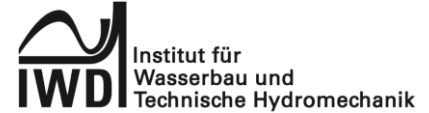




**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

Fakultät Bauingenieurwesen Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen
Heft 57



GEWÄSSERENTWICKLUNG & HOCHWASSERRISIKOMANAGEMENT - SYNERGIEN, KONFLIKTE UND LÖSUNGEN AUS EU-WRRL UND EU-HWRM-RL

RIVER BASIN MANAGEMENT & FLOOD RISK MANAGEMENT

39. Dresdner Wasserbaukolloquium 2016
03. – 04. März 2016



Bibliografische Informationen

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie. Die bibliografischen Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Gewässerentwicklung & Hochwasserrisikomanagement - Synergien, Konflikte und Lösungen aus EU-WRRL und EU-HWRM-RL

Technische Universität Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen,
Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik.
Dresden: Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik, 2016
(Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen; Heft 57)
Zugl.: Dresden, Techn. Univ., 2016
ISBN 978-3-86780-475-2

Herausgegeben im Auftrag des Rektors der Technischen Universität Dresden von:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. J. Stamm
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. K.-U. Graw

Technische Universität Dresden
Fakultät Bauingenieurwesen
Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik
01062 Dresden

Tel.: +49 351 463 34397
Fax: +49 351 463 37120
E-Mail: mail@iwd.tu-dresden.de
WWW: <http://iwd.tu-dresden.de>

Redaktion:
Dipl.-Ing. Sarah-Christin Mietz

Redaktionsschluss:
10.02.2016

Verlag:
Selbstverlag der Technischen Universität Dresden

Foto Deckblatt:
Dipl.-Ing. Nadine Müller

Der Nachdruck des Heftes bedarf der Genehmigung durch die Redaktion und ist nur mit Quellenangabe gestattet.

ISSN 0949-5061
ISBN 978-3-86780-475-2

Inhaltsverzeichnis

Vorwort Jürgen Stamm	1
Block 1 – Saal 3 Status Quo und Lessons Learned I: Fließgewässer	
Die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie und der Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie in internationalen Flussgebieten Thomas Borchers	3
Das Konzept der Landeshauptstadt Dresden für kommunale Fließgewässer: Intergration von Hochwasserrisikomanagement, Gewässerentwicklung und Erlebbarkeit am Beispiel der Prießnitz Harald Kroll	5
Umgestaltung und eigendynamische Entwicklung der Prießnitz im Oberlauf Mattes Hoffmann	15
Ökologische Durchgängigkeit von Fließgewässern - Theorie und Praxis am Beispiel des Lockwitzbaches Johannes Riedel, William Schönwälder	27
Hochwasserrisikoanalyse im urbanen Raum auf der Basis von gekoppelten hydrodynamischnumerischen Modellen und 3D- Stadtmodellen Dr. Torsten Heyer, Roberto Tatis Muvdi, Hellen Hammoudi, Dr. Stefan Trometer, Dr. Arne Schilling	37

**Block 1 – Saal 5 Technische und operationelle Maßnahmen I:
Stauanlagen****Sedimentuntersuchungen in Talsperren - eine komplexe Aufgabe 47**

Dr. Klaus Buckup, Maximilian Buckup, Reiner Lautenschläger,
Elena-Maria Klopries, Gerd Heller

**HRB Neuwürschnitz – Lösungsansätze für den Zielkonflikt
zwischen EU-WRRL und Hochwasserschutz 57**

Matthias Höhne, Dr. Holger Haufe, Mirko Salzmann, Ingo Berndt

Kohärenzmaßnahme E1neu zum HRB Straßberg 67

Franka Ludwig

**Reaktivierung eines historischen Stauhaltungsdamms auf sehr
gering tragfähigem Untergrund 77**

Olaf Düser

**Ausschluss von mit Piping verbundenen Risiken mit Hilfe
wasserstandsunabhängiger Maßnahmen 89**

Dr. André Koelewijn, Ulrich Förster

**Block 2 – Saal 3 Forschungsthemen für WRRL und HWRM-RL I:
Hochwasserrisikomanagement****Hochwasserrisiko mindern und Ziele des Gewässerschutzes
erreichen – geht das? 97**

Georg Johann, Hans Frings

Von der hydrologischen zur risikobasierten Hochwasservorhersage 107

Dr. Daniel Bachmann, Dirk Eilander, Annemargreet De Leeuw, Dr. Joost Beckers,
Dr. Ferdinand Diermanse, Peter Gijsbers

**Auswertung des Deichbruchs Breitenhagen (Juni 2013) anhand
von UAS-basierten Videoaufnahmen 119**

Dr. Jens Brauneck, Prof. Dr. Robert Jüpner, Prof. Dr. Reinhard Pohl

Risiken kennen, Ideen prüfen und die Wirkungsweise von Planungsmaßnahmen schon vor dem Bau bestätigen Gerald Angermair	129
Block 2 – Saal 5 Status Quo und Lessons Learned II: EU-WRRL & EU-HWRM-RL	
Hochwasserrisikomanagement und Gewässerentwicklung in der Regelwerksarbeit der DWA Dr. Klaus Piroth, Dr. Michael Weyand, Prof. Dr. Robert Jüpner	139
EG-WRRL – Darf es etwas mehr Emotion sein? Detlef Sönnichsen	149
Vereinbarkeit von Hochwasserrisikomanagement, Gewässerentwicklung und Siedlungswasserwirtschaft im engen urbanen Raum Marc Scheibel, Alexander Löcke	159
Sediment – ein „missing link“ zwischen WRRL und HWRM-RL? Untersuchungen an einem sandgeprägten Tieflandfluss Dr. Christoph Gerstgraser, Dr. Ingo Schnauder, Dr. Michael Nones, Mathias Schuster, Steffen Giebler	169
Block 3 – Saal 3 Technische und operationelle Maßnahmen II: Hochwasser	
Sturzfluten und Hochwasser - Audit Hochwasser Georg Schrenk	179
KNEF++: Konzept zur naturnahen Entwicklung von Fließgewässern im Einklang mit Maßnahmen für den Hochwasserschutz Dirk Sobolewski, Marc Scheibel, Dr. Oliver Buchholz	189
Analyse des Gefahrenpotentials urbanen Hochwassers durch Starkregenereignisse – Mehrstufiges Konzept zur Starkregenanalyse im urbanen Raum Björn Fischer, Christian Pohl	199

Erfahrungen beim Hochwasserrisikomanagement für ein Gewässer 2. Ordnung am Beispiel des Lockwitzbaches in Coswig	209
Dr. Jörg Walther, Björn Fischer, Lars Kleindienst	

**Block 3 – Saal 5 Forschungsthemen für WRRL und HWRM-RL II:
Simulationsmodelle**

Adjungierte Modelle zur Quantifizierung der Gewässer- Morphologie-Bauwerksinteraktionen im Flussgebietsmanagement	217
Dr. Uwe H. Merkel, Jan Riehme, Prof. Dr. Uwe Naumann	

Gekoppeltes Grundwasser-OberflächenwasserModell im Bundesprogram Biologische Vielfalt – Lebendige Lupe	227
Tilo Sahlbach, Felix Marlow, Friedemann Brückner, Dr. Holger Mansel	

Gestaltung von Lenkbuhnen zur Böschungssicherung am Ketzerbach	237
Gert Hammer, Rainer Miersch	

Berechnung des Transportes von Treibgut bei Hochwasser	247
Prof. Dr. Bernhard Peters, Gabriele Pozzetti, Yu-Chung Liao	

**Block 4 – Saal 3 Technische und operationelle Maßnahmen III:
ReWaM**

Die BMBF-Fördermaßnahme Regionales Wasserressourcen- Management für den nachhaltigen Gewässerschutz in Deutschland (ReWaM): Themen und Ziele	255
Alexia Krug von Nidda, Dr. Berenike Meyer	

