

Anpassungen an den Klimawandel im Flussgebietsmanagement

In dem von der EU geförderten Forschungsprojekt BINGO (Bringing INnovation to onGOing water management) haben die beteiligten Forschungseinrichtungen verschiedene Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel in der Wasserwirtschaft untersucht. In Rahmen einer Fallstudie im Wupperverbandsgebiet wurde dabei eine Methodenkombination entwickelt und erprobt, um die Kostenwirksamkeit von Hochwasserschutzmaßnahmen im urbanen Raum der Stadt Wuppertal zu bewerten. In diese Bewertung sollte das Gefahrenpotenzial für Personen- und Sachschäden sowie für Gewässergütegefahren einfließen. Der Mirker Bach als Zulauf der Wupper stand im Fokus der Fallstudie. Der Beitrag erläutert das Vorgehen der Forscherinnen und Forscher und stellt zentrale Untersuchungsergebnisse vor.

von: Clemens Strehl, Andreas Hein (beide: IWW Zentrum Wasser), Marc Scheibel, Paula Lorza, Daniel Heinenberg (alle: Wupperverband) & Prof. Dr. Andreas Hoffjan (TU Dortmund)

Der globale Klimawandel wirkt bis in kleine Fließgewässer und bedingt so auch Risiken für das Flussgebietsmanagement kleiner Einzugsgebiete. Insbesondere die steigende Intensität von lokalen Starkregen-Ereignissen erhöht dabei das Risiko von extremen Hochwässern [1]. Besonders in dicht besiedelten Siedlungsräumen akkumulieren sich dadurch Gefahrenpotenziale, die durch die Überflutungen aus urbanen Fließgewässern und über den direkten Oberflächenabfluss ausgelöst werden können. Solche Überflutungen bedeuten zum einen Sachschadensgefahren sowie Personenschadenspotenziale. Zum anderen bringen die dadurch ausgelösten Rückflüsse aus den urbanen Entwässerungssystemen Gefahren für die Gewässergüte durch Schadstoffe und Kontaminationen mit sich. Letzteres Risiko ist insbesondere bei Überflutungsereignissen in Industrie- und Gewerbegebieten hoch.

Wasserverbände haben in diesem Zusammenhang die komplexe Aufgabe, die Fließgewässer in ihrem Verantwortungsbereich so zu unterhalten, dass Schäden für Personen wie auch für Sachgüter durch Hochwässer minimiert werden und ebenso möglichst keine negativen Effekte auf die Gewässergüte durch Überflutungsereignisse drohen. Diese Aufgabe sollte – trotz der hohen Bedeutung – möglichst wirtschaft-

Abb. 1: Überflutung aus dem Mirker Bach an der Uellendahler Straße in Wuppertal

Quelle: WSW Wuppertaler Stadtwerke GmbH



lich erfolgen, um unverhältnismäßigen Aufwand zu vermeiden und gleichzeitig dennoch die Ziele zu erreichen. Dazu gilt es für die Verantwortlichen, sowohl die Kosten der Maßnahmen als auch deren Wirksamkeit zu bewerten und ins Verhältnis zu setzen. Weiterhin ist eine derartige Bewertung auch deshalb sinnvoll, um mögliche Maßnahmen innerhalb des Verantwortungsbereiches zu priorisieren und finanzielle Mittel zunächst dort einzusetzen, wo die beste Kostenwirksamkeit zu erwarten ist.

Vor diesem Hintergrund haben die beteiligten Akteure in dem internationalen Forschungsprojekt BINGO zwischen 2015 und 2019 unter Leitung des IWW Zentrums Wasser verschiedene Fallstudien zur Anpassung wasserwirtschaftlicher Systeme an den Klimawandel durchgeführt – u. a. im Flusseinzugsgebiet der Wupper. In enger Kooperation mit dem Wupperverband sollten dabei sich ändernde Risiken aus Starkregen im urbanen Raum untersucht werden. Als Untersuchungsbe- reich wurde der Fokus auf den Mirker Bach im unmittelbaren Stadtbereich von Wuppertal gelegt. Der Mirker Bach gilt als Risikogewässer nach der europäischen Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie [2], wie Schadensereig- nisse der jüngeren Vergangenheit be- stätigen (Abb. 1).

