässern in der Nähe von Siedlungen erheblich. Dies äußert sich in höheren Abflussvolumina, erhöhten und rascheren Abflussspitzen, häufigeren kleineren und mittleren Hochwasserereignissen mit kurzen Dauern (2 bis 24 Stunden) und niedrigen Wiederkehrintervallen (1 bis 10 Jahre) sowie reduzierten Niedrigwasserabflüssen aufgrund verringerter Grundwasserneubildung und -ständen. Die Abflussdynamik hat eine bedeutende Rolle für aquatische Lebensräume [2] und ist ein wichtiger Fokus für Umweltschutzmaßnahmen und Hochwasserschutz in städtischen Gebieten.

Das Ausmaß der Veränderungen des lokalen Wasserhaushalts hängt entscheidend von der Menge versiegelter Flächen im Siedlungsgebiet ab. Zudem beeinflussen lokale Gegebenheiten wie Bodenbeschaffenheit, Grundwasserverhältnisse,

Vegetationstyp und -dichte sowie meteorologische Faktoren wie Niederschlag und potenzielle Verdunstung den lokalen Wasserhaushalt [3]. Aufgrund der variierenden Bedingungen ergeben sich abflussdominierte Gebiete, Gebiete mit hoher Infiltration und Gebiete mit niedrigem Niederschlag und hoher Verdunstung. Eine einheitliche Lösung für die Bewirtschaftung von Niederschlagsabflüssen in ganz Deutschland widerspricht demnach oft den regionalen Unterschieden im langjährigen Wasserhaushalt. Sowohl die bevorzugte Ableitung als auch die weitreichende Versickerung von Niederschlagsabflüssen können negative Auswirkungen auf Wasserhaushalt und hydrologisches Regime haben. Lösungen, die den regionalen Wasserhaushalt berücksichtigen, minimieren diese negativen Folgen.

In ihrer neuen Arbeits- und Merkblattreihe DWA-A/M 102/BWK-A/M 3 haben die Fachverbände DWA und BWK den aktuellen Stand der Technik zur Bewirtschaftung von Niederschlagsabflüssen vor deren Einleitung in Fließgewässer festgehalten. Ein zentrales Ziel ist die Schaffung eines Wasserhaushalts im bebauten Gebiet, der dem eines vergleichbaren unbebauten Gebiets möglichst nahekommt. Im Folgenden werden die Anforderungen des neu eingeführten Wasserhaushaltsnachweises dargelegt und erste Erkenntnisse aus der Praxis diskutiert. Ein besonderer Fokus gilt hier dem Potential zur Annäherung an die Zielgröße des unbebauten Zustands.

2 Der Wasserhaushaltsnachweis nach DWA-M 102-4

2.1 Grundlagen des Wasserhaushaltsnachweises

Verschiedene Teilprozesse beeinflussen den Bodenwasserhaushalt und tragen zu den Wasserhaushaltsgrößen Verdunstung, Grundwasserneubildung und Abfluss bei. Für die Berechnung des Bodenwasserhaushaltes werden folgende Bilanzgrößen verwendet:

- Niederschlag P ;
- aktuelle Verdunstung („Evapotranspiration“) ET_a (bestehend aus Evaporation, Transpiration und Interzeptionsverdunstung);
- Grundwasserneubildung GWN ;
- Abfluss R (bestehend aus Basisabfluss R_B und Direktabfluss R_D , der wiederum aus Oberflächenabfluss $R_{D,O}$ und Zwischenabfluss $R_{D,Z}$ besteht).

Die Bestimmungsgleichung für die einfache Wasserbilanz eines Gebiets lautet wie folgt:

$$P = R_D + GWN + ET_a \quad \text{mm/a} \quad (1)$$

Die Aufteilung der Niederschlagsanteile in die drei Komponenten Direktabfluss, Grundwasserneubildung und Verdunstung erfolgt durch dimensionslose Aufteilungsfaktoren und kann wie folgt beschrieben werden:

Aufteilungswert für den Direktabfluss R_D : (2)

$$a = R_D / P$$

Aufteilungswert für die Grundwasserneubildung GWN: (3)

$$g = GWN / P$$

Aufteilungswert für die Verdunstung v : (4)

$$v = ET_a / P$$

Die Aufteilungswerte liegen zwischen 0 und 1 und ergeben in Summe den Wert 1.

Die Arbeitsblätter DWA-A 102-1/BWK-A 3-1 und DWA-A 102-2/BWK-A 3-2 enthalten die Zielvorgabe „Erhalt des lokalen Wasserhaushalts“ bezüglich der Emissionen. Diese umfasst die Planungsaufgabe, die drei Bilanzgrößen des bebauten Bilanzgebiets so weit wie möglich denen des unbebauten Referenzzustands im langjährigen Mittel anzunähern. Der Vergleich der Wasserbilanz zwischen bebautem und unbebautem Zustand sollte für Bilanzgebiete ab einer befestigten Fläche von etwa 800 m² (Relevanzgrenze gemäß DIN 1986-100 in Bezug auf den Überflutungsnachweis zur Grundstücksentwässerung) durchgeführt werden. Unabhängig von der Größe des Bilanzgebiets sollten geeignete Maßnahmen zur Niederschlagswasserbewirtschaftung gewählt und langfristig rechtlich abgesichert werden.

Die Bilanzergebnisse können beispielsweise im hydrologischen Dreieck (Abbildung 1) gemeinsam dargestellt werden.

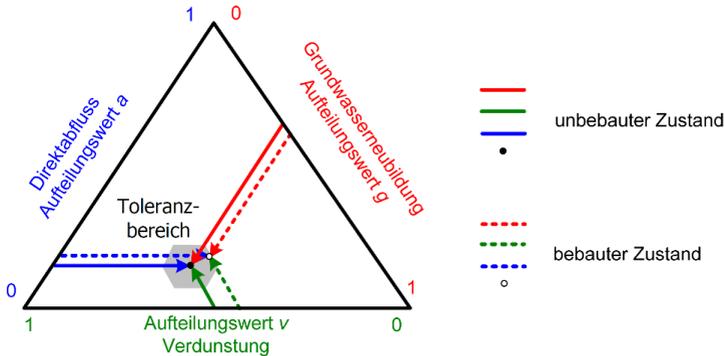


Abb 1: Hydrologisches Dreieck zur (schematischen) Darstellung der Bilanzgrößen im unbebauten und bebauten Zustand (DWA-M 102-4)

2.2 Zielgröße: Wasserbilanz für den unbebauten Zustand

Für den naturbelassenen Zustand des zu untersuchenden Gebiets werden die Bilanzgrößen auf Basis einer repräsentativen Nutzung der Kulturlandschaft festgelegt, wobei Siedlungs- und Verkehrsflächen ausgenommen sind. Dabei sollte, sofern verfügbare Daten von den zuständigen Behörden zur Verfügung stehen, auch die Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt berücksichtigt werden.

Zur Ermittlung der Wasserbilanz des unbebauten Zustands eignen sich die folgenden Verfahren:

- WaSig-Verfahren – siehe [4–6]
- GWneu – siehe [7]
- Hydrologischer Atlas Deutschland – siehe [3,8]
- Ermittlung mit geeigneten Wasserhaushaltsmodellen

2.3 Abweichung vom unbebauten Zustand

Erste Analysen von Fallstudien und Berechnungsbeispielen zeigten, dass in Neubaugebieten durch die Nutzung unterschiedlicher Maßnahmen der Niederschlagswasserbewirtschaftung Abweichungen von weniger als 10 Prozentpunkten in den Verteilungsfaktoren a, g und v im Vergleich zum unbebauten Referenzzustand erzielt werden können [9]. Darauf aufbauend wird im Merkblatt DWA-M 102-4 die Abweichung von 5 bis 10 Prozentpunkten als Empfehlung einer möglichen Annäherung ausgesprochen. Diese Abweichung solle dabei unter Berücksichtigung ökologischer, technischer und wirtschaftlicher Gesichtspunkte bewertet werden. Größere Abweichungen, die auf unvermeidbare Randbedingungen oder

Zwänge zurückzuführen seien, müssen in angemessener Fachbegründung ausführlich erläutert und im Rahmen von Ersatz- und Ausgleichsregelungen geprüft werden.

Eine Differenzierung unterschiedlicher städtebaulicher Strukturen sowie lokalen klimatischen und geologischen Bedingungen erfolgt nicht. Zudem werden keine Empfehlungen für Bestandsgebiete ausgesprochen, bei denen die Umsetzbarkeit von Maßnahmen insbesondere auch von rechtlichen Randbedingungen abhängt.

3 Erfahrungen aus der Praxis

Bei der Erarbeitung von Lösungen für die Niederschlagswasserbewirtschaftung hat sich die Anwendung des Wasserhaushaltsnachweises als zielführend erwiesen. Auf Basis erster städtebaulicher Konzepte können Aussagen zu möglichen Entwässerungskonzepten getroffen und deren Lage und Flächenbedarf sinnvoll abgeschätzt werden. Dies ermöglicht eine frühzeitige Berücksichtigung wasserwirtschaftlicher Anforderungen.

Konfliktpotenziale können sich aus verschiedenen Quellen ergeben, wie z.B. dem Flächenbedarf, veränderten Betriebsabläufen der Stadtentwässerungsbetriebe oder der Wasserqualität offener Gewässer. Diese sind im Kontext aller Anforderungen und Gegebenheiten sorgfältig zu prüfen und zu berücksichtigen. Dem hohen Flächendruck sollte durch eine multifunktionale Nutzung von Grün- und Freiflächen begegnet werden. Die Planung und Abstimmung dieser Flächen erfordern eine intensive Zusammenarbeit aller Beteiligten, um qualitativ hochwertige Lösungen zu entwickeln.

Im Austausch mit Anwendern, Kommunen und Behörden sowie durch den fachlichen Support des WasserbilanzExpert durch die FH Münster konnten offene Fragestellungen der Wasserhaushaltsbilanzierung nach DWA-M 102-4 festgestellt werden (Tabelle 1). Sie betreffen einerseits Fragestellungen der Durchführung des Nachweises. Andererseits werden Fragestellungen des kommunalen und wasserwirtschaftlichen Vollzugs diskutiert.

Tabelle 1: Übersicht von Defiziten und offenen Fragestellungen

Thema	Defizit/ Fragestellung
Durchführung Nachweisführung	<ul style="list-style-type: none"> – Festlegung Bilanzgebiet (Mindest-/ Maximalgröße, Integration Vegetationsflächen) – Empfehlungen zur Anwendung der Verfahren zur Ermittlung des Referenzzustands – Notwendige Datengrundlagen und deren -aufbereitung
Kommunaler Vollzug	<ul style="list-style-type: none"> – Möglichkeiten der rechtlichen Umsetzung in der Bauleitplanung – Möglichkeiten der rechtlichen Umsetzung in Bestandsgebieten – Anpassung der kommunalen Planungspraxis (Prozesse, Zielkonflikte)
Wasserwirtschaftlicher Vollzug	<ul style="list-style-type: none"> – Potential zur Annäherung an den un bebauten Zustand für Neubau- und Bestandsgebiete (geforderter Referenzzustand) – Umsetzung auf Landesebene (z.B. über Erlasse)

4 Untersuchungen zur Annäherung an den Referenzzustand

Sowohl bei der Durchführung des Wasserhaushaltsnachweises sowie bei dessen wasserwirtschaftlichen Vollzug spielt die Abweichung von der Zielgröße des un bebauten Zustands eine wichtige Rolle bei der Beurteilung der Zielerreichung. Die erste Einschätzung einer Abweichung möglichen von weniger als 10 Prozentpunkten im DWA-M 102-4 differenziert nicht ausreichend zwischen

- Neubau- und Bestandsgebieten,
- der städtebaulichen Struktur sowie
- den örtlichen Standortbedingungen.

Eine aktuelle Studie soll diese Punkte aufgreifen und das Potential zur Annäherung an die Zielgröße des un bebauten Zustands ermitteln. Hierfür erfolgt neben der Differenzierung von Neubau- und Bestandsgebieten eine Clusterung von klimatischen Randbedingungen sowie den korrespondierenden Zielgrößen für a, g und v. Durch den zielgerichteten Einsatz von Maßnahmen zur Regenwasserbewirtschaftung werden die erreichbaren Abweichungen charakterisiert.

5 Zusammenfassung

Die Bebauung von Flächen beeinflusst den Wasserhaushalt erheblich. Die DWA und der BWK haben in der DWA-A/M 102/BWK-A/M 3 Arbeits- und Merkblattreihe den aktuellen Stand der Technik für die Bewirtschaftung von Niederschlagsabflüssen in bebauten Gebieten festgehalten. Ihr Ziel ist es, den Wasserhaushalt in bebauten Gebieten an den eines vergleichbaren unbebauten Gebiets anzunähern. Der Wasserhaushaltsnachweis weist die Abweichung des Wasserhaushalts in bebauten Gebieten im Vergleich zum unbebauten Gebiet nach

Erste Anwendungserfahrungen aus der Praxis weisen auf offene Fragen bei der Durchführung des Nachweises sowie beim kommunalen und wasserwirtschaftlichen Vollzug hin. Diese müssen weiter diskutiert werden, um den Wasserhaushaltsnachweis als Instrument einer wasserbewussten städtebaulichen und wasserwirtschaftlichen Planung zu etablieren. Der besondere Fokus dieses Beitrages liegt auf den Potentialen zur Annäherung an die Zielgröße des unbebauten Zustands. Eine Differenzierung zwischen Neubau- und Bestandsgebieten, der städtebaulichen Struktur sowie der örtlichen Standortbedingungen ist dabei unabdingbar.

6 Literaturangaben

- [1] Baumgartner A, Liebscher H-J. Allgemeine Hydrologie - quantitative Hydrologie. 2. Aufl. Berlin / Stuttgart: Gerbrüder Borntraeger; 1996
- [2] Tetzlaff D. Hydrologische Bewertung der Abflussdynamik in urbanen Gewässern. Freiburg: Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br.; 2003
- [3] BMU. Hydrologischer Atlas von Deutschland. Freiburg: Bundesministerium für Umwelt; Naturschutz und Reaktorsicherheit; 2003
- [4] Schmit M, Steinbrich A, Leistert H, et al. Webtool zur Ermittlung der naturnahen urbanen Wasserbilanz (NatUrWB). Korresp Wasserwirtsch 2022; 2022: 530–536. doi:10.3243/kwe2022.09.002
- [5] Steinbrich A, Henrichs M, Leistert H, et al. Ermittlung eines naturnahen Wasserhaushalts als Planungsziel für Siedlungen. Hydrol Wasserbewirtsch 2018; 62: 28–37. doi:10.5675/HyWa_2018.6_3
- [6] Uni Freiburg. NatUrWB. Naturnahe Urbane Wasserbilanz NatUrWB 2023; Im Internet: <https://www.naturwb.de/www.naturwb.de>; Stand: 13.10.2023

- [7] Meißer J. Ein vereinfachtes Verfahren zur Berechnung der flächendifferenzierten Grundwasserneubildung in Mitteleuropa. 2013
- [8] Bafg. Hydrologischer Atlas Deutschland - Geoviewer. Bundesanst Für Gewässerkd Bafg 2023; Im Internet: <http://geoportal.bafg.de/mapapps/resources/apps/HAD/index.html?lang=de>
- [9] Henrichs M, Langner J, Uhl M. Nachweis des Niederschlagswasserhaushalts in Neubaugebieten. In: Wasser in der Stadt: Lebensräume-Risiken-Entwicklungen. Münster: Difo-Druck GmbH; 2015: 145–151
- [10] Henrichs M, Langner J, Uhl M. Development of a simplified urban water balance model (WABILA). Water Sci Technol 2016; 73: 1785–1795. doi:10.2166/wst.2016.020
- [11] Henrichs M, Leutnant D, Kliewer D, et al. Die Stadt als hydrologisches System im Wandel - Schritte zu einem anpassungsfähigen Management des urbanen Wasserhaushaltes (SAMUWA). Münster: Fachhochschule Münster, Institut für Wasser-Ressourcen-Umwelt (IWARU); 2017

**WASSERBEWUSSTE
STADT – STARKREGEN
UND STURZFLUTEN**

VALUE MANAGEMENT – INTEGRALE KONZEPTION VON MAß- NAHMEN ZUR STARKREGENVORSORGE

H. Hoppe, A.-L. Maaß, H. Janssen, I. Lakes, A. Braun, R. Broesi und M. Pauwels

Kurzfassung

Die Entwicklung und Umsetzung nachhaltiger Maßnahmen zur Starkregenvorsorge stellen hohe Anforderungen an die beteiligten Akteur:innen. Im Sinne einer „Kommunalen Gemeinschaftsaufgabe“ sind unterschiedlichste Fachbereiche der Stadtverwaltung und weitere (externe) Stakeholder:innen an der Lösungsentwicklung zu beteiligen.

Um diese Prozesse zu unterstützen, hat der Eigenbetrieb Stadtentwässerung der Stadt Dortmund Value Management (VM) Studien im Sinne der DIN EN 12973 (2020) [3] durchgeführt.

Ein wichtiger Projektansatz der VM-Studien ist es, den Raum und die Maßnahmen zur Starkregenvorsorge funktionsbezogen zu bewerten. Das konsequente „Denken in Funktionen“ unterscheidet den VM-Ansatz von den „klassischen“ siedlungswasserwirtschaftlichen und stadtplanerischen Planungsprozessen.

Das übergeordnete Projektziel war es, fachbereichsübergreifend innovative Maßnahmen zur Starkregenvorsorge zu erarbeiten, die sich durch hohe Effektivität, eine optimale Organisation und die Nutzung eingeschränkt verfügbarer Ressourcen auszeichnen sowie Synergien in den Fokus nehmen.

Schlüsselwörter

Value Management, Starkregenvorsorge, Klimaanpassung, Integraler Prozess, Maßnahmenkonzeption

1 Veranlassung und Projektziel

Die Stadt Dortmund ist wie viele Städte durch den Strukturwandel im Revier geprägt. Stadtteile im Norden, in der Mitte und im Süden Dortmunds weisen sehr unterschiedliche Stadtstrukturen und Topographien auf, die eine nutzungs- und damit raumbezogene Lösung zur Überflutungsvorsorge erfordern.

Technische Lösungsansätze der Überflutungsvorsorge aus dem Bereich der Stadtentwässerung sind u. a. mit dem Ansatz der „Water Sensitive City“ bzw. den Konzepten der „wasserbewussten Stadt“ zu kombinieren. Wichtig ist auch ein Abgleich mit Konzepten zur Klimafolgenanpassung, da sich insbesondere mit

Maßnahmen zur Hitzevorsorge und Bewässerungskonzepten viele Synergien ergeben können.

Die Entwicklung und Umsetzung nachhaltiger Maßnahmen zur Starkregenvorsorge stellen hohe Anforderungen an die beteiligten Akteur:innen. Im Sinne einer „Kommunalen Gemeinschaftsaufgabe“ sind unterschiedlichste Fachbereiche der Stadtverwaltung und weitere (externe) Stakeholder:innen an der Lösungsentwicklung zu beteiligen. Ein Ansatz der sich seit 2024 auch im DWA-A 118 [1] und im DWA-M 119 [2] wiederfindet.

Um diese Prozesse zu unterstützen, hat der Eigenbetrieb Stadtentwässerung der Stadt Dortmund Value Management (VM) Studien im Sinne der DIN EN 12973 [3] in Auftrag gegeben.

Ein wichtiger Projektansatz der VM-Studien ist es, den Raum und die Maßnahmen zur Starkregenvorsorge funktionsbezogen zu bewerten. Das konsequente „Denken in Funktionen“ unterscheidet den VM-Ansatz von den „klassischen“ siedlungswasserwirtschaftlichen Planungsprozessen.

Das übergeordnete Projektziel der VM-Studien war es, fachbereichsübergreifend innovative Maßnahmen zur Starkregenvorsorge zu erarbeiten, die sich durch hohe Effektivität, eine optimale Organisation und die Nutzung eingeschränkt verfügbarer Ressourcen auszeichnen sowie Synergien innerhalb der Stadt als auch zwischen den Maßnahmen in den Fokus nehmen.

Ressourcen umfassen dabei im Sinne der Starkregenvorsorge auch Aspekte der Flächenverfügbarkeit, Verfügbarkeit von unterirdischen sowie oberirdischen Ableitungs- und Speicherkapazitäten, Personalkapazitäten (Planungs- und Betriebsaufwand) sowie Finanzierungs- und Fördermöglichkeiten.