Das Projekt BOOT-Monitoring: Entwicklung eines Messsystems für die räumlich kontinuierliche Erfassung von Hydrometrie, Morphometrie und Wasserqualität zur Bewertung der Gewässergüte	263
Björn Helm, Stefanie Wiek, Prof. Dr. Peter Krebs, Dr. Pierre Karrasch, Sebastian Hunger, Karin Kuhn	

Erzeugung von Rehen: Eine experimentelle Studie	275
Till Branß, Prof. Dr. Andreas Dittrich	
PROGEMIS – „Software as a Service“ für das kommunale Gewässermanagement mit Planungs-, Dokumentations- und Kommunikationskomponente	285
Dr. Andreas Stowasser, Lars Stratmann, Jana Salim, Tabea Lagemann, Achim Guldner	
Anforderungen des Gewässerschutzes an eine zukunfts- hige Abwasserbehandlung – Aktuelle Aspekte aus dem Forschungsprojekt NiddaMan	297
Dr. Christian Schaum, Thomas Fundneider, Prof. Dr. Peter Cornel, Dr. Ulrike Schulte-Oehlmann, Prof. Dr. Jörg Oehlmann	
Block 4 – Saal 5 Status Quo und Lessons Learned III: Projekterfahrungen	
Bestimmung der Hochwassergefahr für staugeregelte und verzweigte Gewässersysteme unter Berücksichtigung verschiedener Steuerungsszenarien am Beispiel der Stauhaltung Mühlendamm/Kleinmachnow in Berlin	309
Dr. Frank Schumacher, Dr. Benjamin Creutzfeldt	
Instream Restaurieren – jüngere Beispiele aus Hamburg-nahen Fließgewässern	319
Dr. Ludwig Tent, Björn Tent	
Erhöhtes Hochwasserrisiko für die Landwirtschaft durch die WRRL – Erfahrungen an der Lippe	331
Matthias Bethlehem, Georg Johann	
Hochwasserschutz- und Ökologieprojekt Murg in Rastatt	341
Axel Pälchen	
Renaturierung versus Verockerung – die Renaturierung des Vetschauer Mühlenfließes vor dem Hintergrund bergbaulicher Beeinträchtigungen	347
Daniel Schmidt, Elisabeth Meinel, Michael Mucha	

Block 5 – Saal 3 Status Quo und Lessons Learned IV: Umsetzung in Sachsen und Sachsen-Anhalt	
Untersuchungen zur Wirksamkeit des Elbumflutkanals Magdeburg im Spannungsfeld aktueller Gewässerentwicklungs- und Hochwasserrisikomanagementplanungen	357
Dr. Thilo Weichel, Dr. Torsten Heyer, Dr. Hans Werner Uhlmann	
Die gemeinsame Umsetzung von Hochwasserrisikomanagement und naturnaher Gewässerentwicklung in Sachsen – Rahmenbedingungen, Restriktionen und Chancen	371
Corina Niemand, Wanja Bilinski, Dr. Bernd Spänhoff, Dr. Uwe Müller	
Der Übergang von den Hochwasserschutzkonzepten zur Hochwasserrisikomanagementplanung im Freistaat Sachsen – Schwerpunkt Gefahren- und Risikokarten	383
Dr. Stephan Gerber, Stefan Jentsch, Thomas Kopp	
Methodische Ansätze zur effektiven Umsetzung der EU- Hochwasserrisikomanagementrichtlinie im Freistaat Sachsen am Beispiel der Großen Röder unterhalb der Speicher Radeburg I und II	391
Thomas Kopp, Birgit Lange	
Block 5 – Saal 5 Technische und operationelle Maßnahmen IV: Monitoring/Wasserstraßen	
Echtzeitnahes Monitoring risikobehafteter Bauwerke in der Wasserwirtschaft	401
Christian Malewski, Sebastian Kollar, Christian Förster, Karl-Heinz Spies	
Gewässerstrukturgütekartierung aus der Luft	411
Frank Steinbacher, Dr. Ramona Baran, Tatjana Bodemer	
Technisch-biologische Ufersicherungen als ökologische Alternative zum Schüttsteindeckwerk an Binnenwasserstraßen – Forschungsergebnisse zur Belastbarkeit und Bemessung	423
Petra Fleischer, Dr. Renald Soyeaux	

Technisch-biologische Ufersicherungen als Beitrag zur gewässerstrukturellen Entwicklung von Bundeswasserstraßen Hubert Liebenstein	433
Block 6 – Saal 3 Forschungsthemen für WRRL und HWRM-RL III: Durchgängigkeit	
Der Schlitzpass – Ausfluss- oder Überfallströmung Prof. Dr. Detlef Aigner	443
Erarbeitung von Klassifizierungsschemata für die Bewertung der Durchgängigkeit von Fließgewässern für Fische und Sedimente Rita Keuneke, Christoph Linnenweber, Stephan Naumann, Dr. Monika Donner	455
Vorgehensweise zur Entwicklung von populationsunterstützenden Maßnahmen für die Fischarten am Inn (Oberbayern) Georg Loy, Dr. Manfred Holzner	463
Block 6 – Saal 5 Technische und operationelle Maßnahmen III: Produkte	
Warum und wie sich nachhaltig strategische Akquisition von Fach- und Führungskräften (m/w) für das Projektgeschäft in Ingenieurgesellschaften, speziell im Fachgebiet Wasserbau, positiv wirksam entwickeln lässt S. Olschowka	473
Geotextile Schläuche als vielseitige Lösung für ökologische Wasserbauprojekte Johannes Wiemers, Markus Wilke	483
Flutmulde Rees – ein Bypass für den Rhein Reinhold Neisser	491

Förderverein

Satzung der Gesellschaft der Förderer des Hubert-Engels-Institutes für Wasserbau und Technische Hydromechanik an der Technischen Universität Dresden e. V.	499
---	------------

Vorwort

*Sehr geehrte Damen und Herren,
liebe Kolleginnen und Kollegen,*

Die Europäische Wasserrahmen-Richtlinie 2000/60/EG (EG-WRRL) vom 22.12.2000 hat den Ordnungsrahmen der europäischen Wasserpolitik neu ausgerichtet. Die durch sie bis zum 31.12.2015 gesetzte Zielhierarchie zur Erreichung eines guten ökologischen und chemischen Zustands sämtlicher natürlicher Wasserkörper sowie eines guten ökologischen Potenzials und guten chemischen Zustands aller stark veränderter Wasserkörper stellte eine gewaltige fachliche, organisatorische und finanzielle Herausforderung für die betroffenen administrativen und technischen Verwaltungen dar. Sie führte bei vielen Nutzern zunächst zu der Besorgnis, ob und inwiefern deren Rechte berührt und in welchem Umfang Kompensationsmaßnahmen möglich bzw. erforderlich werden. Nachdem sich die anfängliche Unsicherheit durch viele klärende Diskussionen löste, begann die eigentliche konstruktive Arbeit.

Im Sommer 2002 wurden in Deutschland an zahlreichen Flüssen historische Hochwasserstände gemessen. Insbesondere im Bereich der oberen Mittelelbe kam es zum sogenannten „Jahrtausendhochwasser“. Die großräumigen Überschwemmungen an der Elbe, die Sturzfluten an mehreren Gewässern 1. Ordnung mit all ihren desaströsen Auswirkungen strahlten medial in alle Welt und blieben selbstverständlich nicht ohne politische Wirkung. Ein Milliarden-Euro-Paket wurde geschnürt und allein im Freistaat Sachsen standen 1,5 Mrd. Euro für die dringenden Reparaturen der Hochwasserschäden aber auch für die Erstellung und Umsetzung eines Hochwasserschutzprogramms zur Verfügung. Zahlreiche Maßnahmen wurden umgesetzt. Am 23.10.2007 schließlich wurde die EU-Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie 2007/60/EG (HWRM-RL) verabschiedet. Sie setzte ebenso wie die EG-WRRL eine terminliche Zielhierarchie bis Dezember 2015 fest, von der Bewertung von Hochwasserrisiken bis hin zur Erstellung von Hochwasserrisikomanagementplänen.