Methodik und Daten

Zielsetzung einer neuen Methodik

In der Fachliteratur werden Schäden aus Überflutungen in tangible und in- tangible Schäden unterschieden. Tangible Schäden sind gut quantifizierbar und damit monetär bewertbar, Beispiele hierfür sind z. B. Sachschäden an Gebäuden und Wertgegenständen. In- tangible Schäden wiederum sind häufig weniger gut quantifizierbar und nicht eindeutig oder gar nicht monetär zu bewerten [3, 4]. Im Rahmen der Fall- studie am Mirker Bach wurden zwar beide Schadensarten untersucht, im besonderen Fokus standen allerdings die nicht-monetären Schäden. Obwohl diese häufig schwer abzuschätzen sind,

Tabelle 1: Die Arbeitsschritte der Fallstudie	
allgemeine Prozessschritte des Risikomanagements	spezifische Arbeiten in der Fallstudie
Risikobeurteilung	Hotspot-Liste entlang des Mirker Bachs Analyse der Überschwemmungsgebiete für drei Jährlichkeiten Bewertung der nicht-monetären Schadenspotenziale
Risikobehandlung	Identifikation von passenden Risikoreduktionsmaßnahmen Analyse der Risikoreduktionspotenziale für identifizierte Maßnahmen zusammenfassende Bewertung der Risikoreduktions- wirkung von Maßnahmen anhand von zwei Kriterien Bewertung der Kosten je Maßnahme Zusammenfassender Kostenwirksamkeitsquotient Priorisierung der Überflutungsschutzmaßnahmen

Quelle: IWW Zentrum Wasser

sind sie für die Entscheidungsfindung zu einem angemessenen Überflutungs- schutz nicht weniger wichtig als mo- netäre Schäden. Daher sollte eine Me- thodik entwickelt werden, welche so- wohl die nicht-monetären Schäden als auch die Risikoreduktionswirkung der einzelnen Überflutungsschutzmaß- nahmen quantitativ bewertbar macht. Die Kosten der Schutzmaßnahmen sollten ins Verhältnis zur Risikoreduk- tionswirkung gesetzt werden, um in der Folge auch die Wirtschaftlichkeit beurteilen zu können.

Fallstudienprozess

Der Forschungsansatz war explorativ angelegt und erlaubte damit einen Me- thoden- und Datenmix. Gleichwohl orientierte sich die neue Gesamt- methodik an einschlägigen Quellen zum Risikomanagement [5], an der wis- senschaftlich fundierten Bewertung von Maßnahmen [6] und an etablier- ten wasserwirtschaftlichen Rahmen- werken [7], um den Standards ange- wandter Forschung zu genügen.

Gemäß der DIN-ISO-31000 [5] sind die Risikobeurteilung und die Risikobe- handlung zwei wesentliche Bestand- teile des Risikomanagements. Die Risi- kobehandlung ist für die Anpassung im Flussgebietsmanagement an die steigenden Überflutungsrisiken in Zei- ten des Klimawandels entscheidend. Dazu zählt insbesondere die Entschei-

dungsunterstützung zur Bewertung, Auswahl und Priorisierung von Über- flutungsschutzmaßnahmen. **Tabelle 1** fasst die Arbeitsschritte in der Fallstu- die am Mirker Bach anhand der Pro- zesslogik der DIN-ISO-31000 zusam- men.

Hotspots, Risikoanalyse und quantitative Bewertung nicht-monetärer Schäden

Um die Methodenkombination an ei- nem handhabbaren Fallbeispiel testen zu können, wurde unter Abstimmung mit dem Wupperverband eine Auswahl verschiedener Hotspots mit bekann- tem Hochwasserrisiko identifiziert. Im Rahmen dieser Fallstudie wurden ins- gesamt sieben von 13 Hotspots am Mir- ker Bach und seinen Zuläufen näher betrachtet (Kürzel: MI1, MI2-MI5, MI8 und MI12). Für diese Hotspots wurde anhand von geografischen Informati- onssystemdaten (GIS-Daten) das Scha- denspotenzial für drei verschiedene Überflutungsereignisse ausgewertet. Untersucht wurden statistisch

- alle zehn Jahre zu erwartende Hoch- wässer,
- alle 100 Jahre zu erwartende Hoch- wässer und
- alle 500 Jahre zu erwartende Hoch- wässer.