2 Vorgehensweise

Insgesamt wurden drei VM-Studien sequenziell zwischen August 2021 und Februar 2024 bearbeitet. Die drei Studien umfassen je zwei ausgewählte starkregenbedingte Überflutungsschwerpunkte der Stadt Dortmund mit unterschiedlichen Schwerpunkten (Wohnen, Gewerbe / Kerngebiete und Zufluss von Außengebieten / unbefestigten Flächen). In jeder Studie wurden je fünf Projektwerkstätten zur Maßnahmenerarbeitung durchgeführt. Der Schwerpunkt jeder Studie kennzeichnet die vorrangige Nutzung in den Untersuchungsgebieten (Wohnsiedlungen, Gewerbenutzung) bzw. die Lage des Untersuchungsgebietes (Innenstadtbereich, Außengebiet).

Neben Vertreter:innen der Stadtentwässerung Dortmund beteiligten sich je nach Untersuchungsgebiet weitere städtische Fachbereiche an den Projektwerkstätten. Zudem werden weitere externe Stakeholder:innen wie Wasserverbände oder vereinzelt Betroffene zu den Projektwerkstätten eingeladen.

Durch einen Steuerkreis wurden die Ziele zur Durchführung der VM-Studien vorgegeben und durch ein Kernteam und weitere Teilnehmende innerhalb von Projektwerkstätten umgesetzt.

3 Projektablauf

3.1 Zieldefinition der VM-Studien

Für die 1. VM-Studie mit dem Schwerpunkt „Wohnen“ wurden vorrangig „weiche“ Ziele seitens des Steuerkreises definiert. „Weich“ bedeutet an dieser Stelle, dass es kein direkt messbares Kriterium wie bspw. eine belastungsabhängige definierte maximal zulässige Wassertiefe zur Reduzierung der Überflutung vorgegeben wurde.

Im Vergleich dazu wurden für die 2. und 3. VM-Studie auf Wunsch der Teilnehmer:innen des Kernteams „harte“ Ziele wie bspw. „Überflutungsvorsorge bis einschließlich Starkregenindex SRI 7 [4] mit max. 10 cm Wasser über GOK an den Gebäuden abgesehen von Hochwasserschutzeinrichtungen“ definiert. Durch die Vorgabe, dass max. 10 cm Wasser über GOK an Gebäuden stehen dürfen, gab es ein direkt messbares Kriterium zur Bewertung und Priorisierung der Lösungsideen.

3.2 Stakeholder:innen- und Funktionenanalyse sowie Sammlung von Lösungsideen

Zum „Kennenlernen“ der Untersuchungsgebiete sowie zur Vorbereitung und Unterstützung der Stakeholder:innen- und Funktionenanalyse (1. und 2. Projektwerkstatt) wurden unterschiedliche Grundlagendaten durch das Kernteam zusammengetragen. Dazu wurden Informationen und Daten zu Fließwegen, Überlastungen des Kanalnetzes, Flächennutzungen, Gebäudebeständen, Altlasten, Versickerungs- / Bodeneigenschaften, Grünstrukturen, Versorgungsleitungen, versiegelten Flächen, (kritischer) Infrastruktur u. v. m. bei der Stadt Dortmund oder Stakeholder:innen wie Wasserverbänden oder Betroffenen abgefragt.

Die Daten wurden aufbereitet, in den Projektwerkstätten vorgestellt und dienten als Diskussionsgrundlage und insbesondere als Wissensbaustein zur Stakeholder:innen- und Funktionenanalyse im Rahmen des VM sowie zur Sammlung von Lösungsideen.

Eine Besonderheit bei der Funktionenanalyse (2. Projektwerkstatt) ist hier die Übertragung in den Raum, d. h. eine kartenbasierte Verortung der unterschiedlichen Ist- und Soll-Funktionen im Untersuchungsgebiet. Hierbei ist zu beachten, dass die Funktionenanalyse die Sammlung der Lösungsideen vorbereitet und insbesondere ein Instrument zum besseren Verständnis der Eigenschaften des Untersuchungsgebietes darstellt.

In der 3. Projektwerkstatt wurden dann die angedachten und vorbereiteten Lösungsideen vorgestellt, gesammelt, vorbewertet und zu Maßnahmenkonzepten bzw. Maßnahmendetails gebündelt.

3.3 Maßnahmenbewertung

Zur Analyse der Wirksamkeit der gesammelten Lösungsideen wurden mit Hilfe eines numerischen 2D-Oberflächenabflussmodells Berechnungen der Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten durchgeführt. Es wurde jeweils ein Modell für das hydrologischen Einzugsgebiet eines Überflutungsschwerpunktes aufgestellt und der Referenzzustand der Überflutung für unterschiedliche Niederschlagszenarien berechnet. Anschließend wurden die unterschiedlichen Maßnahmen in das Modell eingearbeitet, um die Auswirkungen auf den Überflutungsschwerpunkt zu analysieren (vgl. Abb. 1).

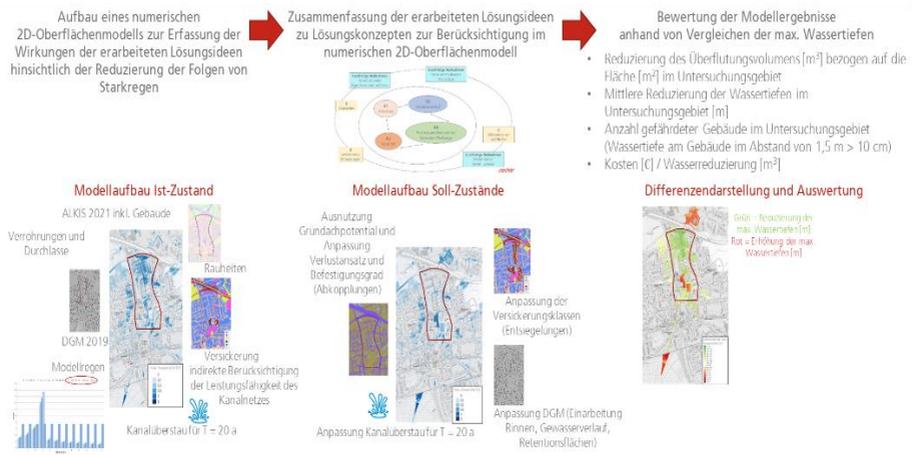


Abb. 5: Vorgehen und Aufbau der numerischen Wirksamsimulationen (Hintergrundkarte: © Land NRW, dl-de/by-2-0 (www.govdata.de/dl-de/by-2-0))

Zur grafischen Aufbereitung der gesammelten Lösungsideen wurden räumliche Darstellungen erstellt, die ein erstes Konzept darstellen, wie die Maßnahmen im Plan-Zustand aussehen könnten (vgl. Abb. 2).

In den drei VM-Studien wurden alle Lösungsideen (rd. 40 je Untersuchungsgebiet) mit Hilfe einer umfangreichen Matrix bewertet. Bewertungskriterien waren unter anderem die Wirksamkeit der Maßnahmen für unterschiedliche SRI, Synergien zur Hitzevorsorge / zum Klima / zum Wasserhaushalt, positive Auswirkungen auf die Stadtgestaltung, Kostenannahme, mittlere Reduzierung der Wassertiefen oder auch die Anzahl gefährdeter Gebäude (Wassertiefe > 10 cm, bzw. < 10 cm).

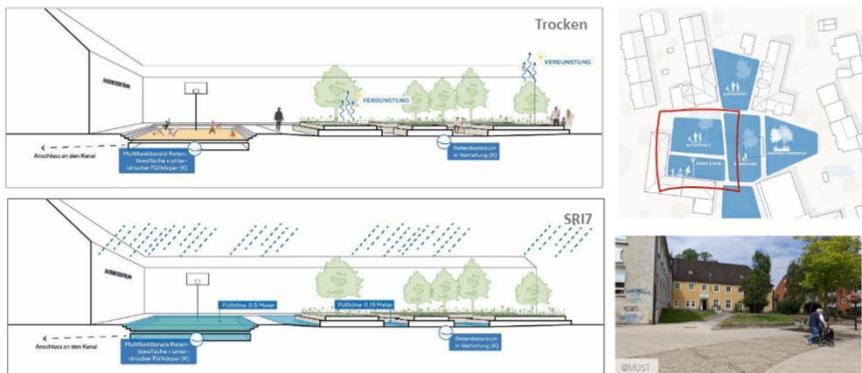


Abb. 2: Räumliche Darstellung für die Umgestaltung eines stark versiegelten Platzes in ein multifunktionales Retentionsraum (Quelle: MUST Städtebau GmbH)

Auf Grundlage der Bewertungsmatrix wurden die Maßnahmen priorisiert und zu einem Gesamtkonzept zusammengefasst.

Die priorisierten Maßnahmen wurden abschließend in Maßnahmensteckbriefen aufbereitet. Anhand der Maßnahmensteckbriefe soll entschieden werden, ob die im Rahmen der VM-Studien mittels numerischer Wirksamkeitsanalysen und räumlicher Darstellungen ausgearbeiteten Konzepte zur (teilweisen) Reduzierung eines Überflutungsschwerpunktes in eine Objektplanung überführt werden sollen. Hierbei sind insbesondere die Abwägung zwischen Aufwand der Maßnahme und Nutzen (Wirkung zur Reduzierung des Überflutungsschwerpunktes), aber auch die Synergien mit anderen Maßnahmen entscheidend.

4 Reflektion und Übertragbarkeit

Der VM-Ansatz wurde seitens der Stadt Dortmund erstmalig zur Identifizierung von Maßnahmen zur Starkregen- bzw. Überflutungsvorsorge eingesetzt. Aus diesem Grund wurden Vorgehen, Prozessschritte und Ergebnisse der VM-Studien mit allen Teilnehmenden reflektiert bzw. evaluiert.

Grundsätzlich lässt sich festhalten:

- Überflutungsvorsorge ist eine kommunale Gemeinschaftsaufgabe, die in die Tätigkeitsfelder unterschiedlicher Fachbereiche fällt.
- Ein fachbereichsübergreifender und interdisziplinärer Austausch ist auch digital (Videokonferenzen) grundsätzlich möglich, führt jedoch im direkten Austausch zu einem besseren gemeinsamen Verständnis und einer offenen Diskussion.
- Der Value Management Ansatz ist eine gute Möglichkeit sich systematisch und strukturiert, umfassend mit einer Problemstellung (Reduzierung der Folgen von Starkregen) auseinanderzusetzen und fachbereichsübergreifend Lösungsideen zu entwickeln.

Neben den sechs Überflutungsschwerpunkten, die im Rahmen der drei VM-Studien umfangreich analysiert wurden, gibt es zahlreiche weitere Überflutungsschwerpunkte im Stadtgebiet Dortmunds. Zur Übertragung der Ergebnisse und Maßnahmenkonzepte der VM-Studien wurde daher eine „Bedarfskarte Starkregen“ erarbeitet, die stadtgebietsweit Bedarfsflächen für die Ableitung, Rückhaltung oder Speicherung von Oberflächenwasser bei Starkregen darstellt. Die Karte kann insbesondere durch alle planenden und bauenden städtischen Fachbereiche angewendet werden, um gezielt Überflutungsschwerpunkte zu entschärfen oder Gelegenheitsfenster zur Überflutungsvorsorge bei Neu-/ Umplanungen von Infrastruktur zu nutzen.

Die Bedarfskarte weist solche Flächen aus, die nutzungs- und lagebedingt geeignet sind, Oberflächenwasser bei einem Starkregenereignis zurückzuhalten oder zu speichern ohne konkrete Maßnahmenvorschläge für diese Flächen. Anforderungen an diese Bedarfsflächen aus anderen Belangen werden bewusst nicht dargestellt und sind jeweils im Einzelfall zu prüfen.

5 Literatur

[1] DWA-A 118 (2024): Bewertung der hydraulischen Leistungsfähigkeit von Entwässerungssystemen - Januar 2024, Regelwerk, Hefen: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.. ISBN 978-3-96862-658-1.

[2] DWA-M 119 (2016): Merkblatt DWA-M 119 - Risikomanagement in der kommunalen Überflutungsvorsorge für Entwässerungssysteme bei Starkregen. Regelwerk., S. 60, Hefen: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.. ISBN 978-3-88721-392-3.

[3] DIN EN 12973 (2020): Value Management. <https://dx.doi.org/10.31030/2874697>

[4] DWA-A 531 (2006): Starkregen in Abhängigkeit von Wiederkehrzeit und Dauer (Entwurf März 2024), Regelwerk, Hefen: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.. ISBN 978-3-96862-688-8.

"MULTIFUNKTIONALE FLÄCHEN IN DER WASSERWIRTSCHAFT – RISIKEN EINSCHÄTZEN UND CHANCEN NUTZEN"

Wolfgang Dickhaut, u.a.

Schlüsselwörter

Multifunktionale Flächen, Definition, Regenwasserbewirtschaftung, Planungsprozess, Risiken und Chancen

1 Vorwort

Die DWA hat sich 2021 entschlossen, ein Merkblatt DWA-M 194 „Planung, Betrieb und Unterhalt von multifunktionalen Flächen“ zu erarbeiten, hierfür wurde eine Arbeitsgruppe gebildet. Das Merkblatt liegt seit Januar 2025 im Gelbdruck (ca. 100 Seiten) vor. In diesem Beitrag werden Inhalte aus diesem M 194 ausschnittsweise dargestellt. Der Autor des Artikels ist Sprecher der Arbeitsgruppe, die erweiterte Autorenschaft setzt sich deshalb aber aus den Mitgliedern der AG zusammen, siehe Verfasser*innen im Gelbdruck des M 194.

Aufgrund der hohen interdisziplinären Bedeutung dieses Themas, aber auch der fachlichen Notwendigkeit, die Erfahrungen aus vielen verschiedenen Disziplinen in die Ausgestaltung multifunktionaler Flächen einzubeziehen, wurde eine Arbeitsgruppe gebildet, deren Kompetenzen weit über die siedlungswasserwirtschaftlichen Kernthemen hinaus gehen.

Die Integration von Niederschlagswasserbewirtschaftungsanlagen in multifunktionalen Flächen aber auch die Öffnung wasserwirtschaftlicher Anlagen für andere Nutzungen eröffnet Fragen zu Zuständigkeiten, Finanzierung, Rechten und Pflichten der verschiedenen Akteure in den Kommunen, auch in Bezug auf umweltrechtliche Rahmenbedingungen. Vor allem aber dürfen während der Planung dieser Anlagen aus Sicht eines reibungslosen und langfristig gesicherten Betriebes bestimmte funktionale Mindestanforderungen nicht unterschritten werden.

Das Merkblatt behandelt deshalb u.a. folgende Themen:

- Grundlagen und Definitionen zu multifunktionalen Flächen
- Beschreibung von geeigneten Flächentypen
- Planungshinweise zu zentralen Herausforderungen wie z.B. dem Planungsprozess, die Akteure, die Verantwortlichkeiten, der Verkehrssicherheit, der Qualität der zugeführten Niederschlagswasser

- Erfahrungen und Empfehlungen im Betrieb und Unterhalt von multifunktionalen Flächen
- Darstellung bekannter Umsetzungsbeispiele

Ein paar Aspekte werden hier dargestellt.

2 Begründung für Multifunktionale Flächen in der Wasserwirtschaft

In den „DWA-Positionen - Wasserbewusste Entwicklung unserer Städte“ aus dem Jahr 2022 wird die Zielsetzung beschrieben, Zukunftsstädte wasserbewusster zu gestalten.

Dabei ist nicht nur an größere Städte zu denken, auch in kleineren Städten und Gemeinden ist eine wasserbewusste Planung im Sinne dieser DWA-Position in Zukunft wichtig.

Im Einstieg der DWA-Positionen wird deshalb formuliert: „Das Leberelement Wasser hat eine existenzielle Bedeutung. Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung gehören zu den Kernbereichen der kommunalen Daseinsvorsorge, Gewässerschutz und Überflutungsvorsorge sichern die Lebensgrundlagen der Menschen. Wasser und Stadtgrün tragen maßgeblich zur Klimavorsorge und -folgenanpassung sowie zur gesunden Stadtlandschaft als auch Erhalt/Stärkung der Biodiversität bei. Das Bewusstsein für Wasser und die Mitwirkung in verständlichen Planungsprozessen gehören zur demokratischen Stadtgesellschaft.“

Ein Abschnitt des Positionspapiers widmet sich explizit den multifunktionalen Flächen und beschreibt das Zielbild: „Kleinteilige und nutzbare öffentliche Wasserflächen in Parks und in Straßen oder auch kleine fließende Gewässer, Feuchtgebiete bringen gleichzeitig Aufenthaltsqualität, Kühle und Biodiversität in die Städte. Regenwasser und auch gereinigtes Abwasser kann als Wasserdargebot zur Bewässerung verwendet werden. Verkehrs-, Grün- und Freizeitflächen können als temporäre Einstau- und Ableitungsflächen zu einem deutlich besseren Überflutungsschutz beitragen.“

3 Definitionen

Die Kernaussagen der Definition in dem DWA-M194 (Gelbdruck) sind:

Multifunktionale Nutzung im Sinne des M 194 ist die planmäßige temporäre Nutzung von

- meist öffentlichen Flächen (z.B. Parks, Plätzen und Straßen) für entwässerungstechnische Zwecke des Regelfalls bzw. der Überflutungsvorsorge
- oder die Mitnutzung von Flächen von Anlagen der Siedlungswasserwirtschaft (z.B. Regenrückhaltebecken, Versickerungsmulden) für anderweitige Zwecke, wie z.B. für öffentliches Grün, Sport und Spiel oder zur Förderung der biologischen Vielfalt.

Multifunktionale Flächen zeichnen sich durch den Verbund der wasserwirtschaftlichen mit mindestens einer weiteren Nutzung aus. Sie stellen besondere Anforderungen an die Gestaltung sowie an die Kooperationen der beteiligten kommunalen und privaten Akteure. Das auf multifunktionalen Flächen bewirtschaftete Wasser kann in Abhängigkeit der Wasserqualität temporär oder dauerhaft gespeichert, verdunstet, versickert, abgeleitet oder genutzt werden.

Der Regelfall beschreibt den i.d.R. oberflächennahen Umgang mit Niederschlagswasser im Sinne der multifunktionalen Nutzung analog den Niederschlagsereignissen (1-mal in n Jahren) in Anlehnung an das Arbeitsblatt DWA-A 118 (z. B. im Bestand n = 1 a bis 5 a) und beinhaltet i.d.R. die Bewirtschaftung von Niederschlagswasser ohne einen Anteil von Mischwasser. Ziel ist die Schadensminimierung an Gebäuden und Infrastruktur.

Der Überflutungsvorsorgefall beschreibt den Umgang mit Niederschlagswasser (Anteile von Mischwasserabflüssen denkbar) im Sinne der multifunktionalen Nutzung ab dem Belastungszustand „seltene Starkregen“ und „außergewöhnliche Starkregen“ mit Wiederkehrzeiten oberhalb maßgebender Häufigkeit (z.B. $n > 5a$). Ziel ist der Überflutungsschutz bzw. die Schadensbegrenzung. (Quelle: DWA-M 119). (...).

4 Chancen und Mehrwert für die Wasserwirtschaft

Durch multifunktionale Flächennutzungen wird ein Mehrwert für die Wasserwirtschaft hergestellt, weil

- sie einen Beitrag zur Klimafolgenanpassung darstellen. Eintretende Überflutungen können zielgerichtet reduziert oder vermieden werden. Retentionsflächen sorgen für Verdunstungskühle.
- unbelastetes Niederschlagswasser versickern, verdunsten oder für Bewässerungszwecke genutzt werden kann, es wird zur Ressource.
- das Quartier aufgewertet wird, da dieses mit der multifunktionalen Fläche resilienter gegen die Folgen des Klimawandels ausgestaltet wird.
- durch den wasserwirtschaftlichen Zusatznutzen die Hauptnutzung gesichert wird.

- sie kosten- und ressourcensparend sind, da i.d.R. keine neuere größere Entwässerungsanlage oder Kanalisation gebaut werden muss. Kanalbaumaßnahmen werden reduziert.

Aber auch für die anderen Fachgebiete wie Stadt-, Verkehrs- und Grünplanung ergeben sich Chancen, die im DWA-M 194 beschrieben sind.

5 Herausforderungen und Risiken

Als Herausforderungen werden in der DWA-M 194 folgende Aspekte beschrieben:

- Abstimmungen zwischen den Fachgebieten, den Verbänden in den Kommunen und der betroffenen Öffentlichkeit
- Zielkonflikte Wasser – Grün – Straße - Nutzung
- Verkehrssicherheit
- Herkunft und Qualität des bewirtschafteten Wassers (Verschmutzung und Reinigung)
- Barrierefreiheit
- Besondere Herausforderungen in Bestandsgebieten
- Anforderungen an Betrieb und Unterhaltung

Für die Herausforderungen werden im M 194 sehr detaillierte Lösungsvorschläge ausgearbeitet, die als eine Unterstützung in den Planungsprozessen dienen sollen.