Mancherorts erschien der Eindruck, als hätte die faktische Kraft des Hochwassers auch die Pläne zur ökologischen Gewässerentwicklung „verwässert“. Die aus den Zielsetzungen der beiden Richtlinien abzuleitenden Maßnahmen können

im Detail Synergieeffekte auslösen, neutral zueinander oder sich auch konträr gegenüberstehen. Die Zielerreichung beider EU-Richtlinien ist im Freistaat Sachsen deutlich unterschiedlich. Während die Investitionen in das Hochwasserrisikomanagement spürbar Erfolge zeigen – nicht nur formal, sondern auch im Hochwasserfall Juni 2013 – liegt der Zielerreichungsgrad der EG-WRRL zum Dezember 2015 nur bei etwa 15 %. Die Umsetzung weiterer gezielter Maßnahmen sowie deren Erfolgskontrolle gehen daher in eine nächste Runde. Maximal zwei weitere 6-Jahreszyklen – also bis 2027 – sieht die EU-WRRL als endgültigen Termin für die Zielerreichung vor.

Angesichts der immensen Herausforderungen, die sich aus diesen Richtlinien und dem Erreichungsgrad des ersten Zieldatums ergeben, widmet sich das 39. Dresdner Wasserbaukolloquium 2016 dem Thema „Gewässerentwicklung & Hochwasserrisikomanagement – Synergien, Konflikte und Lösungen aus EU-WRRL und EU-HWRM-RL“. Ich freue mich auf die Betrachtung des Erreichten und der vor uns liegenden Herausforderungen aus Sicht unterschiedlicher Stakeholder. Die zahlreichen Beiträge ermöglichen eine differenzierte Bewertung der aktuellen Situation und sollen den Blick für die noch vor uns liegenden Herausforderungen schärfen.

Ich danke allen Referenten und Fachausstellern für ihre Beiträge und wünsche allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern des Dresdner Wasserbaukolloquiums eine lehr- und erfolgreiche Tagung.



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Stamm

Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie und der Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie in Internationalen Flussgebieten

Thomas Borchers

Die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) und die Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (HWRM-RL) haben Deutschland bei ihrer Umsetzung vor Herausforderungen gestellt. Zum einen waren neue fachliche und verfahrensrelevante Aspekte zu berücksichtigen, zum anderen erfordern beide Instrumente die Länder- und Staatsgrenzen überschreitende Koordinierung. Es waren daher auch inhaltliche und organisatorische Neuorientierungen gefragt, auch im Zusammenspiel zwischen Bund, Ländern sowie mit den Nachbarstaaten.

Die Richtlinien stellen auf eine Bewirtschaftung der Gewässer in Flussgebietseinheiten ab. Eine Flussgebietseinheit umfasst die Flüsse mit ihren Zuflüssen, den zugeordneten Grundwässern und Küstengewässern. Deutschland teilt acht von 10 Flussgebietseinheiten mit anderen Staaten, u. a. Rhein, Donau, Elbe, Oder und Maas.

Die internationale Zusammenarbeit in grenzüberschreitenden Flussgebieten hat in Deutschland eine lange Tradition, so wurden bestehende internationale Kommissionen als Plattformen genutzt, um die Richtlinien international koordiniert umzusetzen.

Die internationalen Flussgebietskommissionen befassen sich mit allen Fragen der Gewässerbewirtschaftung, dem Hochwasserschutz und der Hochwasservorhersage sowie der Warnung und Alarmierung bei Unfällen mit Auswirkungen auf die Gewässer. Sie koordinieren die Umsetzung der WRRL und der HWRM-RL auf internationaler Ebene. Alle internationalen Flussgebietskommissionen haben fristgerecht die internationalen Teile der aktualisierten Bewirtschaftungspläne nach WRRL und der Hochwasserrisikomanagementpläne erstellt.

National und international hat die Wasserrahmenrichtlinie zu einer systematischeren wasserwirtschaftlichen Planung geführt. Es sind funktionsfähige nationale und grenzüberschreitende Netzwerke entstanden, die vom besseren gegenseitigen Verständnis und gestiegenem Vertrauen profitieren. Das kommt auch der Umsetzung der Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie zu Gute, für die –auch auf internationaler Ebene– dieselben Koordinierungsstrukturen genutzt

werden. Schon vor Inkrafttreten der HWRM-RL verfügten einige der internationalen Flussgebietskommissionen über anspruchsvolle Hochwasseraktionsprogramme oder –pläne, die in die Hochwasserrisikomanagementpläne Eingang gefunden haben.

Die internationalen Flussgebietskommissionen können beachtliche Erfolge im Hinblick auf die Verbesserung der Gewässerqualität und der Gewässerökologie verzeichnen. Durch Aktionsprogramme konnten beispielsweise die Schadstoffbelastungen in Rhein und Elbe derart reduziert werden, dass wieder eine große Artenzahl von Fischen in beiden Flussgebieten heimisch ist. Am Rhein ist die Rückkehr des Lachses ein besonderer Erfolg, der mit der Umsetzung des Masterplans Wanderfische Rhein verstetigt werden soll.

Sie nehmen sich auch neuer Herausforderungen wie z. B. den Auswirkungen des Klimawandels an, wie die Anpassungsstrategien der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins und der Internationalen Kommission zum Schutz der Donau zeigen.

Autor:

Thomas Borchers

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
Referat WR I 4 - Zusammenarbeit in internationalen Flussgebieten, Wasserwirtschaftliche Übereinkommen, Internationales Recht des Gewässerschutzes
Robert-Schuman-Platz 3
53175 Bonn

Tel.: +49 228 99 305 2512
Fax: +49 228 99 305 2397
E-Mail: thomas.borchers@bmub.bund.de

Das Konzept der Landeshauptstadt Dresden für kommunale Fließgewässer: Integration von Hoch- wasserrisikomanagement, Gewässerentwicklung und Erlebbarkeit

Harald Kroll
Jens Seifert

Die Landeshauptstadt Dresden, Umweltamt ist für die Unterhaltung, Entwicklung und den Hochwasserschutz der kommunalen Gewässer zuständig. Dies sind im Stadtgebiet von Dresden über 500 kleine und größere Bäche mit einer Gesamtlänge von über 400 km und 275 Teiche und Seen. Darüber hinaus betreibt das Umweltamt ca. 100 Geschiebefänge, Rechenanlagen und 27 sehr kleine bis mittlere Hochwasserrückhaltebecken. Das Umweltamt verfolgt dabei ein integrierendes Konzept für die kommunalen Gewässer, das die europäischen Richtlinien zum Hochwasserschutz und Risikomanagement und zur Verbesserung des ökologischen Zustandes vereint und darüber hinaus die Verbesserung der Erlebbarkeit der Gewässer für die Bürger/-innen der Stadt zum Ziel hat. Mit den Maßnahmen erfolgt darüber hinaus die schrittweise Umsetzung des Leitbildes einer kompakten Stadt im ökologischen Netz.