Diese Spannweite entspricht der euro- päischen Hochwasserrisikomanage- ment-Richtlinie und muss berücksich-



Quelle: WW Zentrum Wasser mit Daten des Wupperverbands unter Nutzung der Software ArcGIS

Abb. 2: Exemplarischer GIS-Datenauszug für einzelne Hotspots, Überflutungsflächen eines 500-jährlichen Hochwassers und betroffener Gebäude

tigt werden, weil trotz vieler Unsicherheiten in der zukünftigen Klimaentwicklung schon heute von häufigeren Extremwetterlagen auszugehen ist [1]; dies haben auch die während der Projektlaufzeit stattgefundenen Überflutungen u. a. im Einzugsgebiet des Mirker Baches gezeigt. In Zukunft ist nach dem Stand der Forschung nicht mehr von einem stationären Klima auszugehen [8, 9]. Statistisch noch seltene, aber extreme Ereignisse sind daher als realistisch zu sehen und unbedingt zu analysieren, da sie sich in Zukunft häufiger ereignen könnten. Gleiches gilt für statistisch häufiger vorkommende Ereignisse, wenn sie bereits Schäden verursachen. Denn durch eine verkürzte Wiederkehrzeit können diese über die Jahre ein deutliches Schadensausmaß akkumulieren.

Um die relevanten nicht-monetären Auswirkungen als Indikatoren für die Analyse festzulegen, führten die Projektbeteiligten zunächst einen Workshop mit Stakeholdern durch. In einem zweiten Workshop wurde dann die relative Wichtigkeit der einzelnen Indikatoren zueinander abgefragt. Dazu führte man einen paarweisen Vergleich der Indikatoren in Anleh-

nung an die Methodik nach [10] durch. Dieses Vorgehen eignet sich besonders, wenn viele Indikatoren zur Diskussion stehen und mit einer Stakeholderrunde in einem fairen und transparenten Verfahren eine Rangfolge der Indikatoren nach ihrer Wichtigkeit erstellt werden soll. Es zeigte sich, dass von insgesamt neun Indikatoren zwei als besonders wichtig herausstachen: Die „Anzahl betroffener sensibler Objekte“ und die „Anzahl betroffener Anwohner“ erhielten beinahe eine identische relative Wichtigkeit. Die nachfolgenden Analyseschritte fokussierten sich daher auf diese beiden Indikatoren.

Die **Abbildung 2** visualisiert die Datenbank-gestützte Vorgehensweise zur Bewertung der nicht-monetären Auswirkungen. Anhand der von der Überflutungsfläche (blau-transparente Fläche) überlagerten Gebäude (graue Umrisse) konnte ausgewertet werden, ob besonders sensible Objekte im simulierten Überflutungsgebiet liegen. Mit Daten der Firma Hydrotec auf Basis der sogenannten Klassifikation der Wirtschaftszweige vom Statistischen Bundesamt [11, 12] konnte für alle betroffenen Gebäude überprüft werden, ob

sie zu sensiblen Objekten zählen. Im Rahmen der Fallstudie wurde festgestellt, dass Gebäude aus folgenden Wirtschaftszweigen dazu zählen:

- Kraftfahrzeughandel, Instandhaltung und Reparatur von Kfz, Tankstellen
- Gesundheits-, Veterinär- und Sozialwesen
- Erziehung und Unterricht

Für diese drei Klassen sind Objekte im Umkreis der betrachteten Hotspots vorhanden. Aus den Objekten rund um den Kraftfahrzeugbereich geht dabei ein hohes Risiko durch Kontamination des durchströmenden Wassers aus. Diese Kontaminationen können beispielsweise zu Gewässergüteproblemen für Oberflächengewässer oder Grundwasserkörper führen. Auch von medizinischen oder veterinärtechnischen Einrichtungen geht ein Risiko für die Umwelt und die Gewässergüte aus. Weiterhin ist die Überflutung von Einrichtungen aus dem Sozial-, Gesundheits- sowie Bildungswesen kritisch, weil hier besonders vulnerable Bevölkerungsgruppen (Kinder, Kranke und ältere Menschen) gefährdet sind.