6 Angaben zum Verfasser

Der Text stellt eine Zusammenfassung von gemeinsam erstellten Inhalten in der DWA-Arbeitsgruppe für das Merkblatt DWA-M 194 „Planung, Betrieb und Unterhalt von multifunktionalen Flächen“ dar. Zur Autorenschaft des M 194 siehe den Gelbdruck (erscheint im Januar 2025). Zusammenfassung hier von:

STARKREGENGEFAHRENKARTE: EIN HOW TO AUS KOMMUNALER SICHT

Ingo Kopietz

Kurzfassung

Viele Kommunen haben auf Basis der in den jeweiligen Ländern veröffentlichten Leitfäden und Arbeitshilfen ein Starkregenrisikomanagement aufgebaut und in diesem Zusammenhang Starkregengefahrenkarten veröffentlicht. Die Fragen, die sich jedoch nach Veröffentlichung des Kartenwerks die Akteure in Verwaltung, Stadtgesellschaft und Politik oft fragen lautet: Und nun? Wurde mit der Veröffentlichung der Karten der Informationspflicht und damit der kommunalen Fürsorgepflicht genüge getan? Wie gelingt es einerseits, die vorhandene Gefährdungsanalyse und damit die Kenntnis einer potentiellen Gefahrenlage effektiv in der Stadtgesellschaft zu kommunizieren und andererseits in das tägliche Verwaltungshandeln und Krisenmanagement einer Stadt zu integrieren? Und darüber hinaus: Wie gelingt der Weg von einem Starkregenrisikomanagement zu einem effektiven Ressourcenmanagement?

Schlüsselwörter

Starkregenrisikomanagement, Ressourcenmanagement, Risikoanalyse, Potentialanalyse, Kommunikation

1 Ausgangslage

Die globale Klimaveränderung ist eine – wenn nicht die größte – Herausforderung unserer Zeit. So gilt es in der Wasserwirtschaft zukünftig integrale Ansätze zu finden und die Ressource Wasser in allen städtebaulichen Entwicklungen ganzheitlich zu betrachten. Unter Zugrundelegung des natürlichen Wasserhaushaltes muss ein gezieltes Ressourcenmanagement etabliert werden. Die Stadt Münster hat sich zu den Nachhaltigkeitszielen der Vereinten Nationen und zur Klimaneutralität bis 2030 bekannt und bereits 2015 ein verbindliches Klimaanpassungskonzept aufgestellt. Einen entscheidenden Bestandteil eines ganzheitlichen Ressourcenmanagements stellen dabei die Analyse, gezielte Vorsorge und die Risikominimierung hinsichtlich extremer Starkniederschläge und urbaner Sturzfluten dar. Diesen ersten Baustein hat die Stadt Münster in Form eines stadtweiten Starkregenrisikomanagements abgeschlossen. Der 2018 in NRW eingeführte Leitfaden „Arbeitshilfe kommunales Starkregenrisikomanagement und Hochwasserrisikomanagementplanung“ bildete hierbei die Erarbeitungsgrundlage für die Kommune. War die Aufstellung eines kommunalen Starkregenrisikomanagements bisher rechtlich noch nicht bindend, wird die Aufstellung eines Starkregenvorsorgekonzeptes voraussichtlich mit Einführung des § 79a im

neuen Wasserhaushaltsgesetz (WHG) zukünftig bundesweit für die Städte und Gemeinden verbindlich festgesetzt. Auch der neu eingeführte Runderlass über Anforderungen zum Hochwasserschutz und der Starkregenvorsorge bei Abwasseranlagen wird Kommunen in NRW zukünftig dazu verpflichten, entsprechende Risikoanalysen auf Basis von Starkregengefahren- und Hochwassergefahrenkarten zu führen und Schutzkonzepte aufzustellen. Auch vor dem Hintergrund dieser neuen rechtlichen Verpflichtungen stellen sich vermehrt die eingangs formulierten Fragestellungen. Die Stadt Münster verfolgt zur Beantwortung dieser Fragen zurzeit die drei folgenden, parallellaufenden Handlungsstränge.

2 Kommunikation

Für Gefährdungslagen, wie sie in kommunalen Starkregengefahrenkarten dargestellt werden, hat sich bei der Stadt Münster eine dreigestufte Kommunikationsstrategie etabliert. Diese setzt sich aus der Kommunikation auf präventiver, akuter und interdisziplinärer Ebene zusammen. Insbesondere bei der präventiven Kommunikation hat sich die Stadt Münster zum Ziel gesetzt, das Risikobewusstsein der Bevölkerung für diese Gefahrenlagen zu schärfen und im Rahmen ihrer Fürsorgepflicht diesbezüglich umfassend zu informieren und insbesondere zu sensibilisieren. So wurde mit Erstellung und Veröffentlichung der kommunalen Starkregengefahrenkarten ab April 2023 bis Mitte Mai 2024 eine umfangreiche Informationskampagne zur Thematik Starkregenvorsorge, Risikominimierung und Objektschutz durchgeführt. Neben der Entwicklung und Freischaltung einer neuen Website www.stadt-muenster.de/wasser wurden als zusätzliche analoge Serviceleistung der Stadt alle privaten GrundstückseigentümerInnen durch persönliche Anschreiben über ihr Risiko und Vorsorgemöglichkeiten informiert. Aus einem neu entwickelten und den Anschreiben beigefügten Info-Flyer sowie aus den Inhalten der neuen Website konnten erste Hinweise für Handlungsempfehlungen und mögliche Objektschutzmaßnahmen entnommen werden.

Darüber hinaus wurde ein zweistufiges Beratungsangebot geschaffen. Über ein Online-Terminbuchungsportal auf der Startseite der neuen Internetpräsenz konnte über den gesamten Projektzeitraum eine kostenlose, telefonische Erstberatung zur Starkregenvorsorge gebucht werden. Wurde als Ergebnis dieser Erstberatung ein tiefergehender Beratungsbedarf festgestellt, so konnte als letzter Schritt der kommunalen Starkregenberatung ein Folgetermin bei der städtischen Fachstelle Haus- und Grundstücksentwässerung gebucht werden. Je nach Beratungsbedarf war hier auch die persönliche Beratung direkt vor Ort möglich. Die Bilanz dieser umfangreichen Informationskampagne fällt gemischt aus. Die neue Internetpräsenz wurde innerhalb eines Jahres mit über 36.000 Besuchen sehr gut angenommen. Deutliche Zugriffssteigerungen konnten bei Veröffentlichung von Presseartikeln, unmittelbar nach

Versand der Anschreiben-Wellen und nach erfolgten Starkregenereignissen festgestellt werden. Die Besuchs- und Zugriffswerte bestätigen somit den Erfolg der Anschreiben-Aktion und die Akzeptanz der neuen Website. Im Gegensatz dazu wurden über das neu eingerichtete Online-Terminbuchungsportal jedoch lediglich 328 telefonische Erstberatungstermine gebucht und durchgeführt. Die im gleichen Zeitraum zur Verfügung gestellten Beratungsangebote lagen jedoch bei circa 1.700 Terminen. In Bezug auf die versandten Anschreiben lag die Buchungsquote damit bei unter 1 %. Damit wurde dieses Angebot deutlich weniger von der Münsteraner Bevölkerung angenommen als erwartet.

Zur präventiven Kommunikation gehört auch der intensive Austausch mit den Einsatzkräften und der kommunalen Katastrophenschutzplanung im Vorfeld. Durch die Möglichkeiten von spezifischen Risikoanalysen kann der zukünftige Bevölkerungsschutz erheblich verbessert werden. Die Einsatzkräfte müssen in die Lage versetzt werden, bei Starkregenereignissen fachlich richtig und angemessen zu reagieren. Als besonders zielführend hat sich der Austausch nach erfolgten Starkregenereignissen erwiesen. Aus den verschiedenen Zuständigkeiten und entsprechenden Blickwinkeln wurden getroffene Maßnahmen während des Einsatzes aufgearbeitet und deren Wirksamkeit hinterfragt. Die so gewonnenen Erkenntnisse können von der Feuerwehr Münster bei zukünftigen Einsätzen gewinnbringend berücksichtigt werden. Auf interdisziplinärer Ebene wurden und werden Schulungen im Umgang mit den Starkregengefahrenkarten durchgeführt und deren Nutzung für das tägliche Planungshandeln vermittelt. So werden als integraler Ansatz andere Fachämter in die Lage versetzt, den Überflutungsschutz zielführend in Ihre Entscheidungs- und Planungsprozesse einzubinden. Im Zuge der akuten Kommunikation wird zurzeit daran gearbeitet, ein Fachberaterkonzept bei der Stadt Münster zu installieren. Dabei soll parallel zu den bereits bestehenden Rufbereitschaften der Gewässerunterhaltung und des Kanalnetzbetriebes eine Rufbereitschaft „Fachberater“ etabliert werden. Diese hat die Aufgabe im Ereignisfall die Einsatzleitung der Feuerwehr Münster beratend zu unterstützen. So soll zukünftig ein effektives und zielführendes Handeln der Einsatzkräfte bei Starkregen- und Hochwasserereignissen gewährleistet werden.

Die verschiedenen Ebenen der Kommunikation bieten die Chance, Gefährdungslagen aber auch mögliche Potentiale adressatenspezifisch zu vermitteln und die gewonnenen Informationen zielbringend in das Verwaltungshandeln sowie in die Einsatzplanungen zu integrieren. Da die Risiko- und Schadensbegrenzung bei Starkregenereignissen jedoch nur als sogenannte kommunale Gemeinschaftsaufgabe bewältigt werden kann, muss auch jeder EigentümerIn seinen Teil dazu beitragen. Hier stößt die Kommunikation generell an Grenzen, wenn der Wille zur Informationsannahme und Umsetzung fehlt. Die bisherige Erfahrung zeigt daher, dass

das Thema Kommunikation eine kommunale Daueraufgabe bleiben wird, mit der Konsequenz hierfür dauerhaft Personalressourcen zur Verfügung zu stellen.

3 Gefährdungs- / Risiko- / Potentialanalysen

Die Stadt Münster ist nach wie vor eine wachsende Stadt. Die wasserwirtschaftlich relevanten Rahmenbedingungen ändern sich im Quervergleich zu anderen Kommunen relativ schnell. Aus diesem Grund wurde das digitale Stadtmodell, sämtliche Simulationsberechnungen und die Aufstellung der Starkregengefahrenkarten vollumfänglich im eigenen Haus durchgeführt. Ziel war es, sowohl die fachliche Expertise als auch die langjährigen Ortskenntnisse, Kenntnisse über weitere Fachplanungen sowie die städtischen Ziele und Prioritäten jederzeit zielgerichtet einfließen zu lassen. So ist es der Verwaltung seitdem möglich, spezifische Risikoanalysen und Kartenaufbereitungen zu erstellen und für zukünftige Planungsprozesse zielgerichtet zu verwenden. Dazu gehört mittlerweile standardmäßig die detaillierte, gekoppelte 1D/2D-Simulation (Kanalnetz/Oberfläche) bei allen Projekten der Siedlungsentwässerung, sowohl bei der Planung von neuen Kanalnetzen als auch bei der hydraulischen Sanierungsplanung im Bestand. Insbesondere in der Kommunikation und dem fachlichen Austausch bei städtebaulichen Vorhaben von externen Investoren können die gekoppelten Simulationen zur Beurteilung von potentiellen Überflutungsgefährdungen am geplanten Gebäudebestand wertvolle Überzeugungsarbeit leisten. War es bereits erklärtes Ziel der Stadt Münster, insbesondere auch die eigene, kritische Abwasserinfrastruktur durch eine umfassende Risikoanalyse und der Ausarbeitung von entsprechenden Handlungsempfehlungen resilienter gegenüber Überflutungsereignissen zu machen, so wird durch die Einführung des neuen Runderlasses über Anforderungen zum Hochwasserschutz und der Starkregenvorsorge bei Abwasseranlagen diese Vorgehensweise für alle Kommunen in NRW verpflichtend.

Auf Basis der erarbeiteten Datengrundlage der Stadt Münster wird auch die Zusammenarbeit mit Hochschulen verstärkt verfolgt. So konnte im Rahmen einer Masterarbeit mit dem Titel „Starker Regen, kritische Folgen?“ eine Risikoanalyse für das Vorbehaltsnetz der Feuerwehr erarbeitet werden. Dabei wurde der Einfluss überflutungsbedingter Straßenausfälle auf das Versorgungsniveau der Notfallrettung der Stadt Münster untersucht. Die Ergebnisse lieferten wertvolle Erkenntnisse für die aktuelle in Überarbeitung befindliche Katastrophenschutzplanung unserer Stadt. Doch nicht nur Risikoanalysen, sondern auch Potentialanalysen stehen vermehrt im Fokus. Gemeinsam mit den Stadtnetzen Münster GmbH als örtliches Wasserversorgungsunternehmen wurde die Arbeitsgruppe „Ressourcenmanagement Wasser“ etabliert, mit dem Ziel Potentiale für Trinkwassersubstituierung zu finden und umsetzbare Brauchwasserkonzepte zu erarbeiten.

Das Simulationsmodell, so wie die Risiko- und Potentialanalysen sollen zukünftig laufend fortgeschrieben und aktualisiert werden, so dass wasserwirtschaftlich relevante Veränderungen im Stadtgebiet zeitnah berücksichtigt und beurteilt werden können. Da derartige Analysen jedoch immer ganzheitlich sowohl den öffentlichen als auch den privaten Raum betrachten, bestehen hier oft Interessenkonflikte, die zurzeit eine Umsetzung von effektiven Maßnahmen erschweren. Hier muss es erklärtes Ziel sein, zukünftig unbürokratische Lösungen und Regelungen zu finden. Durch die sich abzeichnenden, neuen Grundlagen im Wasserrecht werden für alle Kommunen gleichermaßen rechtsverbindliche Anforderungen an die Aufstellung eines Starkregenerisikomanagements und damit Planungssicherheit geschaffen.

4 Integration in städtische Entwicklungen

Erhebliche Potenziale für eine klimaangepasste, wasserbewusste Stadtplanung liegen in der Bauleitplanung, da hier rechtlich bindende Festsetzungen getroffen werden können. Vor diesem Hintergrund wurde gemeinsam mit der Stadtplanung sowie mit den anderen maßgeblich Beteiligten der klassische Ablauf der Bauleitplanung in der Verwaltung angepasst. Anforderungen an städtebauliche Planungen und Wettbewerbe etwa werden nunmehr gemeinsam von Stadt- und Freiraumplanern sowie der Wasserwirtschaft formuliert. Der integrale Planungsansatz und damit auch integrierte Regenwasserbewirtschaftungskonzepte gehören bereits bei Aufstellung eines städtebaulichen Entwurfs zum Anforderungskatalog. Die Einhaltung der natürlichen Wasserbilanz wird dabei stets als wasserwirtschaftliche Zielgröße definiert.

So werden potentielle Neubaugebiete ganzheitlich betrachtet und das Thema Überflutungsschutz durch die Möglichkeiten der gekoppelten 1D/2D-Simulation zielführend abgebildet sowie topographische Schwachstellen und Entwicklungspotentiale im Gebiet identifiziert. Durch geschickte Geländemodellierung und der Ausweisung von Notwasserwegen auch auf öffentlichen Verkehrsflächen hin zu schadlos überflutbaren Flächen wird ein wichtiger Beitrag zu einem sicheren neuen Wohnquartier geschaffen. Mehrwert dieser vorausschauenden Planung ist, dass den Städteplanern dadurch auch in kritischen Bürgerdialogen die Möglichkeit gegeben wird, Ängste in der Bürgerschaft zu nehmen und das Vertrauen in eine sichere Bauleitplanung zu stärken. Gerade vor dem Hintergrund der unterschiedlichsten Nutzungsansprüche an begrenzt verfügbaren Flächen kann durch die Ausweisung von multifunktionalen Flächen ein sinnvolles Flächenmanagement umgesetzt werden. Durch die Umorganisation und Anpassung in der Bauleitplanung ist es bei der Stadt Münster gelungen, frühzeitig wasserwirtschaftliche Belange in den Planungsprozess einzubringen. Auch in den städtebaulichen Wettbewerben sind mittlerweile Experten aus der Wasserwirtschaft vertreten. Durch die interdisziplinäre Zusammenarbeit werden auch andere Fachbereiche für das Thema Wasser im urbanen Raum sensibilisiert. Das Thema wirkt somit

auf Dauer nicht mehr „fremd“ oder als zusätzliche Arbeit „on-top“ und wird zukünftig wie selbstverständlich auch in anderen Fachbereichen mitberücksichtigt. Obwohl sich die Umorganisation in diesem Bereich etabliert hat, gibt es natürlich noch Optimierungsbedarf. So gibt es aufgrund der verschiedenen Zuständigkeiten und bisherigen Arbeitsweisen oft unterschiedliche Maßstäbe im Entwicklungsprozess sowie unterschiedliche Ansichten zu zukünftigen Unterhaltungsfragen bei der Ausweisung von multifunktionalen Flächen. Ein diesbezüglicher, zielführender Austausch muss in diesen Punkten noch weiter verstärkt werden.

5 Fazit

Der Umgang mit der Aufstellung eines Starkregenrisikomanagements und mit der Nutzung der kommunalen Starkregengefahrenkarten wird in jeder Kommune anders gehandhabt. Die Stadt Münster nutzt die Starkregengefahrenkarten mittlerweile in allen städtebaulichen Entwicklungen als integrale Planungsgrundlage sowie aktiv in der Kommunikation mit der Stadtgesellschaft. Durch die Möglichkeiten von tiefergehenden Risiko- aber auch von Potentialanalysen werden Maßnahmen entwickelt, die zu einer resilienten Stadtentwicklung beitragen können. Insgesamt wird die Ressource Wasser dabei integral und ganzheitlich betrachtet mit dem Ziel ein effektives Ressourcenmanagement zu etablieren und die Stadt klimaangepasst zu entwickeln. Die aufgezeigten drei Handlungsstränge laufen dabei parallel und greifen thematisch ineinander.

WASSERBEWUSSTE
STADT – DÜRRE UND
HITZE

WAS BRAUCHT EIGENTLICH EIN BAUM?

Katharina Weltecke

Kurzfassung

Bäume benötigen neben Sonnenlicht für die Photosynthese auch Luft, Wasser, Nährstoffe und Wurzelraum. Die Qualität des Wurzelraums beeinflusst maßgeblich die Vitalität und Standsicherheit eines Baumes. Eine ausreichende Bodenbelüftung ist essenziell für das Wurzelwachstum. Der Wasserbedarf von Bäumen variiert je nach Standortbedingungen. Im Schnitt beträgt er zwischen 3–5 L/m² Kronenprojektionsfläche pro Tag. Trockenstress beginnt für viele Baumarten, wenn das verfügbare Wasser im Boden unter 40% sinkt. Dies entspricht Wasserspannungen zwischen pF 2,8 und 3,5. Nährstoffmangel ist im Regelfall eher eine Folge von Wassermangel oder anderen Faktoren als tatsächlichem Nährstoffmangel im Boden geschuldet. Der benötigte Wurzelraum wird abhängig von den Bodeneigenschaften auf 1/3-3/4 m³ pro Quadratmeter Kronenprojektionsfläche geschätzt.

Schlüsselwörter

Bodenluft, Bodenwasser, Wurzelraum, nutzbare Wasserspeicherkapazität, Nährstoffbedarf

1 Einleitung

Neben Sonnenlicht, um Photosynthese betreiben zu können, benötigen Bäume Luft, Wasser und Nährstoffe. Außerdem benötigen sie Raum, um sich verankern zu können. Die Eigenschaften des Wurzelraumes entscheiden stark über die Vitalität, Resilienz und Standsicherheit eines Baumes. Im Folgenden werden die Ansprüche näher erläutert, die Bäume in Bezug auf ihren Wurzelraum haben.

2 Luft

Bei Bäumen werden zwischen 25 % und 50 % des in der Vegetationszeit gebundenen Kohlenstoffs durch die Wurzelatmung verbraucht (Qi et al. 1994). Voraussetzung für eine ungestörte Wurzelatmung ist die Versorgung der Wurzeln mit Sauerstoff und die Entsorgung des entstandenen Kohlendioxids.

Die Qualität der Bodenbelüftung wird durch das Luftporenvolumen und die Kontinuität der Poren bestimmt. Bei einem gut strukturierten Boden gewährleisten die weiten Grobporen im Boden, dass Sauerstoff aus der Luft in den Boden gelangt und im Gegenzug das bei der Atmung entstandene CO₂ in die Atmosphäre entsorgt wird. Dieser Luftaustausch erfolgt in erster Linie durch Diffusion (Glinski/Stepniewski 1985) Ist der

Boden versiegelt oder verdichtet, gelangt weniger Sauerstoff in den Boden und CO₂ (und Gase der anaeroben Atmung) reichern sich im Boden an.