Stichworte: Hochwasserrisikomanagement, Gewässerentwicklung, Erlebbarkeit

1 Einleitung

In der Landeshauptstadt Dresden ist das Umweltamt für die Entwicklung, den Hochwasserschutz und die Unterhaltung der kommunalen Gewässer zuständig. Im Stadtgebiet von Dresden sind über 500 kleine und größere Gräben und Bäche mit einer Gesamtlänge von rund 420 km erfasst. Davon sind rund 80 km verrohrt und in den Untergrund verbannt. Hinzu kommen rund 275 Teiche und kleine Seen mit einer Gesamtfläche von etwa 1,6 km². An diesen kommunalen Gewässern betreibt das Umweltamt rund 100 Geschiebe- und Treibgutfänge und Rechenanlagen und 27 sehr kleine bis mittlere Hochwasserrückhaltebecken, die bebauten Bereiche im Stadtgebiet schützen.

Als das Umweltamt im Jahr 2000 begann, die Aufgaben als Unterhaltungs- und Ausbaulastträger zu übernehmen, waren die Gewässer zu großen Teilen gewässerökologisch erheblich beeinträchtigt und die wasserwirtschaftlichen Anlagen

in einem desolaten Zustand. Fast alle Systeme waren unzureichend für die Bewältigung von Hochwasserabflüssen dimensioniert. Unter den damaligen schwierigen Randbedingungen wurde schnell klar, dass nur mit integrativen Ansätzen die dringend notwendigen Verbesserungen in der Gewässerökologie und der Erlebbarkeit der Gewässer mit den notwendigen Fortschritten beim Hochwasserschutz zu erreichen waren. Im ersten funktionalen Gewässerentwicklungskonzept wurden deshalb bereits 2001 die o. g. Bewirtschaftungsziele entsprechend der jeweiligen gewässertypspezifischen Ausprägungen (z. B. Kerbtalbäche an den Elbhängen, künstliche Gewässer der Elbtalniederung, Muldenalbäche der Hochebenen) integrativ betrachtet. Im Ergebnis wurde ein erheblicher Handlungsbedarf insbesondere bei der hydromorphologischen Gestaltung der Gewässer belegt.

Am 12. August 2002, dem Tag an dem praktisch alle kleinen Gewässer in Dresden zeitgleich über die Ufer traten und ein großer Teil der wasserwirtschaftlichen Anlagen versagten oder sogar zerstört wurden, zeigte sich, dass die beschriebenen Defizite in der Realität zu bis dato nicht geahnten Schäden in den umgebenden Nutzungen führen. Mit der existenziellen Erfahrung der Augustfluten bekamen Hochwasserschutz und Gewässerentwicklung einen neuen Stellenwert in der Stadt. In kurzer Zeit wurden erhebliche personelle und finanzielle Ressourcen bereitgestellt.

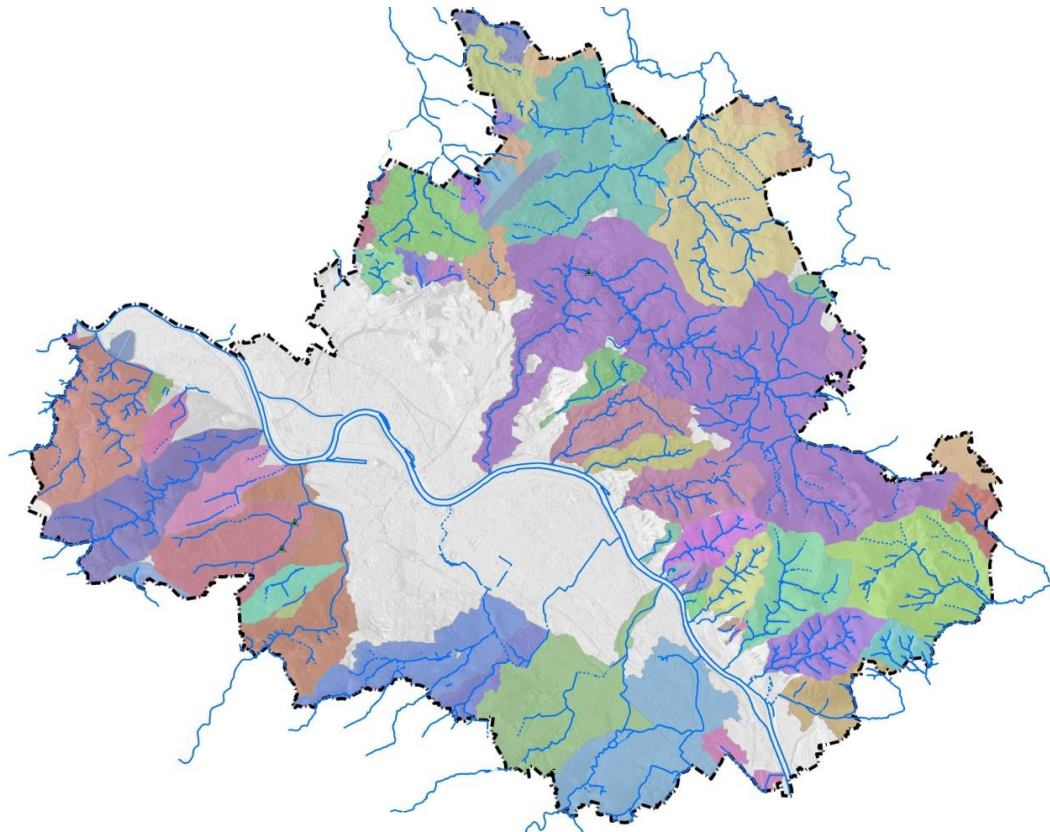


Abbildung 1: Gewässernetz der Landeshauptstadt Dresden mit Einzugsgebieten

2 Funktionales Gewässerentwicklungskonzept

Die Vielzahl der kommunalen Fließgewässer und die ständigen Veränderungen in einer Großstadt wie Dresden auf der einen Seite und die vielfältigen Einflüsse und Veränderungen gegenüber dem natürlichen Zustand der Gewässer auf der anderen Seite erschweren einfache Lösungsansätze in der Gewässerentwicklung. Die zu lösenden Problemlagen sind durch die vielfältigen, in der Regel auch noch gewässernahen städtischen Nutzungen komplex und verändern sich darüber hinaus mit der Zeit.

Eine Beherrschung der Hochwasserproblematik sowie eine grundlegende Verbesserung des ökologischen Zustandes der städtischen Gewässer und damit auch eine Erhöhung des kulturellen Wertes der Gewässer für die Menschen in der Stadt erfordert, dass einzelne Maßnahmen aus einem integrierten Konzept entwickelt werden, das flächendeckend für alle Gewässer in der Stadt Aussagen zu den funktionalen Entwicklungszielen liefert und zudem laufend aktualisiert werden kann. Ein solches Gewässerentwicklungskonzept dient der Rahmensetzung im Vorfeld von Entwicklungs- und Maßnahmenplanungen, sichert die angemessene Berücksichtigung der Gewässerbelange in der Bauleitplanung und gewährleistet ein koordiniertes Handeln nach Hochwasserereignissen (*Landeshauptstadt Dresden, Umweltamt, 2004*).

Grundlage des funktionalen Gewässerentwicklungskonzeptes sind drei Handlungsfelder: Hochwasserschutz und Abflusssicherung (H), Lebensraum und Naturnähe (N) sowie Gestaltung und Erlebbarkeit (E).