Die simulierten Überflutungsflächen wurden außerdem mit GIS-Daten zur Bevölkerungsdichte abgeglichen [13]. Somit konnten die Projektbeteiligten feststellen, welche Einwohneranzahl jeweils potenziell von einem Schadensereignis betroffen wäre. Zusammenfassend ließ sich so für die Indikatoren „Anzahl betroffener sensibler Objekte“ sowie „Anzahl betroffener Anwohner“ das nicht-monetäre Schadenspotenzial für jedes der drei Hochwasserereignisse (10-, 100- und 500-jährlich) quantifizieren.

Maßnahmenidentifikation, Analyse der Risikoreduktionspotenziale und deren zusammenfassende Bewertung

Für die Fallstudie identifizierten die beteiligten Stakeholder drei verschiedene Maßnahmentypen zur Risikoreduktion an den Hotspots. Für den Hotspot MI1 bietet sich dabei ein tech-

nischer Linienschutz an, welcher bis zur Schwelle des Bauwerks einen erhöhten Hochwasserschutz bietet. Für die Hotspots MI2 bis MI5 sowie MI12 ist bereits ein Hochwasser-Rückhaltebecken vorgesehen, für das ortsnah eine freie Fläche identifiziert werden konnte. Als Drittes bietet sich für die betroffenen Objekte am Hotspot MI8 ein individueller technischer Objektschutz an. Unter Einbeziehung der identifizierten Maßnahmen wurden die oben beschriebenen Schritte zur Quantifizierung der von Überflutungen je Wiederkehrzeit betroffenen sensiblen Objekte und Anwohner erneut durchgeführt. Die Differenz zum jeweiligen Wert ohne Maßnahme entspricht dem Risikoreduktionspotenzial einer Maßnahme.

Für einen fairen Maßnahmenvergleich anhand von zwei nicht-monetären Indikatoren wurde die jeweilige Risikoreduktionswirkung auf einen dimensionslosen Maßstab normiert (jeweils in Prozent der Reduktionswirkung, gemessen am besten Ergebnis). Die Risikoreduktionswirkung beider Indikatoren wurde anschließend für eine zusammenfassende Bewertung gemäß den Stakeholder-Präferenzen gleichgewichtet aggregiert.

Maßnahmenkosten, Kostenwirksamkeitsquotient und Priorisierung

Die Kosten der Maßnahmen wurden als Jahreskosten nach [7] geschätzt. Die Schätzung der laufenden Kosten und

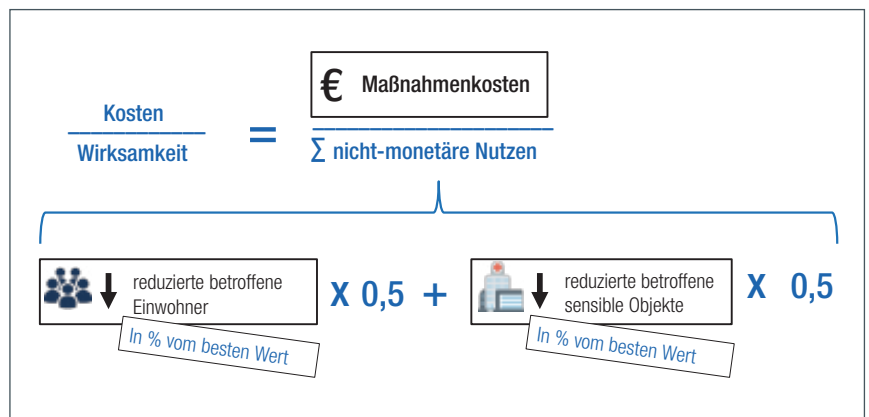


Abb. 3: Formelabbildung zur Kostenwirksamkeitsbewertung

notwendiger Investitionen für die Berechnung der Jahreskosten wurde dafür von der Firma Hydrotec bereitgestellt. Mit diesem Input konnte schließlich ein Kostenwirksamkeitsquotient nach [14] berechnet werden. Dieser setzt die Kosten der Maßnahme ins Verhältnis zum nicht-monetären Nutzensgewinn für jede Maßnahme. Wie aus **Abbildung 3** ersichtlich, zeigt er als Effizienzkriterium an, wie viel Euro für einen Prozentpunkt Risikoreduktion anfallen.