In Folge von Belüftungsstörungen sterben Feinwurzeln ab, sodass die Versorgung der Krone mit Wasser und Nährstoffen nicht mehr ausreichend gewährleistet wird. Bodenverdichtung und Versiegelung kann somit einen devitalisierenden Kreislauf in Gang setzen, der zum Absterben ganzer Kronenteile oder des Baumes selbst führen kann (Aslanbogã 1976; Hetsch et al. 1990; Gaertig 2001; Uhl 2008; Gaertig et al. 2010; Weltecke 2012).

3 Wasser

3.1 Wasserbedarf von Bäumen

Nach einer Literaturstudien von (Wullschleger et al. 1998) liegt die Transpirationsleistung und damit der Wasserbedarf von Waldbeständen in der Vegetationszeit im Mittel bei 3–5 L/m² Kronenprojektionsfläche pro Tag. Bei Stadtbäumen können diese Werte je nach Besonnung, Kronenvolumen (Solitäre haben häufig eine tiefreichende Krone), Vitalität, Baumart, Wasserverfügbarkeit, Versiegelungsgrad u. a. m. davon abweichen. So kann nach den Modellierungen von Rust (2010) der Verbrauch eines Baumes mit 100 m² Kronenprojektionsfläche zwischen 400 und 900 Liter pro Tag (4–9 L/m²) liegen (Abbildung 1). Untersuchungen von Rötzer et al. (2021) ergaben hingegen eine Transpirationsleistung 100-jähriger Platanen von lediglich 1,3 L/m²/Tag (umgerechnet). Auf vollversiegelten Standorten ging diese um etwa die Hälfte zurück, wobei dies massiven Einfluss auf den Zuwachs der Bäume hatte.

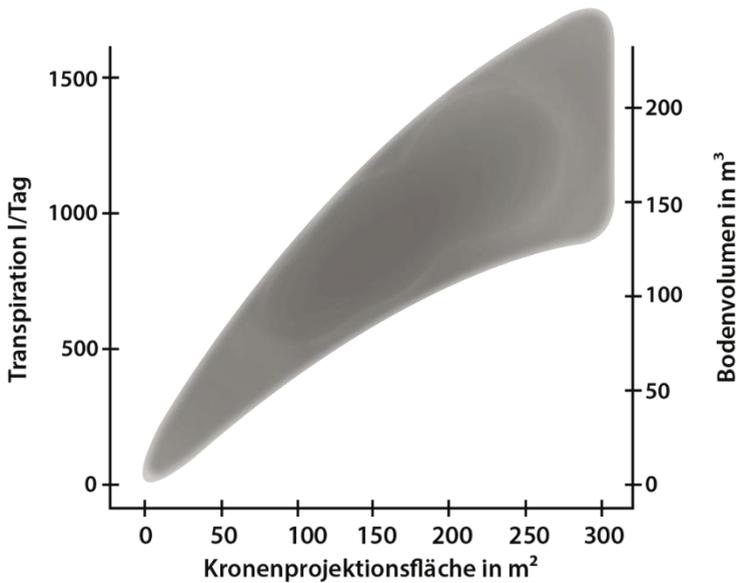


Abb. 1: Benötigtes Bodenvolumen und Transpiration von Bäumen in Abhängigkeit von der Kronenprojektionsfläche (Rust 2010).

3.2 Wasserspeicherkapazität von Böden

Durch Kapillarkräfte wird Wasser in den Poren gegen die Schwerkraft im Boden gehalten. Die Porengrößenverteilung bestimmt, wie stark das Wasser im Boden gebunden und somit wie groß die Luftkapazität und die nutzbare Wasserspeicherkapazität eines Bodens ist. Diese ökologischen Kenngrößen zum Luft- und Wasserhaushalt können aus der sogenannten pF-Kurve abgeleitet werden. Sie stellt grafisch den Zusammenhang zwischen der Wasserspannung [in pF] und dem Wassergehalt [in Vol.-%] eines Bodens dar (Abbildung 2).

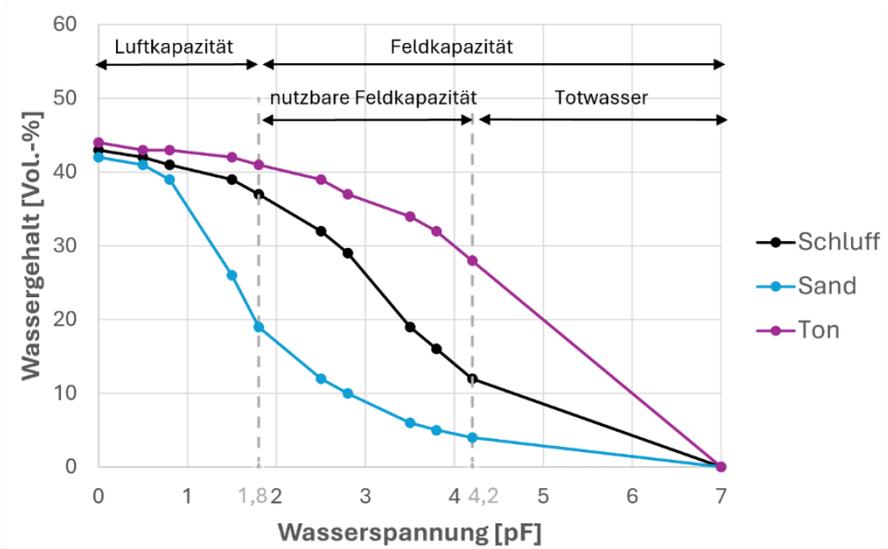


Abb. 2: pF-Kurve der drei Hauptbodenarten. Werte aus (Ad-hoc-AG Boden 2005).

Die Porengrößenverteilung und somit die nutzbare Wasserspeicherkapazität ist in erster Linie abhängig von der Bodenart und Lagerungsdichte. Außerdem beeinflusst der Humusgehalt und der Grobbodenanteil die Wasserspeicherkapazität von Böden. Während Humus die Wasserspeicherkapazität erhöht, senkt das Bodenskelett diese im Regelfall. Es gibt allerdings poröse Steine, wie z. B. Lava, Bims oder Ziegel, die maßgeblich mit zur Wasserspeicherkapazität beitragen können. Dieser Umstand wird bei der Herstellung von Baumsubstraten genutzt.

Schließlich ist die physiologische Gründigkeit, also die durchwurzelbare Tiefe, maßgeblich für die Menge des zur Verfügung stehenden Wassers. Verdichtete Horizonte, Kapillarbrüche, pH-Wert-Sprünge, Bodenartenwechsel oder Stauwasser können beispielsweise die Durchwurzelbarkeit eines Standortes und damit das zur Verfügung stehende Wasser erheblich reduzieren. Daher ist Trockenstress auf stauwasserbeeinflussten Standorten keine Seltenheit (Blume et al. 2016).

3.3 Wann beginnt Trockenstress für Bäume?

Für viele bisher untersuchte Baumarten beginnt Trockenstress, sobald das verfügbare Wasser unter 40 % sinkt. Die wenigen Studien, die es dazu gibt, legen nahe, dass

dieser Wert sowohl für Laubbäume als auch für Nadelbäume gilt (Rust 1999; Granier et al. 1999; Mitscherlich 1975). Anhand von pF-Kurven lässt sich bodenartenspezifisch ableiten, welche Wasserspannung 40 % der nutzbaren Wasserspeicherkapazität entspricht. Mittlere pF-Kurven über alle Dichtestufen aufgeschlüsselt nach Bodenarten bietet die Bodenkundliche Kartieranleitung (Auflage 5) (Ad-hoc-AG Boden 2005). Demnach ist bei sandigen und lehmigen Böden dieser Schwellenwert bei etwa pF 2,8 (~630 hPa) erreicht, bei schluffigen und tonigen Böden bei etwa pF 3,5 (~3150 hPa) (Weltecke 2020). Da diese pF-Kurven die Lagerungsdichte nicht berücksichtigen, die allerdings maßgeblich die Porosität und damit die Wasserspannung-Wassergehalts-Beziehung beeinflusst, dienen diese Werte lediglich einer groben Orientierung bei natürlichen Böden.

Problematisch ist die Übertragung dieser Werte auf Baumsubstrate, deren pF-Kurve aufgrund ihres Anteils an porösen Zusatzstoffen nicht mit natürlichen Böden gleicher Korngrößenverteilung vergleichbar sind. Gleiches gilt für Böden mit einem hohen Anteil an porösen Materialien wie Schlacke, Kohle oder Bauschutt. Hier müssen pF-Kurven eigens hergestellt werden, um die Schwellenwerte zu definieren.

4 Nährstoffe

Bäume bestehen zu weit über 90 % aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff – also aus Bestandteilen von Luft und Wasser – sowie aus Stickstoff, der durch Deposition von Stickoxiden und Ammoniak u. a. ebenfalls aus der Luft gewonnen werden kann. Die übrigen Haupt- und Mikronährstoffe werden nur in sehr geringen Mengen benötigt, die im Regelfall in ausreichender Menge im Boden vorhanden sind. Mangelerscheinungen sind meist eher Folge von Wassermangel, extremen pH-Werten, Salzeintrag oder einem zu kleinen durchwurzelbaren Bodenvolumen, als dass zu wenige Nährstoffe im Boden vorhanden sind.

5 Wurzelraum

Um einen Baum ausreichend mit Wasser und Nährstoffen zu versorgen und eine ausreichende Standsicherheit zu gewährleisten, benötigt ein Baum Wurzelraum. Wie groß dieser bemessen sein sollte, hängt maßgeblich von der Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit des Substrats / Bodens ab. Dabei reichen die Schätzungen von 1/3–3/4 m³ pro Quadratmeter Kronenprojektionsfläche (Kopinga 1991). Kopinga (1997) gibt als Daumenregel 1/2 – 3/4 m³ pro Quadratmeter Kronenprojektionsfläche in Abhängigkeit des Humusgehalts als rasonable Größe an. Bei einem Baum mit 10 m Kronenradius entspricht dies 157–236 m³ Boden (Abbildung 1). Bei einer Durchwurzelungstiefe von 0,8 m, was den Hauptwurzelraum von Bäumen auf natürlichen Standorten darstellt (Jackson et al. 1996), sind das 196 – 295 m² durchwurzelte Fläche.

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.

6 Literaturangaben

Ad-hoc-AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Aufl. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele und Obermiller).

Aslanbogã, I. (1976): Jahrringanalytische Untersuchungen an umweltgeschädigten Bäumen im Stadtbereich von Hannover. Dissertation. Hannover: TU Hannover, Fakultät für Gartenbau und Landeskultur.

Blume, H.-P.; Brümmer, G. W.; Horn, R.; Kandeler, E.; Kögel-Knabner, R.; Stahr, K.; Wilke, B.-M. (2016): Scheffer / Schachtschabel – Lehrbuch der Bodenkunde. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.

Gaertig, T. (2001): Bodengashaushalt, Feinwurzeln und Vitalität von Eichen. Dissertation an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br. In: Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen, S. 157.

Gaertig, T.; Gerhardt, D.; Weltecke, K. (2010): Nachweis von Belüftungsstörungen infolge der Neuanlage eines Spielplatzes. In: Dujesiefken, D. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege 2010. Braunschweig: Haymarket Media, S. 280–285.

Glinski, J.; Stepniewski, W. (1985): Soil Aeration and Its Role for Plants. Boca Raton, Florida: CRC Press.

Granier, A.; Bréda, N.; Biron, P.; Villette, S. (1999): A lumped water balance model to evaluate duration and intensity of drought constraints in forest stands. In: Ecological Modelling 116, S. 269–283.

Hetsch, W.; Hesse, S.; Münte, M. (1990): Absterben von Buchen auf pseudovergleyten Böden nach starker Befahrung. In: AFZ/Der Wald 45, S. 481–483.

Jackson, R. B.; Canadell, J.; Ehleringer, J. R.; Mooney, H. A.; Sala, O. E.; Schulze, E. D. (1996): A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. In: *Oecologia*. Springer Verlag. S. 389–411.

Kopinga, J. (1991): The effects of restricted volumes of soil on the growth and development of street trees. In: *Journal of Arboriculture* 17, S. 57–63.

Kopinga, J. (1997): Grundlagen für die Bemessung und Anlage von Wurzelräumen für Straßenbäume.

Mitscherlich, G. (1975): Wald Wachstum und Umwelt – Eine Einführung in die ökologischen Grundlagen des Waldwachstums. Dritter Band: Boden, Luft und Produktion. Frankfurt am Main: J. D. Sauerländer's Verlag.

Qi, J.; Marshall, J. D.; Mattson, K. G. (1994): High soil carbon dioxide concentrations inhibit root respiration of Douglas fir. In: *New Phytol.* 128, S. 435–422.

Rötzer, T.; Reischl, A.; Rahmann, M.; Pretzsch, H.; Pauleit, S. (2021): Leitfaden zu Stadtbäumen in Bayern. Handlungsempfehlungen aus dem Projekt Stadtbäume im Klimawandel – Wuchsverhalten, Umweltleistungen und Perspektiven. Freising: Zentrum Stadtnatur und Klimaanpassung.

Rust, S. (2010): Stadtbäume – Überleben trotz häufigerer Trockenphasen in der Vegetationsperiode. In: Dujesiefken, D. (Hrsg.): *Jahrbuch der Baumpflege 2010*. Braunschweig: Haymarket Media, S. 38–49.

Rust, S. (1999): Hydraulische Architektur und Wasserhaushalt von Kiefer (*Pinus sylvestris* L.): mit begleitenden Untersuchungen an Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.), Buche (*Fagus sylvatica* L.) und Balsampappelklonen. In: *Cottbuser Schriften zu Bodenschutz und Rekultivierung* 3, S. 110.

Uhl, E. (2008): Bodenstruktur und Bestandeswachstum. Forschungen in Fichten- und Laubbaumbeständen bestätigen den Einfluss der bodenstrukturellen Güte eines Standortes auf das Wachstum. In: *LWF aktuell* 67, S. 8–10.

Weltecke, K. (2012): Untersuchung der Bodenbelüftung forstlicher und urbaner Baumstandorte. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Naturwissenschaften der Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften, Albert-Ludwigs-Universität. Freiburg im Breisgau.

Weltecke, K. (2020): Bäume richtig wässern mit Blick auf zunehmende Trockenheitsperioden. In: Dujesiefken, D. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege. Braunschweig: Haymarket Media GmbH, S. 195–212.

Wullschleger, S. D.; Meinzer, F. C.; Vertessy, R. A. (1998): A review of whole-plant water use studies in trees. In: Tree Physiology. Oxford University Press. S. 499–512.

WASSER UND SEIN EINFLUSS AUF DAS STADTKLIMA

Wilhelm Kuttler

Kurzfassung

Der Beitrag greift die verschiedenen physikalischen Eigenschaften von Wasser auf, die für die lokalklimatischen Gegebenheiten städtischer Siedlungsräume von Bedeutung sein können. Ausgehend von der Wasser- und Energiebilanz werden ausgewählte Terme in ihrer Wirkung auf die städtische Umwelt quantitativ besprochen. Auch wird dargelegt, in welchem Maße die Verdunstungsenthalpie dazu beitragen kann, nicht nur Oberflächen, sondern auch die bodennahe Atmosphäre an warmen bzw. heißen Tagen zu kühlen. An Beispielen der Transpirationseffizienz verschiedener Baumarten wird gezeigt, in welchem Maße hierdurch Kühlmöglichkeiten an warmen Sommertagen durch die Vegetation genutzt werden können. Städte, die einen hohen Anteil an Wasserflächen an ihrer Gesamtfläche („water towns“) aufweisen, lassen verschiedene Möglichkeiten erkennen, durch Wasser Oberflächen- und Lufttemperaturspitzen zu kappen.

Schlüsselwörter,

Kühlung, Stadtklima, Verdunstung, Wasser- und Energiebilanz, Water Towns

1 Einleitung

Wasser ist ein Stoff, der neben chemischen über besondere physikalische Eigenschaften verfügt, die meteorologisch/klimatisch von Interesse sind. Zu diesen zählen unter anderem:

- der Dipolcharakter des Wassermoleküls sowie eine hohe Dielektrizitätskonstante, worauf seine gute Löslichkeit und schlechte elektrische Leitfähigkeit beruhen,
- seine hohe Oberflächenspannung, die für die atmosphärische Tropfenbildung und z. B. für die Wasserbewegung im Boden, nicht zuletzt für den kapillaren Aufstieg von Bodenwasser an die Oberfläche, ausschlaggebend ist,
- eine potenziell starke Strahlungsreflexion an Wasseroberflächen, wodurch die Strahlungsbilanz im Tages- und Jahresgang in unterschiedlichem Maße beeinflusst wird,
- eine volumenbezogene statt flächenbezogene Energiebilanz, wie sie für festen Untergrund charakteristisch ist,

- in flüssigem Zustand eine sehr hohe spezifische Wärmekapazität, die Temperaturänderungen wegen des dazu notwendigen Energieaufwandes verlangsamt und die eine hohe thermische Speicherfähigkeit darstellt.

Die genannten Merkmale können bei Vorhandensein von Oberflächengewässern in unterschiedlich starkem Maße auf klimatische Prozesse einwirken. Am Beispiel des Stadtklimas soll nachfolgend dargestellt werden, welchen Einfluss Wasser auf die meso- und mikroskaligen Effekte der bodennahen Atmosphäre von Siedlungsgebieten ausübt.

2 Urbane Wasser- und Energiebilanz

Die urbane Wasserbilanz wird im Wesentlichen durch den Eintrag an Niederschlägen und den Wasseraustrag über Abfluss, Versickerung und Verdunstung bestimmt. Sie kann für mitteleuropäische Städte im Einzelnen wie folgt dargestellt werden, wobei die einzelnen Summanden jeweils in mm pro Zeiteinheit angegeben werden ([1], hier nach [2]):

$$P + Q_R + W_{FI} + ETP (ETP_{un}, E_v, E_0) + \Delta R (R_v, R_{un}, R_k) + \Delta S (S_v, S_{un}, S_o) + \Delta A + I = 0$$

mit P als fallendem und abgesetztem Niederschlag, Q_R der Wasserfreisetzung durch Verbrennungsprozesse, W_{FI} der Wasserzufuhr aus Flüssen, Kanälen oder Staubecken, ETP der Evapotranspiration, mit ETP_{un} , der Evapotranspiration unversiegelter Flächen, E_v , und E_0 der Evaporation versiegelter resp. Wasserflächen, ΔR dem Nettoabfluss, mit R_v , R_{un} , R_k den Oberflächenabflüssen von versiegelten und unversiegelten Flächenanteilen sowie dem Oberflächenabfluss, der in die Kanalisation erfolgt, ΔS der Nettowasserspeicherung mit S_v , S_{un} der Versickerung in versiegelte bzw. unversiegelte Flächenanteile, ΔS_o der Oberflächenspeicherung, ΔA der Nettofeuchteadvektion und letztlich I der (im Wesentlichen) pflanzlichen Interzeption.

Die Wasserbilanz ist über den genannten Verdunstungsterm (ETP) mit dem latenten Wärmestrom (Q_E) der Strahlungs- und Wärmebilanz in unterschiedlich starkem Maße verknüpft:

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S$$

- Q^* Energiebilanz
- Q_F anthropogener Wärmestrom (aus techn. Prozessen resultierende Wärme; hier nicht behandelt)
- Q_H Sensibler (fühlbarer) Wärmestrom

Q_E Latenter Wärmestrom

ΔQ_S Wärmespeicherung

Nachfolgend sollen wichtige Terme der Wasserbilanz sowie deren Verbindung zur Energiebilanz an ausgewählten Beispielen näher besprochen werden.

2.1 Niederschlag (P)

Atmosphärischer Niederschlag setzt sich sowohl aus fallendem (Regen, Schnee) als auch abgesetztem Niederschlag (Tau, Nebelnässen) zusammen.

Große Siedlungsgebiete beeinflussen fallenden Niederschlag durch verschiedene Faktoren in qualitativer und quantitativer Hinsicht. Hierzu zählen die städtische Überwärmung (Urban Heat Island, UHI) mit entsprechender Konvektion, die Verminderung der Windgeschwindigkeit durch die Oberflächenrauigkeit von Stadtkörpern, Konvergenz- und Divergenzprozesse im Strömungsverhalten der Luft innerhalb der städtischen Grenzschicht sowie letztlich der Gehalt an Aerosolen in der Stadtatmosphäre mit ihrer Wirkung als Nukleationskerne für die Bildung von Niederschlagstropfen. Welche dieser Einflussgrößen letztlich dominieren und wie groß die gegenseitige Beeinflussung ist, ist bislang noch nicht hinreichend geklärt. Statistische Niederschlagsanalysen für nordamerikanische und chinesische Großstädte zeigen, dass durch große Stadtgebiete Niederschlags erhöhungen in unterschiedlichem Ausmaß verursacht werden können (Details in [3]). Diese beschränken sich jedoch nicht nur auf Stadtzentren, wie Abb. 1 zeigt, sondern auch - in der jeweiligen Summe allerdings variierend - auf Stadtumlandflächen. Offensichtlich lassen sich fünf Cluster mit unterschiedlich erhöhtem Niederschlag nachweisen. Hier nach verteilen sich auf das Leegebiet und das Stadtzentrum die jeweils höchsten Anteile der mittleren Zunahmen, während die anderen Flächen nur leichte Erhöhungen erkennen lassen.