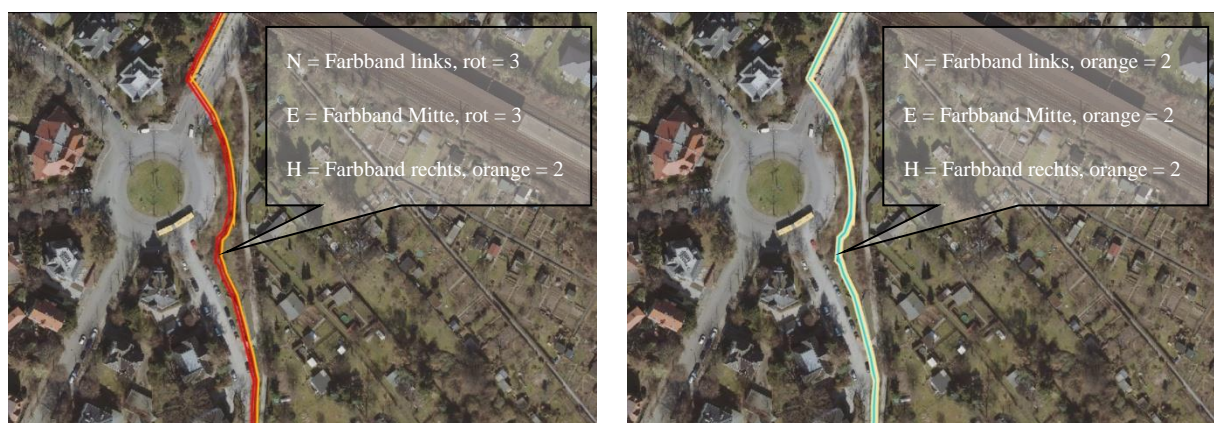


Abbildung 2: Kaitzbach im Bereich Gustav-Adolph-Platz: Bewertung des Istzustandes H = 2 befriedigend, N = 3 schlecht, E = 3 schlecht (links) und des Sollzustandes H = 2 befriedigend, N = 2 befriedigend, E = 2 befriedigend (rechts) der Gewässerentwicklungsfunktionen (*Umweltamt, 2006*)

Gleichrangig zu den über die europäische Wasserrahmenrichtlinie und die Richtlinie zum Hochwasserrisiko-Management im deutschen Recht verankerten

Handlungsfelder Ökologie und Hochwasserschutz wird als drittes Handlungsfeld die Gestaltung und Erlebbarkeit des Gewässers durch den Menschen selber mit in den Fokus der Gewässerentwicklung gestellt. Die Erfahrung zeigt, dass gerade in einer Stadt mit ihren vielfältigen Nutzungskonkurrenzen nur über die Akzeptanz und Wertschätzung der Menschen Gewässerentwicklungs- und Hochwasserschutzmaßnahmen erfolgreich umgesetzt werden können.

Praktisch heißt dies, mit Gestaltungselementen wie gewässerbegleitenden Unterhaltungs- und Pflegewegen, Sitzstufen am Ufer (die gleichzeitig der Ufersicherung dienen), Bänken oder Kunstobjekten die Gewässerplanungen nicht nur „aufzuhübschen“, sondern das Schaffen der Möglichkeiten zur direkten ästhetischen und sinnlichen Wahrnehmung des Gewässers durch den Menschen als gleichberechtigte Aufgabe der Planung wahrzunehmen.



Abbildung 3: Kunstinstallation („Schwimmende Inseln“) von Joachim Manz im Hochwasserrückhaltebecken Hugo-Bürkner Park, links im Bild der Hauptautor, rechts ein Kunstobjekt bei Einstau des Beckens 2008

Einen ähnlichen, noch komplexeren Ansatz entwickelte Dr. Oliver Kaiser für die Freiburger Stadtgewässer (*Kaiser, 2005*).

3 Grundsätze der Hochwasserbewirtschaftung kleiner Fließgewässer

Die Landeshauptstadt Dresden hat in den letzten Jahren für alle Gewässersysteme mit erheblichen Hochwasserrisiken hydrologische und hydraulische Berechnungen mit den Starkregenreihen des Deutschen Wetterdienstes (*DWD, 2005*) durchführen lassen und damit Hochwasserscheitelabflüsse und Wasserspiellagen ermittelt.

Aufgrund der Lage Dresdens im Elbtal können in der Landeshauptstadt Dresden grundsätzlich zwei Gewässertypen mit deutlich verschiedenen Gefährdungsschwerpunkten unterschieden werden:

- a) Dies sind zum einen die Kerbtalbäche am Elbhang, an denen bei Hochwasserereignissen infolge des starken Gefälles sehr hohe Fließgeschwindigkeiten auftreten. Dies kann bei Sturzfluten und Hochwasserereignissen zu erheblichen Schäden im Gewässer und dem direkten Umfeld führen.
- b) Zum anderen sind dies die Bäche und Gräben im Elbtal und auf den Hochflächen, an denen Hochwasserereignisse zu flächigen Überflutungen führen. Hier entstehen Schäden insbesondere im überschwemmten Umfeld.

Bei allen kleinen Fließgewässern hat sich das nachfolgende Handlungsschema bewährt:

Bei der Ableitung von Hochwasserschutzmaßnahmen an kleinen Fließgewässern mit Einzugsgebietsgrößen zwischen 1 und 50 km² steht an erster Stelle die Verbesserung der Hochwasserrückhaltung durch dezentrale Maßnahmen im gesamten Einzugsgebiet und insbesondere im Oberlauf. Dies können z. B. Aufforstungen und Erosionsschutzmaßnahmen auf landwirtschaftlichen Flächen sein, Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung in bebauten Gebieten, Verbesserungen der Rückhaltewirkung in Teichen und durch Renaturierungen von Bächen.

Genügen die damit erreichten Minderungen nicht den Anforderungen, kommen Maßnahmen zum technischen Rückhalt in grünen Becken zum Einsatz.

Über den gesamten Gewässerlauf muss das mitgeführte Geschiebe und Treibgut bewirtschaftet werden, um die Verklauungsgefahr von Durchlässen und Brücken und die damit verbundene Gefahr von Aufstauung und Schädigung in bebauten Gebieten zu mindern.

Vor den Ortslagen haben sich als Maßnahmen ganz normale Geschiebefänge und Rechenanlagen im Gewässer selber, ebenso wie die erosionsmindernde, bodenschonende Landwirtschaft in der Fläche und die konsequente Entwicklung und Pflege der Gewässerrandstreifen bewährt.

In den Ortslagen muss für einen optimalen Abfluss gesorgt werden. Wegen der vielen Nutzungskonflikte ist es wichtig, vorhandene Räume für Bäche und Flüsse zu schützen und notwendige freizulenken. Praktisch ist dies in der Regel nur mit einem Ankauf der entsprechenden Flächen sicherzustellen.

Die Gerinneprofile selber werden gewässertypspezifisch gesichert und durch offene und naturnahe grüne Böschungen ausgestaltet. Beidseits naturnahe und

gehölzbestockte Gewässerrandstreifen sorgen für den schadlosen Hochwasserabfluss und gewährleisten die ökologische Wechselwirkung des Gewässers mit seiner Umgebung.

4 Grundsätze der Hochwasserbewirtschaftung und Gewässerentwicklung kleiner Fließgewässer am Beispiel der Prießnitz

4.1 Gewässerbeschreibung Prießnitz

Die Prießnitz ist das größte kommunale Fließgewässer in Dresden und wurde im Rahmen der Wasserrahmenrichtlinie in zwei Wasserkörper geteilt.

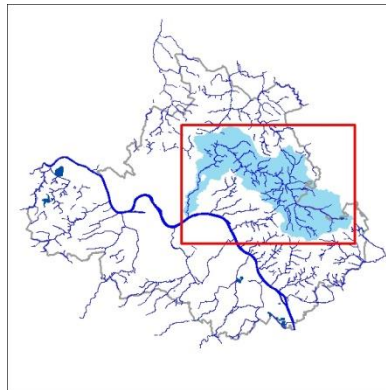


Abbildung 4: Übersichtslageplan Prießnitz

Das Einzugsgebiet ist 51,2 km² groß und das durchschnittliche Sohlgefälle beträgt 0,7 %. Der Prießnitzunterlauf ist dem Fließgewässertyp 5 (grobmaterialreicher, silikatischer Mittelgebirgsbach) und der Oberlauf dem Gewässertyp 5.1 (feinmaterialreicher, silikatischer MGB) zugeordnet. Der 100-jährliche Hochwasserscheitelabfluss beträgt an der Mündung 29 m³/s.