Mithilfe der Kostenwirksamkeitsquotienten je Maßnahme ließ sich somit eine eindeutige Rangfolge, gemessen an den Kosten im Verhältnis zur Effektivität der Risikoreduktion, ermitteln.

Ergebniszusammenfassung

Die Ergebnisse der Risikobeurteilung sowie der Risikobehandlung, bezogen

auf die beiden nicht-monetären Schadensindikatoren, sind in **Tabelle 2** zusammengefasst. Es zeigt sich, dass insbesondere das Hochwasserrückhaltebecken für die Hotspots MI2 bis MI5 und MI12 das Risiko der betroffenen sensiblen Objekte laut Simulation vollständig reduziert (keine Objekte mehr betroffen). Ebenso verringert es im Vergleich zu den anderen Maßnahmen das Risiko für die Anwohner am deutlichsten.

Die Ergebnisse der Kostenwirksamkeitsanalyse sind in **Tabelle 3** aufgeführt. Im Gegensatz zu den Zahlen der absoluten Risikoreduktion gemäß **Tabelle 2** zeigt sich hier, dass die dezentralen Maßnahmen eine ähnliche oder im Falle des Objektschutzes an MI8 sogar eine bessere Kostenwirksamkeit als das Hochwasser-Rückhaltebecken ausweisen. Im Sinne einer Priorisierung von Maßnahmen an-

Tabelle 2: Betroffene sensible Objekte und Anwohner ohne und mit Risikoreduktionsmaßnahme

	Betroffenheit ohne Maßnahme			Betroffenheit mit Maßnahme		
	HQ ₅₀₀	HQ ₁₀₀	HQ ₁₀	HQ ₅₀₀	HQ ₁₀₀	HQ ₁₀
sensible Objekte						
MI1	1	1	1	1	0	0
MI2-MI5, MI12	10	10	10	0	0	0
MI8	1	1	1	1	1	0
Anwohner						
MI1	50	38	0	25	4	0
MI2-MI5, MI12	2.055	1.076	34	1.028	158	0
MI8	100	72	1	50	7	0

Tabelle 3: Kostenwirksamkeit der Maßnahmen

Maßnahme	Hotspots	Kostenwirksamkeit
Linienchutz	MI1	1,1 Tsd. Euro pro Prozent Risikoreduktion p. a.
Hochwasser-Rückhaltebecken	MI2-MI5, MI12	0,9 Tsd. Euro pro Prozent Risikoreduktion p. a.
Objektschutz	MI8	0,4 Tsd. Euro pro Prozent Risikoreduktion p. a.

Quelle: IWW Zentrum Wasser

hand der Kostenwirksamkeit stehen damit der Objektschutz an erster, das Hochwasser-Rückhaltebecken an zweiter und der Linienchutz an dritter Stelle.

Fazit und Ausblick

Bezogen auf die Fallstudie am Mirker Bach hat sich im Rahmen des Projektes gezeigt, dass dezentrale Maßnahmen (wie z. B. der Objektschutz) im relativen Vergleich kostenwirksamer sein können als zentrale Lösungen (wie z. B. ein Hochwasser-Rückhaltebecken). Bei knappen finanziellen Ressourcen zur Umsetzung kann es also sinnvoll sein, diese vor zentralen Schutzmaßnahmen zu priorisieren. Gleichwohl ist es schwieriger, die vielen Beteiligten zu bewegen, die Maßnahmen umzusetzen. Zudem ist die Förderung der dezentralen Maßnahmen nach aktueller Förderstruktur nicht gegeben. So hängt die Maßnahmenwahl auch von der Umsetzbarkeit ab. Im Sinne eines effektiven Hochwasser- und Gewässergüterschutzes ist es vor dem Hintergrund einer nicht-stationären Klimaentwicklung umso wichtiger, in Abhängigkeit von der Mittelverfügbarkeit nach und nach möglichst für alle Hotspots die Risikovorsorge zu verbessern. Zentrale Maßnahmen können sich dazu durch eine höhere absolute Wirksamkeit auszeichnen.

Über den Rahmen dieser Fallstudie hinaus bietet die entwickelte Methodik und Systematik der Datenverknüpfung Transferpotenzial für ähnliche Fallstudien in der Klimawandelanpassung sowie andere wasserwirtschaftliche Fragestellungen. Die Methodik ist flexibel für eine größere Anzahl von In-

dikatoren einsetzbar, sofern passendes quantitatives Datenmaterial zur Verfügung steht.