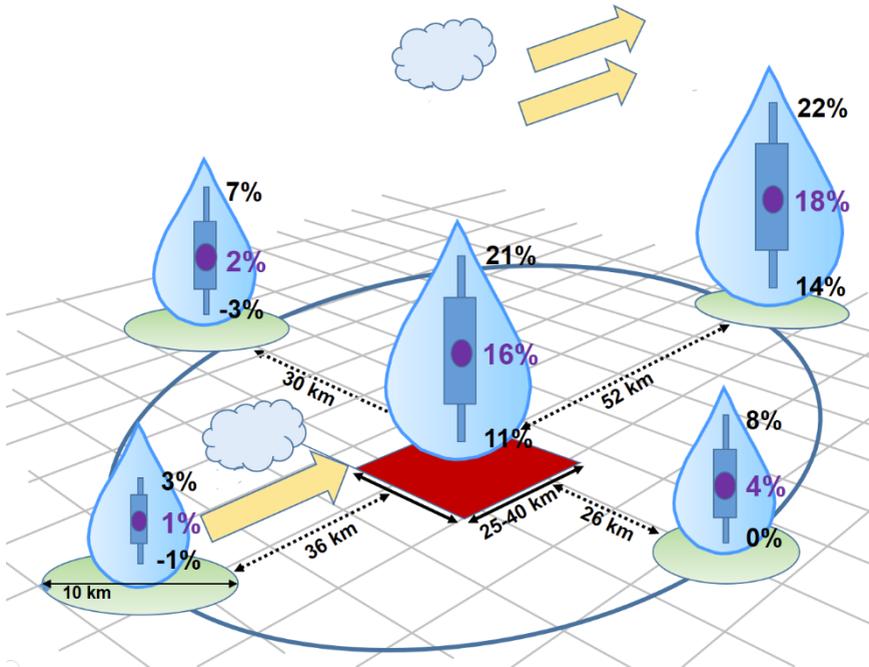


Abb. 1: Aufteilung der mittleren Niederschlagserhöhungen im Vergleich zum unbeeinflussten Umland über und in der Umgebung einer fiktiven Stadt (nach Daten von [3]; hier nach [4])

2.1.1 Wasserdampffreisetzung durch Verbrennungsprozesse Q_R

Auch Verbrennungsprozesse (z. B. Betrieb von Kfz, Gebäudebeheizung durch Gas) führen im Rahmen der chemischen Umsetzung [1kg Benzin (Octan) → 1,3 kg Wasser sowie 1 kg Methan (Erdgas) → 2,3 kg Wasser] der Stadtatmosphäre Wasserdampf zu. Über die Höhe dieser Beträge (punktuelle Industrieemissionen werden hier nicht berücksichtigt) finden sich in der Fachliteratur z. T. sehr unterschiedliche Angaben.

Die nachfolgende exemplarische Abschätzung am Beispiel der Stadt Essen (590.000 EW, $A = 210 \text{ km}^2$) soll Auskunft über die Größenordnung dieser Wasserdampfeinträge geben.

Für diese anthropogene Freisetzung von Wasserdampf - jeweils umgerechnet auf die Stadtfläche und das Jahr – ergab sich für

- den Betrieb von Kfz-Verbrennungsmotoren auf Basis der im Stadtgebiet bewegten Fahrzeuge (Anzahl und mittlere Laufleistung) ein Mittelwert von $0,6 \text{ mm a}^{-1}$ (kondensierten Wassers),
- den Betrieb von Gasheizungen zur Wärmeproduktion von Gebäuden ein Wert von $3,5 \text{ mm a}^{-1}$.

Somit beläuft sich die mittlere Jahresgesamtsumme der Emission an Wasserdampf aus der Verbrennung von Treibstoffen (Benzin, Diesel und Gas) im Stadtgebiet von Essen auf $4,1 \text{ mm a}^{-1}$ kondensierten Wassers. In Relation zum städtischen mittleren Jahresniederschlagsdargebot von 850 mm a^{-1} resultiert daraus ein Anteil von $0,5 \%$ (Details zur Methodik und Berechnung siehe [2]). Der Eintrag dieser Wasserdampfreisetzung ist somit als marginal einzustufen.

2.1.2 Tau und Nebel

Neben fallendem Niederschlag kann bei entsprechender Wetterlage auch abgesetzter Niederschlag, nämlich Tau auftreten. Fachsprachlich handelt es sich um Tauabsatz und nicht um Taufall. Tauabsatz erfolgt im Wesentlichen bei negativer Strahlungsbilanz, ausreichender Wasserdampfkonzentration der Atmosphäre, Windarmut sowie bei einer Lufttemperatur (t_a), die gleich oder niedriger als die Taupunkttemperatur (t_d) ist ($t_a \leq t_d$). [4] nennen - basierend auf Untersuchungen in Paris - mittlere Tauabsätze von $0,055 \text{ mm/Nacht}$. Während 63 Taunächten ergab sich danach eine Jahressumme an Tau von $3,48 \text{ mm}$. Im Ergebnis kann festgestellt werden, dass Tauabsatz in Städten thermodynamisch keine große Rolle spielt, dazu tritt er zu selten - große Flächen bedeckend - auf und erreicht auch nur geringe Absatzmengen. Allerdings erhöhen durch Tau benetzte Oberflächen die Depositionsgeschwindigkeit (v_d) atmosphärischer Spurenstoffe im Vergleich zu trockenen Flächen, sodass von einer höheren Absatzrate an Luftinhaltsstoffen auf feuchten Oberflächen ausgegangen werden kann [6], wodurch die Luftqualität verbessert wird.

Nebel wird definitionsmäßig als kondensierter Wasserdampf in der bodennahen Luftschicht bezeichnet. Auf an Oberflächen abgesetztes Nebelwasser wird in diesem Zusammenhang nicht eingegangen.

Vergleichsanalysen von Nebelereignissen in Städten und ihrem Umland zeigen, dass die Anzahl an Nebeltagen (NT) in den urbanen Siedlungsgebieten Mitteleuropas heutzutage – im Vergleich zu früheren Jahren - niedrigere Werte aufweist als an ruralen Klimastationen. Das war jedoch nicht immer so. Die Auswertung einer entsprechenden Messreihe für den Zeitraum 1950 bis 2010 (Klimastation Essen (DWD)) verdeutlicht die Besonderheit dieser Daten: Während zwischen 1950 und etwa 1960

noch ein deutlicher Anstieg der Werte zu beobachten ist (von etwa 30 NT/a auf 90 NT/a), lässt sich ab den 1960er Jahren ein signifikant abnehmender Trend (bis auf 20 NT/a in 2010) nachweisen.

Dieses dürfte im Wesentlichen auf die Wirkung verschiedener Luftreinigungsmaßnahmen zurückzuführen sein. Insbesondere nach der Smoglage im Ruhrgebiet Anfang Dezember 1962, während der sich sehr hohe Staubkonzentrationen und – für die heutige Zeit - unvorstellbar hohe Schwefeldioxidwerte (Max.- Werte: 3 500 µg/m³; [7]) einstellten, wurde sukzessive an der Verbesserung der Luftqualität gearbeitet.

Aber auch eine zunehmende Überwärmung der Städte im Vergleich zum Umland, insbesondere durch den Anstieg der nächtlichen Minimumtemperaturen [8], dürfte an dem deutlich abnehmenden Trend der Anzahl an Nebeltagen beteiligt sein.

2.1.3 Abfluss (R), Versickerung (S), Verdunstung (ETP)

Der im Allgemeinen hohe Oberflächenversiegelungsgrad in Städten beeinflusst die quantitative Veränderung von Abfluss, Versickerung und Verdunstung des vorhandenen Wassers in unterschiedlichem Maße. Wie sich die letztgenannten Wasserhaushaltskomponenten für einzelne urbane Oberflächen bzw. Materialien im Jahresmittel darstellen, zeigt exemplarisch Tab. 1.

Tabelle 1: Wasserhaushaltskomponenten versiegelter Flächen in Berlin (Messperiode: April 1985 bis März 1986) (Quelle: [9]; verändert)

	Nieder-schlag (P)	Abfluss (R)	Versick-erung (S)	Verdun-stung (ETP)	Kühl-leis-tung durch ETP
	mm (%)	mm (Q _P , %)	mm (Q _P , %)	mm (Q _P , %)	kWh/(m²·a)
Kunststeinplat-ten mit Mo-saikpflaster	631 (100)	104 (16)	319 (51)	208 (33)	145
Betonverbund-steine	631 (100)	103 (16)	379 (60)	149 (24)	104
Rasengitter-steine	631 (100)	32 (5)	318 (50)	282 (45)	197
Straße (Asphalt)	631 (100)	455 (72)	51 (8)	126 (20)	88

Danach weisen zum Beispiel Asphaltflächen mit > 70 % des Jahresniederschlags den stärksten Abfluss auf, während der von Rasengittersteinen (z. B. typisch für befestigte Stellplätze) im Mittel nur 5 % beträgt. Bei der Versickerung kehren sich die Verhältnisse für diese beiden Materialien jedoch um: Während in Asphaltflächen nur 8 % des Wassers eindringt, sind es bei anderen Oberflächen bis zu 60 %. Hinsichtlich der Verdunstung werden über Asphalt etwa 20 % des Niederschlagswassers auf Grund seines hohen Benetzungsgrads verdunstet (im Wesentlichen kurz nach vorangegangenem Niederschlag), über Rasengittersteinflächen hingegen rund 45 %. Die Höhe des in den versiegelten Untergrund versickernden Wassers ist von der Anzahl und Durchlässigkeit entsprechender Fugen und Risse des abdichtenden Materials abhängig. Sind diese Spalten zum Beispiel durch tonreichen Straßenstaub oder Pflanzenreste an der Oberfläche verstopft, so ist die Infiltrationsrate geringer als bei durchlässigen, z. B. mit Sand gefüllten, Öffnungen.

Die Angaben in Tab. 1 sind um die jeweils durch die Verdunstung bedingten Kühlleistungen des latenten Wärmestroms (Q_E) ergänzt worden. Die entsprechende Umrechnung erfolgte mit 0,7 kWh/kg Wasser. Danach zeigt sich (*Tabelle*, rechte Spalte), dass zum Beispiel Rasengittersteine die höchste jährliche Kühlleistung von etwa 197 kWh/(m²·a) im Vergleich zu den anderen hier genannten Materialien aufweisen. Da der größte Teil der Verdunstung jeweils in der warmen Jahreszeit stattfindet, kann es sich hierbei um einen wichtigen Beitrag zur Herstellung der thermischen Behaglichkeit der Stadtbewohner im mikroskaligen Bereich handeln. Besteht die Möglichkeit, geeignete verdunstungsaktive Oberflächen im Stadtgebiet einzubringen, kann der lokale Wärmehaushalt im begrenzten lokalen Bereich positiv beeinflusst werden. Wie gut größere wasserversorgte natürliche Flächen durch Verdunstung kühlen, belegt nachfolgendes Beispiel. Für einen Standort in NRW wurde die Kühlleistung eines bewachsenen Lehmbodens unter folgenden Annahmen berechnet ([10]; verändert):

- Verdunstung pro Jahr: 430 mm/a = 430 L/(m²·a),
- Verdunstungsenthalpie von Wasser (unter Normalbedingungen): 0,7 kWh/L (bei 20 °C),
- Unter Zugrundelegung eines Strompreises (2024) von 0,30 €/ kWh und 1 ha Fläche ($ETP = 4.300 \text{ m}^3$ Wasser) werden rd. 1.000.000 Euro als „Kühl-Ökosystemdienstleistung“ (unter Berücksichtigung von Kompressionskältemaschinen) eingespart.

Wie diese Daten belegen, können Böden mit hohen pflanzenverfügbaren Wasserspeicherleistungen oder gutem Grundwasseranschluss auf mikroklimatischer Ebene mit erheblichen Kühlleistungen, die insbesondere an warmen bzw. heißen Sommertagen besonders erwünscht sind, aufwarten.

Wie die o. g. Einzelbeispiele bereits belegt haben, ist die tatsächliche Verdunstung im gesamten urbanen Bereich wegen der weitgehend versiegelten Oberflächen und der schnellen Wasserableitung durch die verdunstungsgeschützte Kanalisation grundsätzlich stark eingeschränkt.

Wie dominierend der Versiegelungsgrad im Gesamtbild von Städten auf einzelne Glieder der Energiebilanz wirkt, zeigt ein in Abb. 2 enthaltenes Beispiel, das sowohl die Höhe des Anteils des sensiblen Wärmestroms (Q_H) als auch des latenten Wärmestroms (Q_E) an der Energiebilanz (Q^*) sowie in Abhängigkeit des Flächenversiegelungsgrads (λ_p) dargestellt. Danach nimmt der Wert des latenten Wärmestroms (Q_E) mit zunehmendem Versiegelungsgrad signifikant ab (Q_E/Q^*). Während zum Beispiel bei 10 % Oberflächenversiegelung noch etwa 80 % der Strahlungsbilanz für die Verdunstung und damit Kühlung aufgewendet werden können, sind dies bei einem λ_p -Wert von 0,9 nur noch 30 %. Die Angabe der jeweiligen Standardabweichungen dokumentiert, dass die Schwankungsbreite des Verdunstungswertes bei einem niedrigen Versiegelungsgrad relativ groß ist. Das dürfte darauf zurückzuführen sein, dass die jeweilige Pflanzenbedeckung mit ihrer Transpiration in sehr unterschiedlichem Maße auf den Verdunstungsstrom wirkt. Die deutliche Abnahme der Standardabweichungen bei zunehmenden λ_p -Werten charakterisiert hingegen den prägenden Einfluss der Bebauung auf die verbleibenden, sich reduzierenden Verdunstungsmöglichkeiten. Im Falle des sensiblen Wärmestroms (Q_H) zeigt sich an den mit zunehmender Versiegelung ansteigenden Werten, dass die Stadtatmosphäre wegen mangelnder Kühlung entsprechend stärker erwärmt wird.

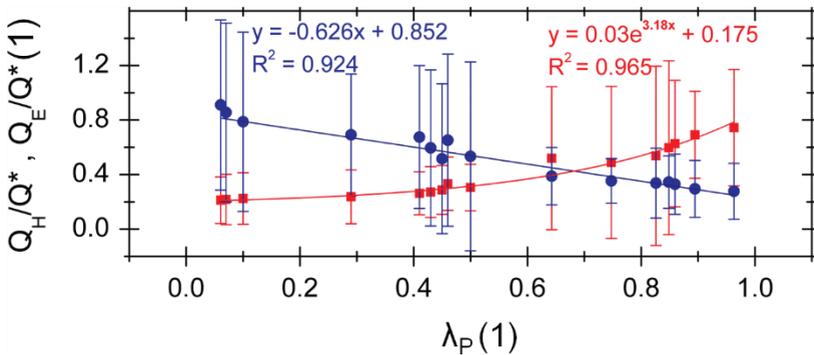


Abb. 2: Anteil des turbulenten sensiblen (Q_H , rot) und latenten Wärmestroms (Q_E , blau) an der Strahlungsbilanz (Q^*) als Funktion des Versiegelungsgrads (λ_P) (Abweichungen sind als 1σ -Werte angegeben) (nach [11])

2.2 Entgangene urbane Verdunstungsenthalpie

Es wurde bereits darauf hingewiesen, dass in Städten ein großer Teil des Niederschlagswassers verdunstungsgeschützt über die Kanalisation abgeführt wird, sodass an den entsprechenden Oberflächen keine Verdunstungskühlung durch den latenten Wärmeprozess (Q_E) entsteht. Dadurch fällt diese nicht in Anspruch genommene Verdunstungsenthalpie der Erwärmung der Stadtatmosphäre zu. Nachfolgendes Beispiel belegt die Größenordnung dieses Energiebetrags, der somit einem Stadtkörper durch nicht ermöglichte Verdunstung zugeführt wird.

Ein Stadtgebiet möge eine Fläche von 200 km^2 aufweisen. Ein (realistischer) Anteil von 25 % soll derart oberflächenversiegelt sein ($= 5 \cdot 10^7 \text{ m}^2$), dass der gesamte hierauf fallende Niederschlag verdunstungsgeschützt abgeleitet wird. Der Benetzungsgrad der Oberflächen kann hierbei außer Acht gelassen werden. Die mittlere Jahresniederschlagssumme möge für diese Stadtfläche 800 mm/a betragen. Folgende Berechnung ergibt die durch die fehlende Verdunstung dem Stadtkörper in Form von Wärme zugeführte Energie, die zudem überwiegend in der verdunstungsaktiven warmen Jahreszeit wirksam wird und gerade dann keinen Kühleffekt verursacht, wenn dieser aus human-biometeorologischer Sicht zur Förderung der thermischen Behaglichkeit besonders wünschenswert ist:

$$5 \cdot 10^7 \text{ m}^2 \cdot 8 \cdot 10^2 \frac{\text{L}}{\text{m}^2 \cdot \text{a}} \cdot 7 \cdot 10^{-1} \frac{\text{kWh}}{\text{L}} = 2,8 \cdot 10^{10} \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

mit der Fläche in m^2 , der Niederschlagsmenge in $\frac{L}{m^2 \cdot a}$ und der Verdunstungsenthalpie in $\frac{kWh}{L}$.

Wird dieser Energiebetrag auf die gesamte Stadtfläche von 200 km^2 bezogen, entspricht das $140 \text{ kWh}/(m^2 \cdot a)$.

Damit repräsentiert dieser Wert etwa ein Drittel der natürlichen Strahlungsbilanz (Q^*) für das hier zugrunde gelegte Stadtgebiet und ist damit als recht hoch anzusehen.

3 Wasserdampfabgabe durch urbane Vegetation

Ein wesentliches Element des Wasserkreislaufs der Vegetation stellt die Transpiration (auch in geringerem Maße die Interzeption, auf die hier jedoch nicht eingegangen wird) von Grünflächen, insbesondere von Bäumen, dar. Hochgewachsene Bäume mit großem Kronendurchmesser und hohen Werten des Blattflächenindices (engl. Leaf Area Index, LAI; zum Beispiel 5 - 7) sowie hohen Blattflächendichten (engl. Leaf Area Density, LAD), kühlen ihre Umgebung nicht nur sehr effizient durch Beschattung, sondern auch durch die überwiegend stomatär erfolgende Transpiration, wodurch sie zu thermischer Behaglichkeit während warmer bzw. heißer Witterung beitragen können.

Der Wasserverbrauch und damit der Transpirationsstrom wird durch verschiedene Faktoren bestimmt. Unbedingte Voraussetzung dafür ist natürlich eine gute und permanente Wasserbereitstellung über das Wurzelsystem im Boden. Aber auch das Alter eines Baumes sowie die Baumart bestimmen in erheblichem Maße die Höhe der Wasserdampfreisetzung. Wie exemplarisch Abb. 3a zu entnehmen ist, stellt das Baumalter eine ausschlaggebende Größe in Bezug auf die Höhe der Transpirationskühlung dar. Während zum Beispiel eine junge Platane (*P. x acerifolia*; < 35 a) Energieverlustwerte von etwa $15.000 \text{ kWh}/(\text{Baum} \cdot a)$ durch Verdunstung erreicht, wurden bei älteren Exemplaren (> 75 a) bis zu $90.000 \text{ kWh}/(\text{Baum} \cdot a)$ ermittelt. Unter der Annahme, dass die Vegetationszeit im mitteleuropäischen Klimabereich etwa 180 Tage dauert, werden somit rund 119 L/d resp. 714 L/d Wasser als Wasserdampf an die Atmosphäre abgegeben. Die Unterschiede zwischen den vier Baumarten in den jeweiligen Altersgruppen sind dabei – wie gezeigt - sehr groß.