Das Gewässer wandelt sich in seinem Verlauf erheblich. Der Quellbereich mit dem Rossendorfer Teich hat einen weitgehend naturnahen Charakter, ist jedoch durch Fischteichbewirtschaftung belastet. Im anschließenden Abschnitt bis zur Dresdner Heide fließt die Prießnitz immer entlang der Stadtgrenze durch ein landwirtschaftlich geprägtes Gebiet (WK Prießnitz 1). Durch Begradigungen hat sich der Bach hier stark eingetieft. Hochwasser kann weitgehend im Bett abgeführt werden; der ökologische Zustand ist nach der letzten Bewertung unbefriedigend.

Im Landschaftsschutz- und FFH-Gebiet „Dresdner Heide“ ist die Prießnitz überwiegend natürlich oder zumindest naturnah geblieben. Im Stadtgebiet Dresden-Neustadt durchfließt die Prießnitz dann stark kanalisiert ein dicht bebautes

Gründerzeitviertel und mündet danach in die Elbe (WK Prießnitz 2). Der ökologische Zustand ist nach der letzten Bewertung mäßig.

Für das Stadtgebiet Neustadt bestehen erhebliche Hochwassergefahren sowohl durch Einstau der Elbe über die Prießnitz als auch durch Hochwasserabflüsse der Prießnitz selbst.

Weitergehende Informationen finden Sie in den Gewässersteckbriefen auf der Internetseite der Landeshauptstadt Dresden.

(<http://www.dresden.de/de/stadtraum/umwelt/umwelt/oberflaechenwasser.php>).

4.2 Maßnahmenplan zur Hochwasserbewirtschaftung und Gewässerentwicklung Prießnitz

In Umsetzung des Gewässerentwicklungskonzeptes und der Grundsätze der Hochwasserbewirtschaftung und Gewässerentwicklung ergibt sich aktuell folgender Maßnahmenplan für die Prießnitz:

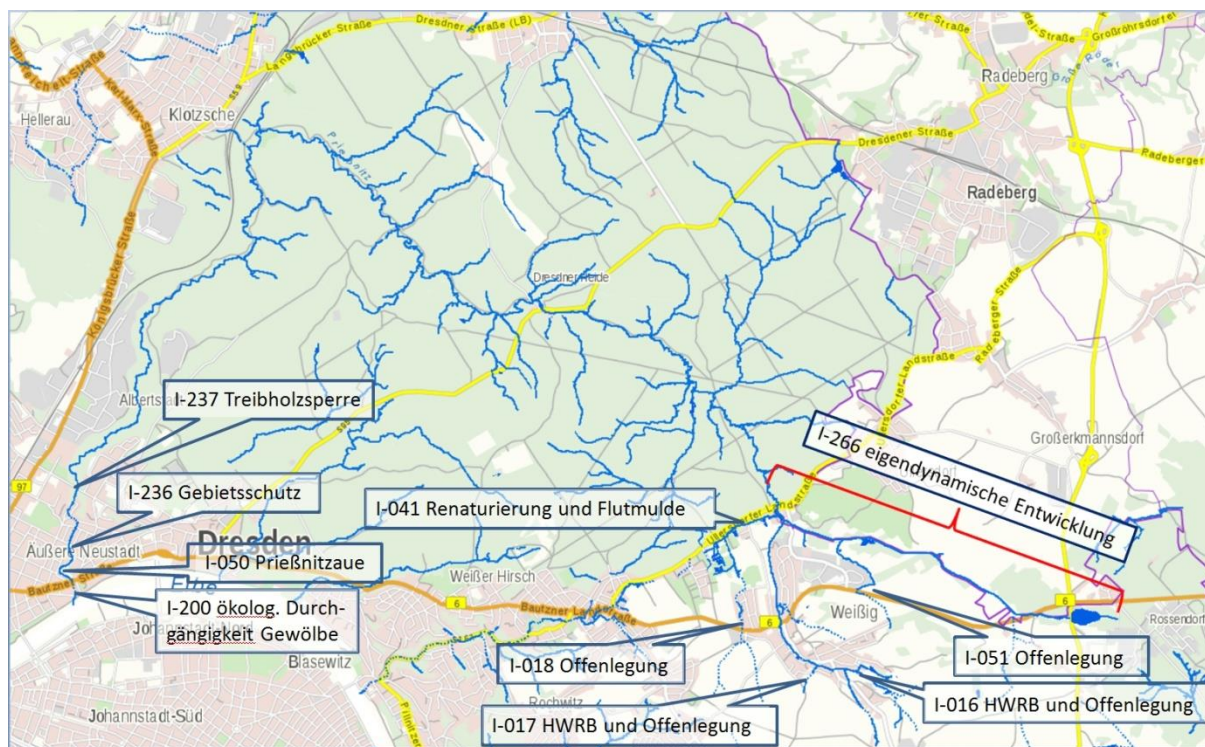


Abbildung 5: Maßnahmenplan Prießnitz, Stand 12/2015

Hochwasserrückhaltung und Gewässerentwicklung im Oberlauf:

Zum Schutz der Ortslage Dresden-Weißig wurden im Rahmen der Hochwasserschadensbeseitigung 2002 an dem Zufluss Weißiger Dorfbach ein grünes Hochwasserrückhaltebecken errichtet und der Dorfbach offengelegt und naturnah gestaltet (Maßnahmennummer I-016).

Im Rahmen der Bebauungsplanung für die Ardenne Anlagen Technik und zum Schutz des Gewerbegebietes wurde der Zufluss Kirchweggraben hochwassersicher offen- und umverlegt. Dabei wurde auch ein bachbegleitender Weg errichtet (Maßnahmenummer I-051).



Abbildung 6: Links: HWRB Weißiger Dorfbach, Rechts: Offengelegter Kirchweggraben

2015 wurde der naturnahe Ausbau des Mariengrabens abgeschlossen. Hier wurden verrohrte Abschnitte offengelegt, mehrere Teiche saniert und zur Hochwasserbewirtschaftung ertüchtigt sowie eine Retentionsmulde mit Erlenuwald angelegt (Maßnahmenummer I-041). Damit ist die Bebauung entlang der Ullersdorfer Landstraße vor Hochwasser geschützt und das FFH-Gebiet Prießnitz wurde mit einem Biotop- und Grünverbund aufgewertet.

Ebenfalls 2015 wurde das Hochwasserrückhaltebecken am Zufluss Dammbach und die Offenlegung des kleinen Baches fertiggestellt (Maßnahmenummer I-017). Hier galt es, die unterhalb liegende Bebauung zu schützen.

Aktuell laufen die Bauvorbereitungen für die Offenlegung und naturnahe Gestaltung des Wiesengrabens in Dresden-Weißig (Maßnahmenummer I-018). Das Wiesengrabensystem wird dabei auf 2 km Länge naturnah offen- und umverlegt und dadurch hochwassersicher ausgebaut. Auf ganzer Länge soll auch ein bachbegleitender Weg entstehen.

Die weitaus größte und bedeutendste Entwicklungsmaßnahme ist jedoch die geplante Umgestaltung und eigendynamische Entwicklung des kompletten Bereichswasserkörpers Prießnitz 1 (Maßnahmenummer I-266). Durch die Anhebung der Sohle sollen die Gewässerrandstreifen und Auenbereiche wieder regelmäßig überflutet werden. Durch die Fließretention soll dabei ein Beitrag zur Hochwasserrückhaltung und Wellenabflachung geleistet werden. Darüber hinaus soll der ökologische Zustand verbessert und die Lebensräume für Bachforelle und Groppe und für die benthische wirbellose Fauna verbessert werden. Eingebettet ist die Wasserbauplanung in ein Tourismus- und Naherholungskonzept. Hier wird auf den Beitrag des Herrn Dipl.-Ing. Mattes Hoffmann verwiesen.