Dankagung

Dank gilt dem Fördermittelgeber (EU Grand Agreement Nr. 641739), allen Projektpartnern aus dem BINGO-Konsortium sowie insbesondere Robert Mittelstädt von der Firma Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH für die Daten und Informationen rund um die GIS-basierten Auswertungen dieser Fallstudie. ■

Literatur

[1] IPCC (2013): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

[2] HWRM-RL (2007): Richtlinie 2007/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken. Amtsblatt der Europäischen Union.

[3] Büchele B., Kreibich H., Kron A., Thieke A., Ihringer J., Oberle P., Merz B., Nestmann F. (2006): Flood-risk mapping: contributions toward an enhanced assessment of extreme events and associated risks, in: Natural Hazards and Earth System Sciences (6), 485–503.

[4] Smith K., Ward R. (1998): Floods – Physical processes and Human Impacts. Wiley, Chichester, ISBN/ISSN 978-0-471-95248-0, 394 S.

[5] DIN-ISO-31000 (2018): Risikomanagement – Leitlinien (ISO 31000:2018). Beuth Verlag GmbH Berlin, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, 24 S.

[6] DeGEval (2017): Standards für Evaluation. DeGEval – Gesellschaft für Evaluation e. V., Mainz, 66 S.

[7] DWA (2012): Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR Leitlinien). DWA/DVGW, Hennef, 207 S.

[8] LAWA (2017): Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft – Bestandsaufnahme, Handlungsoptionen und strategische Handlungsfelder 2017. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), Stuttgart, 313 S.

[9] Milly P. C., Betancourt J., Falkenmark M., Hirsch R. M., Kundzewicz Z. W., Lettenmaier D. P., Stouffer R. J. (2008): Climate change. Stationarity is dead: whither water management?, in: Science, 319 (5863), 573–574.

[10] Saaty T. L. (2008): Decision making with the analytic hierarchy process, in: International Journal of Services Sciences, 1(1), 83–98.

[11] Statistisches-Bundesamt (2008): Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 2008 (WZ 2008), online unter www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/Gueter-Wirtschaftsklassifikationen/klassifikation-wz-2008.html, abgerufen am 22. April 2021.

[12] Statistisches-Bundesamt (1993): Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 1993 (WZ 93), online unter www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/Gueter-Wirtschaftsklassifikationen/klassifikation-wz-1993.html?sessionId=DF9AFAEBCBF8EFB79061A749EDBEF71.live?712?nn=205976, abgerufen am 22. April 2021.

[13] Zensus (2011): Zensusdatenbank 2011 der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder.

[14] Levin H. M., McEwan P. J. (2001): Cost-Effectiveness Analysis: Methods and Applications. Sage Publications, Inc., Thousand Oaks and London, ISBN/ISSN 978 0 7619 1933 9, 308 S.

Die Autoren

Clemens Strehl arbeitet im Bereich für Wasserökonomie & Management am IWW Zentrum Wasser in (inter-)nationalen Projekten. Die Fallstudie in Wuppertal ist Teil seiner laufenden Dissertationsarbeit zum Thema „Klimawandelanpassung in der Wasserwirtschaft“.

Andreas Hein leitet den Bereich für Wasserökonomie & Management am IWW Zentrum Wasser.

Marc Scheibel ist Leiter Wassermengenerwirtschaft & Hochwasserschutz beim Wupperverband.

Paula Lorza arbeitet beim Wupperverband im Sachbereich für Wassermengenerwirtschaft & Hochwasserschutz.

Daniel Heinenberg arbeitet beim Wupperverband im Sachbereich für wasserwirtschaftliche Grundlagen.

Prof. Dr. Andreas Hoffjan ist Lehrstuhlinhaber an der TU-Dortmund für Unternehmensrechnung und Controlling und wissenschaftlicher Direktor des Bereichs für Wasserökonomie & Management am IWW Zentrum Wasser.

Kontakt:

Clemens Strehl
IWW Zentrum Wasser
Moritzstr. 26
45476 Mülheim an der Ruhr
Tel.: 0208 40303-441
E-Mail: c.strehl@iww-online.de
Internet: www.iww-online.de