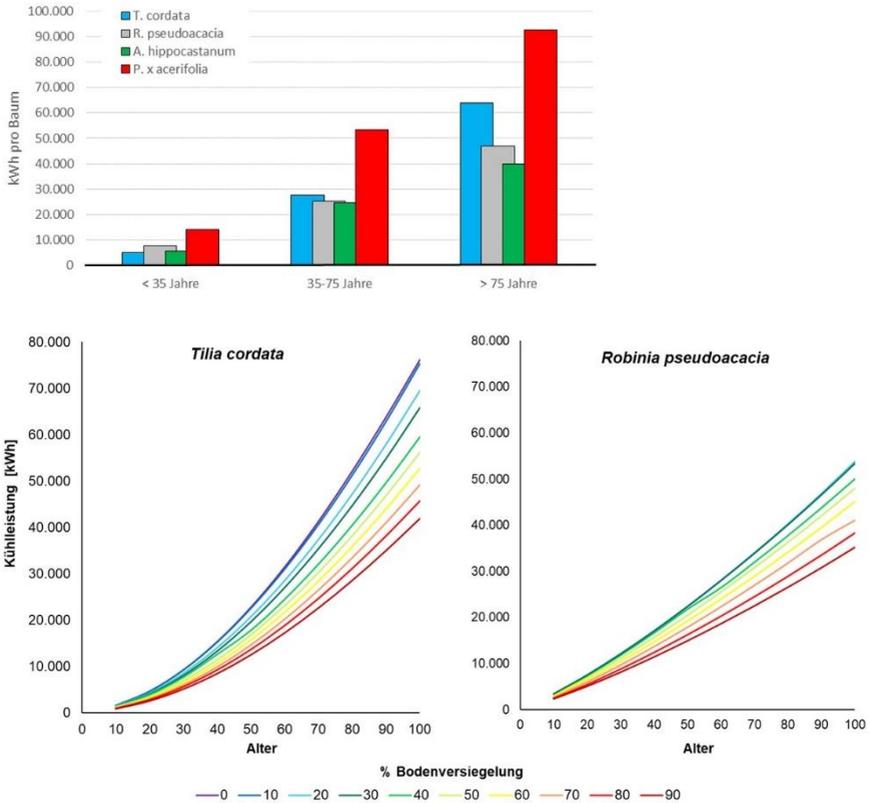


Abb. 3 a) Transpirationskühlung (als Energieverlust pro Baum und Jahr in kWh/(Baum · a) von vier verschiedenen Baumarten für drei Altersklassen), b) Transpirationskühlung von Winterlinde (*T. cordata*) und Scheinakazie (*R. pseudoacacia*) in Abhängigkeit des Alters und der Bodenversiegelung im Mittel für süddeutsche Städte (nach [12], aus [13])

Neben dem Alter und der Baumart spielt jedoch auch der Untergrund, auf dem ein Baum wächst, eine wesentliche Rolle für die Transpiration (Abb. 3b). Legt man zum Beispiel für eine Winterlinde ein Alter von 80 Jahren zugrunde, dann beläuft sich die Kühlleistung bei 90 %iger Versiegelung auf rund 25 000 kWh/a. Wächst der gleiche Baum in gleichem Alter hingegen auf einem Untergrund, der keine Versiegelung (0 %) aufweist, werden mit etwa 55 000 kWh/a mehr als das Doppelte des vorgenannten Wertes erreicht. Im Falle der Scheinakazie (Abb. 3b, rechte Seite) entspricht der Verdunstungswert bei hohem Versiegelungsgrad in etwa dem der Winterlinde (rd. 25.000

kWh/a), jedoch fällt bei der Scheinakazie die Steigerung der Kühlleistung mit Rückgang des Versiegelungsgrads auf null mit 40.000 kWh/a deutlich geringer aus als bei der Winterlinde.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Kühlleistung über die Transpiration von Bäumen

- in erheblichem Maße durch das Baumalter bestimmt wird,
- in Bezug auf die Baumart sehr unterschiedlich sein kann und
- durch den Versiegelungsgrad des Untergrunds, auf dem ein Baum wächst, mehr oder weniger stark beeinflusst wird.

4 Wirkung großer innenstädtischer Wasserflächen

Die im Wesentlichen auf den bodennahen Bereich der städtischen Grenzschicht beschränkte klimatische Einflussnahme urbaner Wasserflächen weist deutliche Unterschiede in Bezug zu festen Oberflächenmaterialien auf. Tab. 2 beschreibt Eigenheiten von Wasserkörpern und ihre Wirkung auf das städtische Umfeld.

Tabelle 2: *Eigenschaften und klimatische Wirkungen eines urbanen Gewässers ([14], verändert)*

Parameter	Typische Werte bzw. Eigenschaften
Strahlung	mehr oder weniger tiefes Eindringen in Wasserkörper; abhängig vom Sonnenstand und von der Trübung
Strahlungsabsorption	> 90 % im kurz- und langwelligen Bereich
Wärmespeicherung	Wasser: 4,2 kJ/(kg·K); Beton: 0,9 kJ/(kg·K)
Bowenratio (Bo) [Bo = Q _H /Q _E]	Wasser: 0,2; Beton: > 2
Rauigkeit (z ₀)	Wasser: 1-2 cm; Stadt: 1-3 m
Oaseneffekt	Q _E > Q*

Umgebungs-wirkung/Lokal-zirkulation	Wasserfläche/bebaute Umgebung; größenabhängig
Luftmassen-transport	bei Schwachwindlagen durch Mitführgeschwindigkeit des Fließgewässers
Verdunstung (Q_E)	bei Wind parallel zur Längsachse relativ niedriger als bei Wind senkrecht dazu
Lage im Stadtgebiet	kann bei Verbindung zum Umland (langgestreckter See oder Flusslauf) als Luftleitbahn zur Frischluftversorgung des Stadtkörpers dienen

Im Vergleich zu festen Untergründen lassen Wasserflächen lang- und kurzwellige Strahlung unter optimalen Bedingungen bis zu einer gewissen Tiefe eindringen. Dadurch kann sich letztlich die kurz- und langwellige Strahlungsenergie auf ein wesentlich größeres Volumen verteilen als an der Oberfläche fester Materialien, in die die Strahlung kaum eindringen kann. Man spricht bei Wasserflächen deshalb auch von einer Volumen bezogenen Energiebilanz, im Vergleich zu einer Flächen bezogenen Energiebilanz eines festen Untergrunds. Auch führt der relativ hohe Wert der spezifischen Wärme zu einer hohen Speicherfähigkeit von Energie. Wie die Bowenratio (Bo) als Verhältnis der beiden turbulenten Wärmestrome ($Bo = Q_H/Q_E$) im Vergleich zu einer festen Oberfläche verdeutlicht, erfolgt im Falle des Wassers der größte Teil der abgegebenen Energie über den latenten Wärmestrom ($Bo = 0,2$), weshalb über Wasserflächen nur der geringere Teil für die Lufterwärmung (Q_H) zur Verfügung steht. Weiterhin weisen Wasserkörper einen um etwa zwei Größenordnungen niedrigeren Rauigkeitsparameter (z_0) als bebaute Flächen auf, wodurch die Windgeschwindigkeit deutlich weniger stark reduziert wird. Ferner können solitäre Wasserkörper in einer nicht mit Wasser bedeckten Umgebung einen Oaseneffekt aufweisen, wodurch sie mehr Energie für die Verdunstung aufwenden als die Strahlungsbilanz (Q^*) in Bezug auf ihre Fläche in der Lage ist, bereitzustellen. Da die zusätzlich benötigte (Verdunstungs-)Energie aus der nicht mit Wasser bedeckten Umgebung stammt, wird diese dadurch abgekühlt. Ein Effekt, der in Stadtgebieten an heißen Sommertagen die thermische Behaglichkeit für deren Bewohner wünschenswert unterstützen dürfte.

Die Lage bzw. der Verlauf von Wasserkörpern in einer Stadt entscheidet auch darüber, ob die grundsätzlich hohe Verdunstung zusätzlich erhöht bzw. erniedrigt werden

kann. Weht der Wind zum Beispiel parallel zur Längsachse eines urbanen Gewässers, dann ist in Bezug auf die Windwirklänge die Verdunstung geringer, weil sich nach einiger Zeit in Windrichtung eine Wasserdampfsättigung in der wassernächsten Schicht einstellt, die eine weitere Verdunstung wegen des abnehmenden und letztlich fehlenden Sättigungsdefizits einschränkt bzw. verhindert. Weht hingegen der Wind senkrecht zur Längsachse des Wasserkörpers ist die relative Verdunstung höher, weil die Windwirklänge kürzer ausfällt und deshalb das Sättigungsdefizit nicht so schnell erreicht ist.

Letztendlich können Wasserkörper, die als See oder Fluss vom Umland in eine Stadt führen als Luftleitbahn für den Transport von Umlandfrischluft in den Stadtkörper dienen, da die Wasseroberfläche sehr rauigkeitsarm ist und deshalb die Geschwindigkeit der Windströmung kaum abbremst. Bei einem Fließgewässer kann die Geschwindigkeit des Wassers überdies dazu beitragen, dass die darüber befindliche Luftschicht „mitgeführt“ wird. Das funktioniert in diesem Fall natürlich nur dann, wenn die Fließrichtungen von Wasser und Luft identisch sind.

Verbindet ein langgestreckter Wasserkörper Umland und Stadt kann die Kühlwirkung der Umlandluft allerdings dann reduziert oder zunichte gemacht werden, wenn die Wassertemperatur wegen der thermischen Trägheit des Wassers nachts einen relativ hohen Wert annimmt [15].

Herrscht ein ganzes Netzwerk kleiner und/oder großer Wasserflächen in Form von Flüssen, Seen oder Kanälen in einem Stadtgebiet vor, wie es zum Beispiel vielfach in den Niederlanden sowie in Hong Kong oder Singapur der Fall ist, spricht man von sog. „water towns“. Der Kühleffekt, der sich in derartigen Städten einstellt, ist tagsüber meist etwas stärker (Werte im unteren einstelligen Temperaturbereich) ausgeprägt als nachts, wo dieser wegen der thermischen Trägheit des Wassers fast gänzlich verschwindet. Die Effizienz entsprechender Kühlpotentiale ist dabei von verschiedenen atmosphärischen, aber auch morphologischen Gegebenheiten der Wasserstraßen abhängig, zum Beispiel von ihrer jeweiligen Breite, der Ufergestaltung (offen oder geschlossen zur Bebauungsseite) sowie ihrem Flächenanteil an der Stadtgebietsfläche. Die jeweiligen Eindringtiefen kühlerer Luft von den Wasserflächen in die bebauten Uferbereiche hinein sind relativ gering (wenige hundert Meter) und führen auch nur zu geringen Lufttemperaturabsenkungen. Einen guten informativen Überblick mit weiterführenden Literaturzitate über die Gesamtproblematik der „water towns“ geben zum Beispiel [16].

Unter der Voraussetzung weiter steigender globaler Temperaturen wird der Einsatz von Wasser auf den unterschiedlichen Skalenebenen als Kühlelement in Städten weiterhin eine zunehmende Bedeutung erfahren. Gleichwohl muss klar sein, dass bei

Überschreiten thermischer Grenzen auch auf andere Möglichkeiten zur Kühlung von Städten zurückgegriffen werden muss.

5 Literatur

- [1] Helbig, A., (1987): Beiträge zur Meteorologie der Stadtatmosphäre. – Abh. Met. Dienst DDR, Nr. 137, Akademie-Verlag Berlin.
- [2] Kuttler, W., Weber, S. (2023): Characteristics and phenomena of the urban climate. *Meteorol. Z. (Contrib. Atm. Sci.)*, Vol. 32, No. 1, 15–47.
- [3] Liu, J., Niyogi, D., 2019: Meta-analysis of urbanization impact on rainfall modification. - *Scientific Reports* 9, doi: 10.1038/s41598-019-42494-2.
- [4] Kuttler, W., Groß, G. (2023): Charakteristika des Stadtklimas.- *promet*, Heft 106, 5-15, DOI: 10.5676/DWD.
- [5] Beysens, D., Mongruel, A., Acker, K. (2017): Urban dew and rain in Paris, France: Occurrence and physico-chemical characteristics. *Atmospheric Research* 189, 152-161.
- [6] Mulawa, P.A., S.H. Cadle, F. Lipari, C. C Ang, R. Vandervennet (1986): Urban dew: Its composition and influence on dry deposition rates. – *Atmos. Env.* 20, 1389–1396, DOI: 10.1016/0004-6981(86)90009-0.
- [7] Kuttler, W., Miethke, A., Düttemeyer, D., Barlag, A.-B. (2015): *Das Klima von Essen*. Westarp Wissenschaften, Hohenwarsleben, 250 S.
- [8] Williams, A.P., R.E. Schwartz, S. Iacobellis, R. Seager, B.I. Cook, C.J. Still, G. Husak, J. Michaelsen (2015): Urbanization causes increased cloud base height and decreased fog in coastal Southern California. – *Geophys. Res. Lett.* 42,1527–1536, DOI:10.1002/2015GL063266.
- [9] Wessolek, G. (2001): Bodenüberformung und -versiegelung. In: *Handbuch der Bodenkunde*, 1–35, DOI:10.1002/9783527678495.hbbk2001002.
- [10] LANUV (2015): Kühlleistung von Böden. Leitfaden zur Einbindung in stadtklimatische Konzepte in NRW. Bearbeitung: Kastler, M. & Molt, C. LANUV-Arbeitsblatt 29. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) Recklinghausen.

- [11] Goldbach, A., Kuttler, W. (2012): Quantification of turbulent heat fluxes for adaptation strategies within urban planning.- Int. J. Climatol. (2012). DOI: 10.1002/joc.3437.
- [12] Rötzer, T., Moser-Reischl, A., Rahman, M. A., Hartmann, C., Paeth, H., Pauleit, S., Pretzsch, H. (2021): Urban tree growth and ecosystem services under extreme drought.- Agricultural and Forest Meteorology 308, doi: 10.1016/j.agrformet.2021.108532
- [13] Pauleit, S., Erlwein, S., Linke, S., Rahman, M., Zölch, T., Rötzer, T. (2023): Grün-blaue Infrastruktur für die Klimawandelanpassung der Stadt.- *promet*, Heft 106, 81-90, DOI:10.5676/DWD
- [14] Kuttler, W. (1991): Zum klimatischen Potential urbaner Gewässer.- In: Schuhmacher, H., Thiesmeyer, B. (Hrsg.): Urbane Gewässer.- Westarp Wissenschaften, Hohenwarsleben, 378-394.
- [15] Hupfer, P., W. Kuttler (Hrsg.), (2006): Witterung und Klima. Eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie, 12. A. – Teubner, Stuttgart, 554 S.
- [16] Shi, D., Song, J., Zhong, Q., Myint, S. W., Zeng, P., Che, Y. (2024): Cooling wisdom of "water towns": How urban river networks can shape city climate?- Remote Sensing of Environment 300, 113925.

WASSERBEWUSSTE
STADT
- NIEDERSCHLAGS-
WASSERBEHANDLUNG

DEZENTRALE NIEDERSCHLAGBEHANDLUNG AN VERKEHRSFÄCHEN MIT AKTIVEN GEOVERBUNDSTOFFEN

Stefan Niewerth un Simon Ebbert

Kurzfassung

Durch die intensive Nutzung unserer Verkehrsinfrastruktur reichern sich auf den Asphalt- oder Betonflächen Schadstoffe wie u.a. Mikroplastik, Kohlenwasserstoffe und Metalle an. Bei jedem Regenereignis werden diese Stoffe (bestenfalls) in die Kanalisation gespült oder aber gelangen unbehandelt in den umliegenden Boden. In einem Forschungsprojekt der FH Münster, der Stadt Münster und der HUESKER Synthetic GmbH wurde die Effektivität geotextiler Schadstoffbarrieren für die dezentrale Niederschlagsbehandlung entlang von Straßen überprüft. Dazu wurden zunächst umfangreiche Laboruntersuchungen zum Schadstoffrückhalt sowie der Wasserdurchlässigkeit in Abhängigkeit der Kolmation überprüft, ehe die Tests an einem Pilotstandort in Münster fortgesetzt wurden. Es zeigt sich, dass die großflächigen, wasserpermeablen Schadstoffbarrieren aus Geotextilien in der Lage sind den Straßenabfluss zu behandeln während das Wasser in den Untergrund versickert. Auf diese Weise kann die versiegelte Fläche reduziert und die Kanalinfrastruktur sowie öffentliche Kläranlagen entlastet werde.

Schlüsselwörter

Dezentrale Niederschlagbehandlung, Filtergräben, aktive Geoverbundstoffe, Straßenbau, Regenwasserbehandlung, Permeable Schadstoffbarriere

1 Einleitung

Ein wichtiges Ziel der umweltrechtlichen Planung der Verkehrsinfrastruktur ist es, die Ausbreitung von Schadstoffen aus dem Verkehr in den Untergrund zu verhindern. Potenziell stark verunreinigte Flächen werden heute mit undurchlässigen Beton- oder Asphaltsschichten versiegelt, um das Trägermedium der umweltrelevanten Stoffe – den Straßenabfluss – aufzufangen. Das gesammelte Wasser wird abgeleitet und zentral in Kläranlagen behandelt. Vielerorts sind Verkehrswege jedoch nicht an die Kanalisationsinfrastruktur angeschlossen, so dass Schadstoffe unbehandelt in den Untergrund und letztlich ggf. auch in das Grundwasser gelangen. Neuartige Geobau- stoffe bieten moderne und vergleichsweise kostengünstige Möglichkeiten für den Schutz des Untergrunds. In diesem Beitrag werden wasserpermeable Schadstoffbar- rieren aus Geotextilien vorgestellt. Die so genannten aktiven Geokomposite, die aus zwei Lagen Geotextilien bestehen, die ein Sorptionsmittel einschließen, ermöglichen

eine passive, dezentrale Wasserbehandlung in verschiedenen Anwendungen. Der Einsatz verschiedener Sorbentien wie Aktivkohle, Ölbinder oder Schwermetallbinder (Abbildung 1) ermöglicht die Anfertigung maßgeschneiderter Systeme für anwendungsspezifische Schadstoffsituationen. Als großflächige, durchlässige Filter verhindern die Baustoffe die Ausbreitung von Schadstoffen, nicht aber den Durchfluss des Wassers. Der Eingriff in die natürlichen Fließwege des Wassers wird dadurch deutlich reduziert und die Flächenversiegelung vermieden. Die Ausstattung oder Nachrüstung unserer Infrastruktur mit geotextilen Schadstoffbarrieren ist vielerorts ohne großen Aufwand realisierbar, da der Anschluss an ein bestehendes Kanalnetz nicht erforderlich ist. In diesem Beitrag wird der Boden- und Gewässerschutz entlang von Straßen insbesondere mit Hilfe von Filtergräben dargestellt. Diese Anwendung wurde in den Feldversuchen über mehrere Jahre erfolgreich beprobt.

2 Aktive Geoverbundstoffe für die dezentrale Niederschlagsbehandlung

Die Bezeichnung aktive Geoverbundstoffe bezieht sich auf die in Abbildung 1 dargestellte Produktgruppe, die aus mindestens zwei Lagen von Geotextilien bestehen, zwischen denen ein textiles oder granulares Sorptionsmedium eingearbeitet wird. Das Produkt besitzt die Fähigkeit, Verunreinigungen aus Wasser oder Gas zu entfernen.

2.1 Geotextile Komponenten (Träger- und Deckschicht)

Als Träger- und Deckschicht aktiver Geoverbundstoffe werden Gewebe und Vliesstoffe verwendet. Diese Schichten werden durch mechanische Bindeverfahren wie Vernadelung oder Vernähen miteinander verbunden. Je nach Auswahl der Geotextilien und der Bindemitteltechnik ergeben sich unterschiedliche Eigenschaften für das Endprodukt, z. B. Zugfestigkeit, Dehnung, Wasserdurchlässigkeit usw. Auf diese Weise können optimale aktive Geoverbundstoffe für verschiedene Anwendungen maßgeschneidert werden. Insbesondere die Durchlässigkeit ist für die dezentrale Wasserreinigung von größter Bedeutung. Im Gegensatz zu Abdichtungssystemen wie geosynthetischen Tondichtungsbahnen haben aktive Geoverbundstoffe eine hohe Durchlässigkeit. Der Durchlässigkeitskoeffizient normal zur Ebene beträgt i.d.R. $k \geq 1,0E-5$ m/s.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Beständigkeit der Materialien. Mit Hilfe von Oxidationstests kann die Alterung der geotextilen Komponenten simuliert werden, um Aussagen über deren Lebensdauer im Boden zu treffen. Eine Lebenserwartung von 100 Jahren kann für qualitativ hochwertig hergestellte Geotextilien, die fachgerecht eingebaut und natürlichen Bedingungen mit Boden-pH-Werten von $4 \leq \text{pH} \leq 9$ und Bodentemperaturen von ≤ 25 °C ausgesetzt wurden, als normal angesehen werden.

2.2 Sorbenten (Aktivschicht)

Als Sorbenten werden Materialien bezeichnet, die umweltrelevante Stoffe („Schadstoffe“) aus einem flüssigen oder gasförmigem Trägermedium herauslösen und binden können. Da nicht jeder Aktivstoff für jeden Schadstoff geeignet ist, ist anwendungsspezifisch der geeignetste Aktivstoffe auszuwählen. Für diese Auswahl muss der Schadstoff hinreichend bekannt sein bzw. Labor- und Feldversuche mit unterschiedlichen Aktivstoffen durchgeführt werden.