Vor Ortstagen Geschiebe und Treibgut bewirtschaften

In Höhe der Stauffenbergallee, mit Eintritt der Prießnitz in die Bebauung der Dresdner Neustadt, ist die Errichtung einer Treibholzsperranlage geplant (Maßnahmennummer I-237). Die Prießnitz hat in diesem Bereich eine sandige Sohle. Geschiebe und Geröll fallen nicht an.

Optimierung des Abflusses und des Lebensraumes Prießnitz in der Ortslage Neustadt

Es bestehen erhebliche Hochwassergefahren sowohl durch Einstau der Elbe als auch durch Hochwasserabflüsse der Prießnitz selbst. Nach den hydraulischen Berechnungen und Erfahrungen aus den tatsächlichen Hochwasserereignissen ist das Gerinne der Prießnitz in der Lage, ein 10- bis 20-jährliches Hochwasser schadlos abzuführen. Ab etwa 6 m Elbepegel Dresden staut die Elbe in die Prießnitz zurück und fängt an, die Prießnitzau zwischen Bautzner Straße und Hohensteiner Straße zu überfluten. Bei HW100 Elbe von 9,24 m am Pegel Dresden reicht der Rückstau bis zur Jägerstraße und damit weit über 1 km ins Hinterland.

Im Jahr 2016 sollen die Untersuchungen zum Hochwasserrisikomanagement an der Prießnitz beginnen. Darin werden auch baulich-technische Möglichkeiten für einen Gebietsschutz der Dresdener Neustadt diskutiert werden. Die Ideen reichen aber von technischen Anlagen, wie Hochwasserschutzmauern entlang der Prießnitz oder Pumpwerke, bis zur Eigenvorsorge. Es ist eine intensive Bürgerbeteiligung geplant (Maßnahmennummer I-236).

Im Bereich der Kleingartenanlage Prießnitzau muss die Prießnitz ohnehin umverlegt werden (Maßnahmennummer I-050), um substanziellen baulichen Schäden an Ufer- und Sohlbefestigungen begegnen zu können. Die Maßnahme wird entsprechend der Anforderungen von WRRL und HWRM-RL so gestaltet, dass auch der ökologische Zustand verbessert wird und der Hochwasserscheitel der Prießnitz gesenkt wird. Dadurch wird auch ein Teil der Prießnitzau wieder reaktiviert. In Randlage sind Wege und Spiel- und Aufenthaltsbereiche geplant, so dass die Prießnitzau ein zentraler Grün- und Erholungsbereich für die Bürgerinnen und Bürger der Neustadt werden kann.

Kurz vor der Mündung in die Elbe, im Bereich Bautzner Straße und Diakonissenkrankenhaus verläuft die Prießnitz in einem unterirdischen Gewölbe. Hier sind Maßnahmen zur Verbesserung der Durchgängigkeit für Fische und Makrozoobenthos geplant (Maßnahmennummer I-200). So ist beabsichtigt, die Gewölbesohle mit Riegeln und einer Sedimentauflage zu versehen und kunstvoll gestaltete Lichtschächte zur Beleuchtung anzuordnen.

5 Literatur

- Deutscher Wetterdienst (Hrsg.) (2005): Kostra-Atlas 2000, Starkniederschlagshöhen für Deutschland. Offenbach, 2005
- Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg.) (1992): „Handbuch Wasser 2: Gewässerentwicklungsplanung - Leitlinien“. Stuttgart 1992
- Landeshauptstadt Dresden, Umweltamt, (Hrsg.) (2004): Umweltatlas, Karte 4.11 Gewässerentwicklungskonzept. Dresden, 2004
- Kaiser, O. (2005): Bewertung und Entwicklung urbaner Fließgewässer. - Dissertation der Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften, Professur für Landespflege, Culterra 44, 2005

Autoren:

Dipl.-Biol. Harald Kroll
Dipl.-Phys. Jens Seifert

Landeshauptstadt Dresden
Umweltamt
Grunaer Straße 2
01069 Dresden

Tel.: +49 351 488 6258
Fax: +49 351 488 99 6258
E-Mail: hkroll@dresden.de

Umgestaltung und eigendynamische Entwicklung der Prießnitz im Oberlauf

Mattes Hoffmann

Der Oberlauf der Prießnitz an der nordöstlichen Dresdner Stadtgrenze befindet sich aktuell in einem unbefriedigenden ökologischen Zustand, dessen Ursachen in der Begradigung, diversen Stoffeinträgen aus der intensiven Landwirtschaft sowie der im Hauptschluss des Gewässers betriebenen Teichbewirtschaftung liegen.

Im Auftrag des Umweltamtes der Landeshauptstadt Dresden wurde vom Büro Rehwaldt Landschaftsarchitekten ein Maßnahmenkonzept zur Gewässerentwicklung erarbeitet, welches die Schaffung eines guten ökologischen Zustandes des Gewässers zum Ziel hat. Der Schwerpunkt der Planung liegt dabei auf der Förderung der eigendynamischen Entwicklung, der Reaktivierung von Auenbereichen und der Verbesserung der natürlichen Retention von Oberflächenwasser.

In wachsenden Städten wie Dresden können derart großflächige Planungen jedoch nicht mehr losgelöst von sozio-ökonomischen Erwägungen durchgeführt werden. Begleitend zu den Planungen zur Umgestaltung des Gewässers wurde daher ein Naherholungskonzept mit dem Ziel erarbeitet, die am Stadtrand von Dresden gelegene obere Prießnitzau für den sanften Tourismus zu erschließen und eine Entwicklung zu einer vielgestaltigen, extensiv genutzten Landschaft zu ermöglichen.

Ziel der komplexen Planungen mit sehr unterschiedlichen Perspektiven ist es, die Umgestaltung der Prießnitz an der Schnittstelle zwischen Stadt und Landschaft in Einklang mit den vielfältigen anthropogenen Nutzungen zu bringen.

Stichworte: Sohlanhebung, Eigendynamische Entwicklung, Erlebbarkeit

1 Einführung

1.1 Lage und Umfeld

Der zu betrachtende Abschnitt der Prießnitz (OWK Prießnitz 1) befindet sich an der nordöstlichen Grenze der Landeshauptstadt Dresden und erstreckt sich auf ca. 7 km Länge von der Quelle bei Rossendorf bis zur Einmündung des Schwarzwassers in der Dresdner Heide.

Die Prießnitz ist ein Gewässer zweiter Ordnung nach SächsWG. Das Einzugsgebiet der Prießnitz umfasst von der Quelle bis zur Mündung insgesamt 51,2 km². Damit zählt der Bach zu den Berichtsgewässern gem. EU-WRRL, für

die regelmäßig der Zustand bewertet und Bewirtschaftungsziele definiert werden müssen. Die Prießnitz entspringt in einem heute von Bruchwald geprägten, ver-
nässten Areal etwa 150 m östlich des Rossendorfer Teiches. Bis zur Dresdner
Heide verläuft der Bach auf etwa 4 km vollständig begradigt in einem sehr fla-
chen Muldental, welches durch intensive Landwirtschaft geprägt ist. Mit dem
Wasser der Prießnitz werden mehrere fischereilich genutzte Teiche gespeist, von
denen sich einige im Hauptschluss des Gewässers befinden.