Relevante Umweltschadstoffe lassen sich zunächst z.B. in wasserlösliche und nicht-wasserlösliche Stoffe unterteilen. Ein Beispiel für eine nicht-wasserlösliche, unpolare Stoffgruppe sind Kohlenwasserstoffe. So sind u.a. in Schmier- und Treibstoffe enthalten. Für diese Schadstoffe können Aktivstoffe verwendet werden, die unpolare Stoffe aufnehmen und zugleich resistent gegen Verunreinigungen durch das Öl an sich sind. Spezielle Absorbervliese erfüllen diese Eigenschaften. Sie binden die Kohlenwasserstoffe in der Faserstruktur und trennen sie so vom Sickerwasser. Die Fasern können im Vergleich zu ihrem Eigengewicht ein Vielfaches an Öl binden.

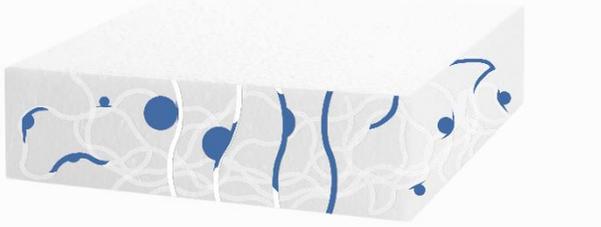


Abb. 1: Schema Ölabsorption in Geotextil

Es wird allgemein angenommen, dass ein Tropfen Öl etwa 600 bis 1000 Liter Wasser verunreinigen kann. Eine Barriere für Öl ist daher von entscheidender Bedeutung, insbesondere auf Verkehrsflächen. Für Öl, Benzin und Diesel (Petrochemikalien) eignet sich der Einsatz von oleophilen und gleichzeitig hydrophoben Vliesstoffen. Dabei handelt es sich nicht um ein Granulat, sondern um ein Textil, das als Barriere für Schadstoffe dient. Da es schlechte Eigenschaften in Bezug auf Zugfestigkeit oder UV-Beständigkeit hat, sollte es auch von anderen schützenden Geotextilien ummantelt werden.

In den folgenden Kapiteln werden verschiedene Designs mit aktiven Geokompositen in Infrastrukturanwendungen gezeigt.

3 Filterkanäle an Straßen

Nicht nur bei Unfällen, sondern täglich gelangen Schadstoffe durch den normalen Reifen- und Bremsenverschleiß sowie durch Flüssigkeitsverluste der Fahrzeuge auf die versiegelten Flächen und letztlich in das Straßenbankett. Aktive Geokomposite im Seitenstreifenbereich der Straße ermöglichen die Filterung der Stoffe direkt aus dem Abflusswasser. Bei sogenannten Filtergräben wird das Regelprofil des entsprechenden Bankettbereichs um den aktiven Geoverbundstoffen erweitert. Dies reduziert die Schadstoffbelastung deutlich.

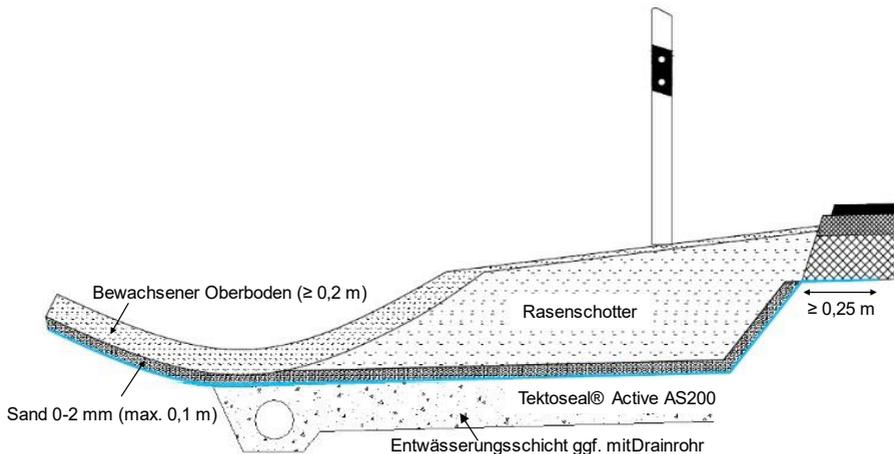


Abb. 2: Beispielaufbau des Bankettbereichs mit Filtergraben

Die Schadstoffe und Schwebstoffe werden nachweislich zurückgehalten, wie in Abbildung 3 bildlich zu sehen ist. In den Feldversuchen an einer Straße in Münster wurde festgestellt, dass das der aktive Geoverbundstoff unterhalb einem ca. 20 cm mächtigen Rasenschotter die abfiltrierbaren Stoffe (AFS) mit einem durchschnittlichen Wirkungsgrad von 96 % aus dem Abfluss entfernt. Da die Vorgabe des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) für die dezentrale Niederschlagswasserbehandlung an Straßen in Deutschland bei 92% liegen, erfüllt das System die Anforderungen.



Abb. 3: Testfelder in Münster (l.), ungefilterter und gefilterter Straßenabfluss (r.)

Nicht nur der AFS-Rückhalt wurde in den Feldversuchen über eine Dauer von inzwischen 3 Jahren überprüft, sondern auch der Rückhalt von Metallen und PAKs. Dies ist ebenfalls eine Anforderung für dezentrale Behandlungsanlagen gemäß DIBt. Der mittlere Rückhalt der Stoffe über die Dauer von 3 Jahren ist in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Mittlerer Schadstoffrückhalt in Feldversuchen

Parameter	Mittlerer Rückhalt durch Rasenschotter und Tektoseal Active AS 200	Zielwert nach DIBt
AFS	96 %	92 %
Blei (Pb)	99 %	-
Kupfer (Cu)	81 %	80 %
Zink (Zn)	74 %	70 %
PAH	98 %	80 %

Neben dem Schadstoffrückhalt ist bei geotextilen Schadstoffbarrieren auch die Permeabilität nach Partikelrückhalt zu überprüfen. Hierzu wurde das Textil im Labor mit steigendem AFS-Gehalt (respektive Millisil W4) beladen und dann die Durchlässigkeit überprüft. Aufgrund ihrer hohen 3-dimensionalität und den gut für die Situation abgestimmten Öffnungsweiten der verschiedenen Komponenten ist auch bei sehr hoher Partikelbeladung eine gute Wasserdurchlässigkeit gewährleistet. Dies führt dazu, dass die Durchlässigkeit der Filtergräben auch nach 15 bis 20 Jahren noch im Bereich von +/- 1,0E-05 m/s liegen wird. Es wird empfohlen die Durchlässigkeit stichpunktartig bei jeder Asphaltdeckschichtsanierung zu kontrollieren.

4 Zusammenfassung

Der Einsatz von großflächigen, durchlässigen geotextilen Schadstoffbarrieren bietet neue Möglichkeiten für den Boden- und Grundwasserschutz im Städte- und Infrastrukturbau. Die Versiegelung des Untergrundes und der Bau von Kanalisationsnetzen, wie sie für die zentrale Wasseraufbereitung notwendig sind, werden durch diesen innovativen Behandlungsansatz überwunden. Die Geotextilien stabilisieren die Sorbenten mechanisch und ermöglichen so eine großflächige Einbringung dieser Aufbereitungskomponenten in neue und bestehende Infrastrukturanlagen. Dies ermöglicht den Einbau oder die Nachrüstung in einem breiten Spektrum von Anwendungen wie Straßen, Bahnlinien, Rückhaltebecken, Erdbauwerken und vielem mehr. Die Expositionspfade der Schadstoffe werden unterbrochen, ohne den natürlichen Fließweg des Wassers zu verändern. Letzteres ist auch im Hinblick auf den Klimawandel wichtiger als je zuvor. Die Flächenversiegelung muss vielerorts reduziert werden, um Städte vor Überschwemmungen infolge von Starkregenereignissen zu schützen. Der Terminus der blau-grünen Infrastruktur beschreibt eine widerstandsfähige Anpassung unserer gebauten Umwelt an sich ändernde Klimabedingungen. Aktive Geoverbundstoffe sind in dieser Hinsicht ein Puzzlestück für neue Bauweisen im Verkehrswegebau.

NACHRÜSTUNG ZENTRALER BEHANDLUNGSANLAGEN (NAREFIL / RING)

Eske Hilbrands und Christian Lieske

Kurzfassung

Die Nachrüstung eines technischen Filterelementes oder eines Strömungsgleichrichters in zentralen Regenklärbecken werden in Münster und Warendorf untersucht. Der AFS63-Rückhalt soll innerhalb des vorhandenen Bauvolumens unter Berücksichtigung der geometrischen Randbedingungen von Bestandsbauwerken erhöht werden. Im Bestand sind räumliche Erweiterungen komplex und kostenintensiv oder durch begrenzte Flächenverfügbarkeit nicht möglich. Weitere Anforderungen an die Behandlung von Abflüssen der Kategorie III-Flächen sowie die unterirdische Bauart ergeben weitere Herausforderungen. Im Rahmen der Projekte wird daher a) die Nachrüstung einer weiteren Behandlungsstufe durch Raumfiltration und b) die Entwicklung und Installation eines Strömungsgleichrichters für bessere Absetzbedingungen von AFS63 untersucht. Mit numerischen und physikalischen Modellen werden die Varianten anfangs optimiert und im Betrieb anhand von durchfluss- und volumenproportionalen Ereignis- oder Mischproben auf die erzielte Verbesserung untersucht.

Schlüsselwörter

Regenwasserbehandlung, Bestandsbauwerke, Nachrüstung, Filtration, Strömungslenkung, konstruktive Optimierung

1 Regenwasserbehandlung

1.1 Behandlung im Bestand

Niederschlag, der auf versiegelte und stofflich entsprechend belastete Oberflächen trifft, gilt gemäß § 54 WHG als Abwasser und erfordert eine Behandlung vor der Einleitung in ein Gewässer. Die Behandlung dient im Trennsystem der Reduktion der AFS63-Jahresfrachten unter den zulässigen flächenspezifischen AFS63-Stoffaustrag durch Regenwasserabflüsse von 280 kg/(ha·a) sowie dem Rückhalt von Leichtflüssigkeiten und gelösten Stoffen. Die Planung und Errichtung zentraler technischer Bauwerke vor einer Einleitung ins Gewässer erfolgt bereits seit Jahrzehnten als Regenüberlauf- oder Regenklärbecken. Technische Arbeits- und Merkblätter mit Vorgaben und Empfehlungen zur Dimensionierung erschienen im Jahr 1977 (ATV-A 128) und zur konstruktiven Gestaltung erst 1999 (ATV-A 166, M176).

Das Arbeitsblatt DWA-A 102-2 [1] definiert als Referenzparameter der stofflichen Belastung von Regenwasserabflüssen die Partikel kleiner 63 μm (AFS63). In Pauschaldiagrammen wird mit Bezug zum erforderlichen Rückhalt eine zulässige maximale Oberflächenbeschickung von $q_A = 2$ bis 10 m/h angegeben. Diese Anforderung müssen auch Bestandsbecken erfüllen, wenn weiterhin die Einleitung des behandelten Regenwasserabflusses in ein Gewässer erlaubt werden soll. Mit $q_A = Q/A$ in m/h kann dies entweder durch eine Verringerung des Zuflusses Q (Abkopplungsmaßnahmen) oder eine Vergrößerung der absetzwirksamen Fläche A (Steigerung der Sedimentation) erreicht werden. Eine Beckenerweiterung ist mit zusätzlichem Platzbedarf und hohen Kosten verbunden. Auch Abkopplungsmaßnahmen können nicht kurzfristig in der Flächenplanung einer Kommune umgesetzt werden und benötigen entsprechende Randbedingungen. Vergleichsweise günstige Nachrüstungen von Zulauf- und Verteilerbauwerken können die Durchströmung eines Beckens gleichmäßiger und die Absetzwirkung steigern [2], gleichzeitig sind diesen Ansätzen zur Beckenoptimierung durch die Sedimentation als Behandlungsmechanismus Grenzen gesetzt.

2 Ansätze zur Optimierung von Bestandsbecken

2.1 Forschungsprojekte zur Systemoptimierung

Im Rahmen von zwei an der FH Münster laufenden Forschungsprojekten werden verschiedene Ansätze zur Nachrüstung von Regenklärbecken im Bestand untersucht. Dabei geht es im Projekt „NaReFil - Nachrüstung von Regenklärbecken mit Filtereinheiten zur Optimierung des Stoffrückhaltes“ (Laufzeit 2022 – 2025) um die Nachrüstung mit einem technischen Filter. Im Rahmen des Projektes RING „Erprobung eines innovativen Gleichrichters für Sedimentationsbecken“ (Laufzeit 2019 – 2024) wurde die konstruktive Optimierung des Beckenzulaufs durch die Nachrüstung eines innovativen Strömungsgleichrichters untersucht. Beide Forschungsprojekte werden vom Umweltministerium NRW (MUNV) finanziert und durch das Landesamt für Umwelt, Natur- und Verbraucherschutz NRW (LANUV) begleitet.

2.2 Nachrüstung eines Gleichrichters

Als Ergebnis aus dem Forschungsprojekt MEREBEN [3] wurde die Idee eines Strömungsgleichrichters entwickelt, der in rechteckigen Sedimentationsbecken eine möglichst gleichmäßige Propfenströmung über den Beckenquerschnitt ausbildet. Das Funktionsprinzip dieses Bauteils basiert auf einer Auffächerung der Strömung in der Zulauf-Komponente über die Höhe und Breite des Beckens. Damit werden

hydraulische Totzonen oder Kurzschlüsse vermieden und das komplette Bauvolumen für den Sedimentationsprozess genutzt. Ziel ist es, mit einer eher kleinteiligen Optimierung am Zulauf, größere bautechnische Erweiterungen zu vermeiden, um den erforderlichen AFS63-Rückhalt zu erreichen.

Zu Beginn wurden in numerischen Strömungssimulationen (CFD) Varianten des Gleichrichters untersucht und einer Nachrüstung mit Lochblechen und Prallplatten gegenübergestellt. Die simulierten Varianten wurden anschließend an einem physikalischen Modell (Abb. 1) nachgebildet und mit mineralischen Prüfmedien wie dem Quarzmehl MilliSil W4 (0-200 μm) oder den Glasperlen Silibeads20 (0-20 μm) und Silibeads70 (40-70 μm) auf den Effekt des verbesserten Partikelrückhalts überprüft. Die Validierung der simulierten Strömung erfolgt durch Nachstellung der Fließwege im Modell mit dem Tracer Uranin (Abb. 2).

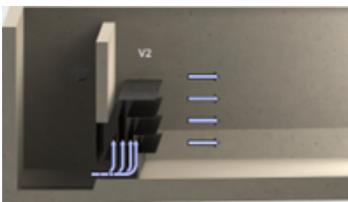


(a)



(b)

Abb. 1: Prototyp V1 in der numerischen Strömungssimulation (a) und als physikalisches Modell im Maßstab 1:10 (b)



(a)



(b)

Abb. 2: Strömungsprinzip in der Strömungsgleichrichter Vorzugsvariante 2 im numerischen Modell (a) und zur Validierung mit Uranintracer im physikalischen Modell (b)

Es stellte sich heraus, dass eine Kombination aus Prallplatten und Strömungsgleichrichter den größten positiven Effekt auf die Beckendurchströmung und Absetzprozesse erzielt (Abb. 3). Diese Variante wurde von der Steinhardt GmbH gefertigt und von der Stadt Münster in einem rechteckigen unterirdischen Bestandsbecken im Zentrum von Münster installiert.

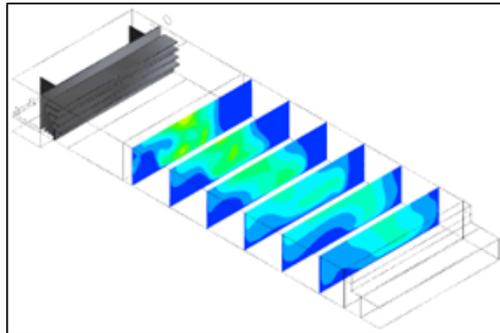


Abb. 3: Endvariante mit seitlichen Prallplatten und Strömungsgleichrichter zur optimierten Durchströmung des Regenklärbeckens

Das Becken wurde bereits vorher mit zusätzlicher Messtechnik, Partikelsensoren und Probenahmegeräten ausgestattet und ein Ist-Zustand ohne Nachrüstung bestimmt. In Folge der Nachrüstung wurde die Messkampagne basierend auf volumenproportionalen, ereignisübergreifenden Mischproben von Zu- und Ablauf weiter durchgeführt. Eine erste Inbetriebnahme zeigte positive Effekte auf den Rückhalt. Eine konstruktive Optimierung von beweglichen Teilen musste jedoch nach der Inbetriebnahme erfolgen, weswegen sich die abschließende Untersuchung bis zum Ende 2024 verlängerte.

2.3 Nachrüstung eines technischen Filters

2.3.1 Grundlagen der technischen Filtration im zentralen Maßstab

Technische Filter werden in der Regenwasserbehandlung bereits in vielen dezentralen, kompakten Anlagen eingesetzt (z. B. Rinnensysteme zur Entwässerung von Parkplatzflächen, s. auch [4]). Die Prozesse in technischen Filtern sind komplex [5]. Wesentliche Bemessungsgrößen können der k_f -Wert, die Filtergeschwindigkeit und damit zusammenhängend auch die Aufenthaltszeit im Filter sein [6]. Im zentralen Maßstab, d. h. in zentralen Regenklärbecken, wurden die technischen Filter bereits an wenigen Standorten im Rahmen von Forschungsvorhaben eingesetzt und untersucht ([7], [8] sowie [6]).

Das Regenklärbecken im Projekt NaReFil wird vom Abwasserbetrieb Warendorf (AW WAF) betrieben und dient der Behandlung von Regenwasser aus einem Gewerbegebiet. Die angeschlossene, befestigte Fläche beträgt aktuell rund 4 ha und kann noch auf 6,42 ha erweitert werden. Nach Trennerlass NRW bzw. dem DWA-A 102-2 gehören die Flächen größtenteils der Kategorie 2 an. Der Betrieb von Regenklärbecken mit integriertem technischem Filter unterscheidet sich dahingehend von einer Kompaktanlage, dass der Rückhalt im Regenklärbecken nicht nur durch die Filtrationsleistung des Filters erfolgt, sondern auch durch Sedimentation im Becken. Die Kombination aus Filtration und Sedimentation kann einen Einfluss auf die Durchströmungscharakteristik des Beckens haben ([9]; [10]). Hinzu kommt, dass durch die Sedimentationsleistung, die in einer Kompaktanlage nicht oder zumindest eingeschränkt vorhanden ist, eine verlängerte Standzeit des Filters zu erwarten ist.

Durch die Nachrüstung von Regenklärbecken mit technischen Filtern kann der Gesamtwirkungsgrad der Anlage verbessert werden, da zum einen die Durchströmung durch den Filter gleichmäßiger werden kann (Sedimentationssteigerung) und zum anderen auch gelöste Stoffe (Schwermetalle, Phosphat) bei entsprechender Substratauswahl zurückgehalten werden können.

Ansätze zur Bemessung von technischen Filtern im zentralen Maßstab finden sich in 6 [6] und werden aktuell im Rahmen einer Dissertation in derselben Arbeitsgruppe untersucht. Ein vereinfachter erster Ansatz zur Bestimmung der Filterwirkung, kann durch vergleichende Gegenüberstellung der am Becken ankommende Schmutzfracht (z. B. auf Basis von Messdaten oder entsprechend des Ansatzes aus dem DWA-A 102-2) und dem zur Verfügung stehenden Porenvolumen im geplanten Substratfilter erfolgen.

Der Einbau des Filtersubstrates kann in Filterkästen oder als lose Schüttung erfolgen. Vorteil der Filterkästen ist u. a. eine einfachere Handhabung des Filtersubstrates, da die Filterkästen aus dem Becken ausgehoben und z. B. auf dem Betriebshof gereinigt und neu befüllt werden können. Bisherige Projekterfahrungen zeigen allerdings, dass die Abdichtung der Kästen (Vermeidung von Umläufigkeiten) anspruchsvoll ist. Eine lose Schüttung kann dagegen vor Ort direkt eingebaut und bei Filterwechsel mit dem Saug- und Szpülfahrzeug herausgesaugt werden.

2.3.2 Physikalische Modellierungsansätze

Im Projekt NaReFil wurden halbtechnische Untersuchungen mit einem Modell im Maßstab 1:10 nachgebaut. Die Skalierung für die physikalische Untersuchung von Filtern im halbtechnischen Maßstab erfolgte nicht nach Froude (konstantes Verhältnis zwischen Trägheitskräften und Schwerkraft [11]), sondern nach Hazen [12], wobei die Oberflächenbeschickung und Fließgeschwindigkeiten im Becken und Filter konstant

gehalten wurden. Der Filter im Sedimentationsbecken stellt damit einen „Ausschnitt aus dem realen, großen Becken“ dar. Ein Beispiel zeigt Abb. 4a). Für die Auswahl des Filtermaterials wurde ein Säulenversuch zur Ermittlung der Standzeit des Filters durchgeführt. Die Filtersäule ist in Abb. 4b) zu sehen.



Abb. 4: a) Modellbecken im Maßstab 1:10; b) Filtersäule des Säulenversuches

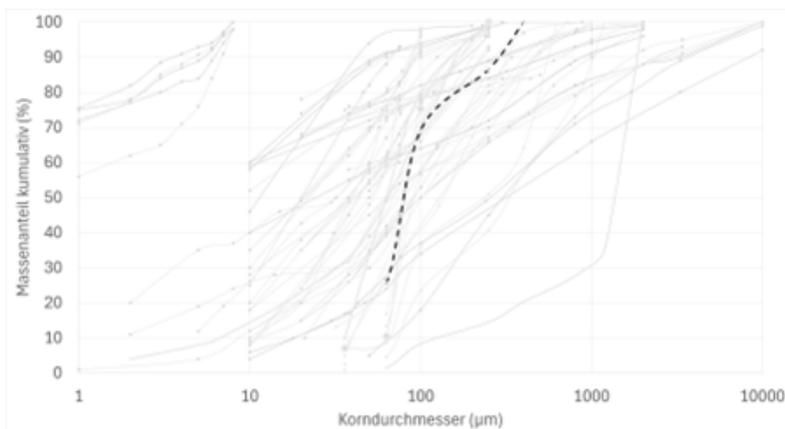


Abb. 5: Zusammenstellung verschiedener, in der Literatur auftretender Sieblinien mit Hervorhebung der Sieblinie aus Freckenhorst

2.3.3 Bisherige Ergebnisse und Ausblick

Die numerischen und physikalischen Untersuchungen im Projekt NaReFil lassen den Rückschluss zu, dass sich bei einer Filteroberfläche, welche 75 % der Beckenoberfläche einnimmt, im Vergleich zu andere Filteroberflächen bessere Sedimentationswirkungsgrade einstellen können [10]. Außerdem kann ein nachträglich eingebauter Filter im Becken einen positiven Einfluss auf die Becken-

Beckendurchströmung haben. Das Becken in Warendorf wurde mit einem Filter nachgerüstet, der eine Oberfläche von 27 m² (9 m lang und 3 m breit) hat und eine Filterhöhe von 15 cm. Bei dem Filterbett handelt es sich um einen Dreischicht-Filter, bestehend aus Kies und Braunkohlenkoks. Die Substrate wurden unter Berücksichtigung von Rückhalteleistung, Lieferbedingungen, Herkunft und möglicher Regenerierbarkeit des Materials ausgewählt. In Abb. 6 ist die technische Zeichnung im Längsschnitt durch das Becken sowie eine Draufsicht des eingebauten Filters dargestellt.

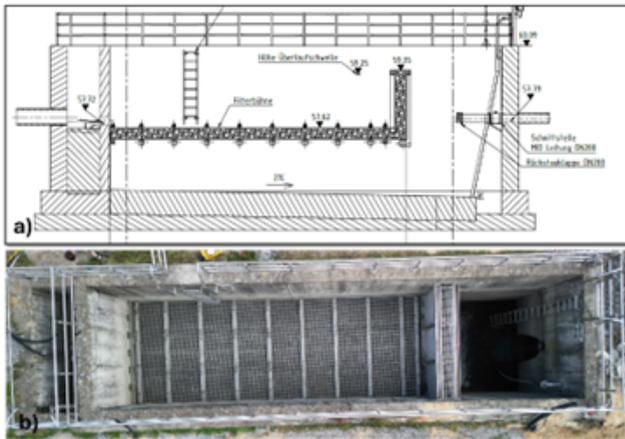


Abb. 6: a) Längsschnitt durch das Becken mit eingebautem Filter; b) Draufsicht auf den eingebauten Filter

Im weiteren Projektverlauf sollen die primären Ergebnisse zur Aufteilung zwischen Filtrivolumen und Sedimentationsvolumen sowie der Einfluss eines nicht nach Regelwerk gestalteten Beckens auf den Gesamtwirkungsgrad in weiteren numerischen Modellierungen sowie physikalischen Untersuchungen verifiziert werden, um die Übertragbarkeit auf andere Regenklärbecken, von denen es alleine in Nordrhein-Westfalen mehr als 1.000 gibt [15], zu schaffen.

An den Möglichkeiten und Potenzialen zur Rückspülung des Filtermaterials wird derzeit in einem parallelen Projekt geforscht.

3 Zusammenfassung und Ausblick

Die Pilotprojekte zeigen auf, welche Alternativen zu einer geometrischen Beckenerweiterung oder einer Nachrüstung mit Lamellenklärenern, zur Erhöhung der absetzwirksamen Fläche möglich sind. Die Filtereinheit erreicht durch die weitergehende Behandlung ein weiteres Anwendungspotential für Regenwasserabflüsse von Kategorie III-Flächen.

Der Strömungsgleichrichter eröffnet die Möglichkeit, die Absetzwirkung auch in geschlossenen Regenklärbecken mit geringen Kosten und kleinen Baumaßnahmen zu erhöhen. Die Kombination aus numerischen und validierenden physikalischen Versuchen führte zu einer Kombination aus Prallplatten und Strömungsgleichrichter, die den größtmöglichen Effekt auf den Rückhalt von Partikel erzielen. Die technische Nachrüstung und Inbetriebnahme in einem Bestandsbecken konnte erfolgreich durchgeführt werden. Erste Betriebsergebnissen führten zur Optimierung von beweglichen Teilen. Die differenzierten Variantenergebnisse und Erkenntnisse aus den numerischen und physikalischen Modellversuchen sowie der Effekt auf den in-situ Rückhalt können basierend auf den aktuellen in-situ Ergebnissen vorgestellt werden.

Die Nachrüstung eines technischen Filters bietet die Möglichkeit, AFS63 zu großen Teilen zurückzuhalten und gleichzeitig auch gelöste Stoffe im Abwasser zu binden. Die Skalierung in den halbtechnischen Maßstab erfolgt für die Filtration nach Hazen, sodass sichergestellt wird, dass die Oberflächenbeschickung pro Filterfläche auch im Modell gleich groß ist. Der Filter wird dabei nicht skaliert. Die bisherigen Projekterfahrungen zeigen, dass der Filter sich positiv auf die Durchströmung im Becken auswirken kann und dadurch die Sedimentationsleistung im Becken steigert. Dies kann sich wiederum positiv auf die Standzeit des Filters auswirken. Weitere Untersuchungsergebnisse des eingebauten Filters werden derzeit ausgewertet.

4 Literatur

[1] DWA (2020) Arbeitsblatt BWK-A 3-2/DWA-A 102-2, Dezember 2020. Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer - Teil 2: Emissionsbezogene Bewertungen und Regelungen. Korrigierte Fassung: Stand April 2022. BWK-Arbeitsblatt, A 3-2. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart

[2] Altensell N (2023) Vorgehensweise zur Bewertung der Absetzwirkung von Regenbecken auf Basis eines "Beckenfaktors". In: Helmreich B, Rosenberger L, Stinshoff P (eds) aquaurbanica Garching 2023. "Die wasser- und schadstoffbewusste

Stadt - Klimaangepasstes Regenwassermanagement trifft Schadstoffproblematik", vol 227, München, pp 101–108

[3] Mohn R, Uhl M, Grüning H (2018) Abschlussbericht zum Forschungsprojekt NRW MEREBEN - Phase 1. Maßnahmen zur Ertüchtigung von Regenklärbecken und Hinweise zu deren Neubau. Phase 1: Ertüchtigung des Bestandes

[4] Vesting A (2018) Entwicklung und Evaluation eines dezentralen Behandlungssystems zum Rückhalt von organischen Spurenstoffen und Schwermetallen aus ... Dissertation, Ruhr-Universität Bochum

[5] Grüning H, Schmitz T (2017) Technische Regenwasserfiltration: Systemanforderungen und Wirkmechanismen (Teil 1). *gwf-Wasser und Abwasser*(2): 71–77

[6]. Grüning H, Hilbrands E, Pecher KH (2024) Bemessung und Wirkung technischer Filter. *Korrespondenz Abwasser, Abfall* 71(5): 353–365

[7] Grüning H, Pecher KH, Massing C (2017) Regenwasserbehandlung in einer Großfilteranlage im Einzugsgebiet "In der Fleute". Projektbericht, Wuppertal

[8] Grüning H, Schmitz T (2020) Abschlussbericht ReWaFil. Analyse und Optimierung des Rückhalts von feinpartikulären und gelösten Stoffen in Anlagen zur technischen Regenwasserfiltration (ReWaFil), Düsseldorf

[9] Stricker M, Littfinski T, Heinz E et al. (2022) Design-oriented evaluation of the hydrodynamics in a full-scale combined filter-lamella separator for urban stormwater treatment. *Water science and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research* 85(10): 2854–2868. doi: 10.2166/wst.2022.135

[10] Hilbrands E, Elsner F, Altensell N et al. (2023) Entwicklung eines Konzeptes zur Nachrüstung von Regenklärbecken mit technischen Regenwasserfiltern. In: Helmreich B, Rosenberger L, Stinshoff P (eds) *aquaurbanica Garching 2023*. "Die wasser- und schadstoffbewusste Stadt - Klimaangepasstes Regenwassermanagement trifft Schadstoffproblematik", vol 227, München, pp 199–208

[11]. Strobl T, Zunic F (2006) *Wasserbau. Aktuelle Grundlagen - Neue Entwicklungen*. Springer, Berlin, Heidelberg

[12] Hazen A (1904) On Sedimentation. *T. Am. Soc. Civ. Eng.* 53(2): 45–71. doi: 10.1061/TACEAT.0001655

[13] Schmitt TG, Welker A, Dierschke M et al. (2011) Entwicklung von Prüfverfahren für Anlagen zur dezentralen Niederschlagswasserbehandlung im Trennverfahren. Abschlussbericht Ergänzungsauftrag über ein Entwicklungsprojekt, gefördert unter dem Az: 28940-23 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Hennef

[14] Wichern M, Grüning H, Helmreich B (2017) Reduktion von Kohlenwasserstoffen und anderen organischen Spurenstoffen durch ein dezentrales Behandlungssystem für Verkehrsflächenabflüsse. Kurzbericht. Gefördert durch das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen

[15. MUNV (2024) Entwicklung und Stand der Abwasserbeseitigung in Nordrhein-Westfalen, 20th edn. #abwasser,

AUTOREN- VERZEICHNIS

- Auel, Christian**
Prof. Dr.
FH Münster
Fachbereich Bauingenieurwesen
IWARU – Institut für Infrastruktur ·
Wasser · Ressourcen · Umwelt
Corrensstr. 25
48149 Münster
0251 83-65217
auel@fh-muenster.de
- Becker, Anne**
Ruhrverband
Talsperrenleitzentrale
Kronprinzenstraße 37
45128 Essen
0201 178-2663
abc@ruhrverband.de
- Brants, Susanne**
Dipl.-Ing.
Stadtwerke Bad Oeynhausen (AöR)
Geschäftsbereich Wasserversorgung /
(Umwelt-) Technische Innovationen
Weserstraße 57
32547 Bad Oeynhausen
- Braun, Anke**
M. Sc.
Stadt Dortmund
Stadtentwässerung (Eigenbetrieb)
Sunderweg 86
44147 Dortmund
0231 50 16884
anbraun@stadtdo.de
- Broesi, Robert**
Dipl.-Ing.
MUST Städtebau GmbH BDA
Maybachstraße 109
50670 Köln
0221 1699 2929
broesi@must.eu
- Carstensen, Dirk**
Prof. Dr.-Ing. habil.
Technische Hochschule Nürnberg
Georg Simon Ohm
Institut für Wasserbau und
Wasserwirtschaft
Kesslerplatz 12
90489 Nürnberg
0911 5880-1223
dirk.carstensen@th-nuernberg.de

Dickhaut, Wolfgang

Prof. Dr.-Ing.

HafenCity Universität Hamburg
Henning-Voscherau-Platz 1
20457 Hamburg

Giga, Andreas

Dipl.-Ing.

Emschergenossenschaft/Lippeverband
Kronprinzenstr. 24
45128 Essen
0201 104-3259
giga.andreas@eglv.de

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
Corrensstr. 25
48149 Münster
0251 83-65214
haberkamp@fh-muenster.de

Helmecke, Manuela

Umweltbundesamt
II 2.1 (Übergreifende Angelegenheiten
Wasser und Boden)
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau
manuela.helmecke@uba.de

Henrichs, Malte

Prof. Dr.-Ing.

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

Hilbrands, Eske

M. Sc.

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

Hoppe, Holger

Dr.-Ing.

Dr. Pecher AG
Niederlassung Emscher-Lippe
Goldbergstraße 14
45894 Gelsenkirchen
0173 5884852
holger.hoppe@pecher.de

Hörnschemeyer, Birgitta

M.Sc.

FH Münster
Fachbereich Bauingenieurwesen
IWARU – Institut für Infrastruktur ·
Wasser · Ressourcen · Umwelt
Corrensstr. 25
48149 Münster
0251 83-65590
b.hoernschemeyer@fh-muenster.de

Janssen, Hendrik

M. Eng.

Dr. Pecher AG
Goldbergstr. 14
45894 Gelsenkirchen
01590 442 8896
hendrik.janssen@pecher.de

Kemper, Svenja

Dr.-Ing.

Bergische Universität Wuppertal
Pauluskirchstraße 7
42285 Wuppertal

Kleckers, Jonas

M.Sc.

FH Münster
Fachbereich Bauingenieurwesen
IWARU – Institut für Infrastruktur ·
Wasser · Ressourcen · Umwelt
Corrensstr. 25
48149 Münster
0251 83-65832
kleckers@fh-muenster.de

Klerx, Claudia

Dipl.-Ing.

Wupperverband
Talsperrenbewirtschaftung
Untere Lichtenplatzer Str. 100
42289 Wuppertal
0202 583-337

Kopietz, Ingo

Dipl.-Ing.

Stadt Münster
Amt für Mobilität und Tiefbau
Albersloher Weg 33
48127 Münster
0251 492-6972
kopietz@stadt-muenster.de

Kuttler, Wilhelm

Prof. (em.) Dr. rer. nat.

Universität Duisburg-Essen
Angewandte Klimatologie
Universitätsstraße 2
45141 Essen

Lakes, Inga

Dipl.-Ing.

Stadt Dortmund
Stadtentwässerung (Eigenbetrieb)
Sunderweg 86
44147 Dortmund
0231 5024071
ilakes@stadtdo.de

Maaß, Anna-Lisa

Dr.-Ing.

Dr. Pecher AG
Goldbergstr. 14
45894 Gelsenkirchen
0159 04372565
annalisa.maass@pecher.de

Lieske, Christian

M.Sc.

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

Miehe, Ulf

Dr.-Ing.

Kompetenzzentrum Wasser Berlin
gGmbH
Grunewaldstr. 61-62
10825 Berlin
ulf.miehe@kompetenz-wasser.de

Niewerth, Stefan

Dr.-Ing.

HUESKER Synthetic GmbH
Fabrikstraße 13-15
48712 Gescher

- Netzel, Fabian**
Dr.-Ing., Hydrologe
Ruhrverband
Abteilung Wasserwirtschaft
Kronprinzenstr. 37
45128 Essen
0201 178-2192
fnt@ruhrverband.de
- Pauwels, Marc**
Dr.-Ing.
Krehl & Partner Unternehmensberatung
für Produkt und Technik GmbH & Co. KG
Kriegsstraße 113
76135 Karlsruhe
0171 3847549
marc.pauwels@krehl.com
- Schlenkhoff, Andreas**
Prof. Dr.
Bergische Universität Wuppertal
Pauluskirchstraße 7
42285 Wuppertal
- Teichgräber, Burkhard**
Prof. Dr.-Ing.
DWA-Landesverband NRW
Kronprinzenstr. 24
45128 Essen
- Weltecke, Katharina**
Dr.
Boden & Baum
Am Schlossteich 5
34454 Bad Arolsen
05691 8773333
0176 2199 5113
weltecke@bodenundbaum.de
- zur Strassen, Georg**
Dipl.-Ing., Hydrologe
Ruhrverband
Abteilung Wasserwirtschaft
Kronprinzenstr. 37
45128 Essen
0201 178-2650
gzu@ruhrverband.de

AUSSTELLER- VERZEICHNIS

AquaBurg Hochwasserschutz GmbH

j.winkels@aquaburg.com
Schlagholz 4
48165 Münster

Josef Winkels
Tel.: 02501 9278000
www.aquaburg.com

BERDING BETON GmbH

schwarberg@berdingbeton.de
Industriestr. 6
49439 Steinfeld

Henric Schwarberg
Tel.: 0549 28724
www.berdingbeton.de

Betonwerk Lintel GmbH & Co. KG

ahe@lintel-gruppe.de
Kapellenstrasse 1
33389 Rheda-Wiedenbrück

Arno Helweg
Tel.: 05242 928317
www.lintel-gruppe.de

BIRCO GmbH

c.krug@birco.de
Herrenpfädel 142
76532 Baden-Baden

Cassiopeia Krug
Tel.: 0722 15003-1425
www.birco.de

Bockermann Fritze IngenieurConsult GmbH

bfi@bockermann-fritze.de
Dieselstraße 11
32130 Enger

Hendrik Doht
Tel.: 0522 497370
www.bockermann-fritze.de

BWK Landesverband NRW e.V.

emming@bwk-nrw.de
Postfach 10 01 51
47878 Kempen

Jutta Emming
www.bwk-nrw.de

DAHLEM Beratende Ingenieure GmbH & Co. Wasserwirtschaft KG

m.ludorf@dahlem-ingenieure.de
Bonsiepen 7
45136 Essen

Magdalena Ludorf
Tel.: 0173 8888208
www.dahlem-ingenieure.de

ecoTech Umwelt-Meßsysteme GmbH

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

Timo Wolf
Tel.: 0228 8504477-00
www.ecotech.de

ENREGIS GmbH

Uwe.paschedag@enregis.de
Lockweg 83
59846 Sundern

Uwe Paschedag
Tel.: 0173 9114527
www.enregis.de

FRÄNKISCHE Rohrwerke Gebr. Kirchner GmbH & Co. KG

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

Alexandra Neumeier
Tel.: 09525 88-2226
www.fraenkische.de

Funke Kunststoffe GmbH

n.grieskamp@funkegruppe.de
Siegenbeckstr. 15
59071 Hamm-Uentrop

Nadine Grieskamp
Tel.: 02388 3071-182
www.funkegruppe.de

Hauraton GmbH & Co. KG

Isabel.werner@hauraton.com
Werkstraße 13
76437 Rastatt

Isabel Werner
Tel.:
www.hauraton.com

HUESKER Synthetic GmbH

besseling@huesker.de
Fabrikstraße 13-15
48712 Gescher

Silvia Besseling
Tel.: 02542 701-310
www.huesker.de

Humberg Baumschutz

schnelle@humberg-baumschutz.de
Zeppelinstraße 4
48301 Nottuln

René Schnelle
Tel.: 02509 993690
www.humberg-baumschutz.de/

Hydro-Vacuum S.A

k.liwandowska@hv.pl
Droga Jeziorna 8
PL-86300 Grudziadz

Karolina Liwandowska
Tel.: +48 513 301621
www.pump-hv.com

Mall GmbH

sarah.scherliess@mall.info
Oststraße 7
48301 Nottuln

Sarah Scherliess
Tel.: 0771 8005 136
www.mall.info

MAXX Mess- u. Probenahmetechnik GmbH

m.boss@maxx-gmbh.com
Hechinger Straße 41
72414 Rangendingen

Marcel Boss
Tel.: 0747 198481 41
www.maxx-gmbh.com

ROCKWOOL Rainwater Systems ROCKWOOL BV

Peter.koller@rockwool.com

Delstoffenweg 2

NL-6045 Roermond

Peter Koller

Tel.: +49 15153552510

www.rain.rockwool.de

Scalgo ApS

jan@scalgo.com

Aabogade 40 D

DNK-8200 Aarhus

Jan Willem van der Vegt

Tel.: +31 653 750081

www.scalgo.com



IWARU Institut für
Infrastruktur · Wasser
Ressourcen · Umwelt



Klare Konzepte, Saubere Umwelt,
Landesverband
Nordrhein-Westfalen