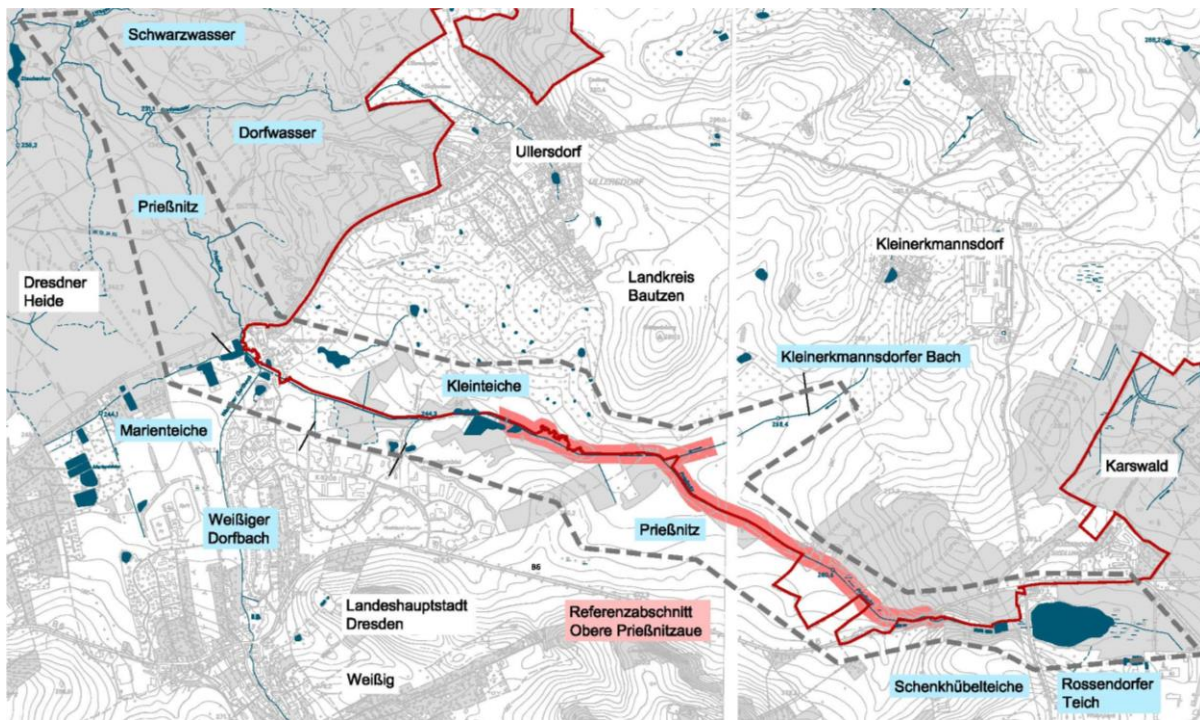


Abbildung 1: Übersichtskarte mit Betrachtungsraum des OWK Prießnitz 1, Landkreisgrenze und Gewässersystem (Kartengrundlage, LHDD, 2012).

Die Prießnitz ist als Gewässer nicht ausgeflurt. Die ans Gewässer angrenzenden Flurstücke befinden sich mit Ausnahme der Waldflächen in der Dresdner Heide und des linksseitigen Gewässerrandstreifens unterhalb der Kleinteiche überwiegend in privatem Eigentum.

Mehrere Schutzgebiete liegen am Gewässer bzw. im Umfeld der Prießnitz. Hervorzuheben sind das FFH-Gebiet Prießnitzgrund (FFH 7) im Abschnitt in der Dresdner Heide, das Flächennaturdenkmal Unterer Kleinteich am Prießnitz-Oberlauf (ND 76) sowie das LSG Dresdner Heide. Weiterhin genießen einige gewässernahe Biotope wie Bruchwälder, Nasswiesen und Röhrichte den Schutzstatus gem. § 26 SächsNatSchG (*Landeshauptstadt Dresden, 2015*).

1.2 Hydrologie

Das durchschnittliche Längsgefälle im Betrachtungsraum beträgt 0,6 %. Der Durchfluss bei HQ100 liegt im unteren Abschnitt bei 14,6 m³/s, der mittlere Niedrigwasserabfluss MNQ liegt bei 67 l/s.

Im Gegensatz zu vielen anderen Bächen im Dresdner Stadtgebiet zählt die Prießnitz im Oberlauf nicht zu den Schwerpunkten in der Hochwasservorsorge. Die Gründe dafür liegen im geringen Schadenspotential bei weitgehend fehlender Bebauung und in der extremen Sohleintiefung im Oberlauf, die Durchflüsse weit über HQ 100 ohne Ausuferungen aufnehmen kann.

Wichtigste Zuflüsse der Prießnitz sind der Kleinerkmannsdorfer Bach, der Weißiger Dorfbach, der Mariengraben und das Ullersdorfer Dorfwasser.

2 Analyse der Defizite und Restriktionen

2.1 Gewässerstrukturgüte

Im Rahmen der Bestandserfassung wurde im Planungsraum die Gewässerstrukturgüte für Sohle und Uferrandstreifen bewertet. Etwa 80 % des Gewässers ist demnach stark bis sehr stark verändert (GSG 5-6). Ausschlaggebend sind die gerade Linienführung mit sehr geringer Strömungsvielfalt, das fehlende Verlagerungspotential, fehlende Strukturen in der Sohle und an den Ufern sowie der weitgehend fehlende Retentionsraum. Die extreme Sohleintiefung in Folge fortschreitender Tiefenerosion führte zu einer vollständigen Entkopplung des Wasserkörpers von der Aue. Selbst potentielle Überflutungsräume mit erkennbaren Altarmen und Senken sind abgeschnitten und funktionslos.



Abbildung 2: Links: Extreme Sohleintiefung und unmittelbar angrenzende, intensive landwirtschaftliche Nutzung, Rechts: standortfremder Bewuchs, verrohrte Wegequerung und Abkopplung ehemaliger Auenbereiche durch einen in Dammlage verlaufenden Weg

Im Waldgebiet der Dresdner Heide ist die naturnahe Linienführung und Sohlstruktur weitgehend erhalten. Defizite ergeben sich jedoch aus der fehlenden Auendynamik sowie aufgrund des standortfernen Bewuchses, der überwiegend aus bis ans Ufer stockenden Fichten besteht.

2.2 Chemischer und ökologischer Zustand

Das turnusmäßig vom LfULG durchgeführte Monitoring des chemischen und ökologischen Zustandes ermöglicht derzeit folgende Bewertung:

Tabelle 1 Bewertung der Prießnitz nach SächsWRRLVO (LfULG, 06/2015)

Kriterium	Bewertung	Erläuterung
Gewässerstruktur (nach LAWA, 2003)	5 - stark verändert	Klassen von 1 – unverändert bis 7 – vollständig verändert
Ökologischer Zustand / Potential	4 - unbefriedigend	Klassen von 1 – sehr gut bis 5 – schlecht
Biologischer Zustand Gesamt	4 - unbefriedigend	
Makrophyten / Phytobenthos	3 – mäßig	
Benthische wirbellose Fauna	3 – mäßig	
Fische	4 - unbefriedigend	
Überschrittene allgemein chem. / phys. Parameter	NO ₂ -N, P _{ges} , TOC	Nitrit-Stickstoff, Phosphor, organischer Kohlenstoff
Chemischer Zustand (nach LAWA, 2014)	4 – schlecht	Überschrittene Stoffe: Quecksilber und Quecksilberverbindungen

Ursache für den schlechten chemischen Zustand sind Stoffeinträge aus der Land- und Teichwirtschaft.

2.3 Realnutzung

Insbesondere in landwirtschaftlich genutzten Flächen wurden im letzten Jahrhundert wichtige gewässerabhängige Biotope zerstört. Doch auch durch die Teich- und Forstwirtschaft wurden und werden Fließgewässer stark verändert.

Landwirtschaft

Die ursprüngliche Grünlandwirtschaft in den feuchten Flachmuldentälern der Prießnitz erfuhr ab Anfang des 20. Jahrhunderts eine Intensivierung, indem der Bach begradigt wurde und so die Gewässerrandbereiche der Prießnitz in Nutzung genommen werden konnten.

Nach 1945 wurden durch Drainage und Melioration große Flächen entwässert und dadurch länger als Weide nutzbar bzw. wurde die Umwandlung in Acker ermöglicht.

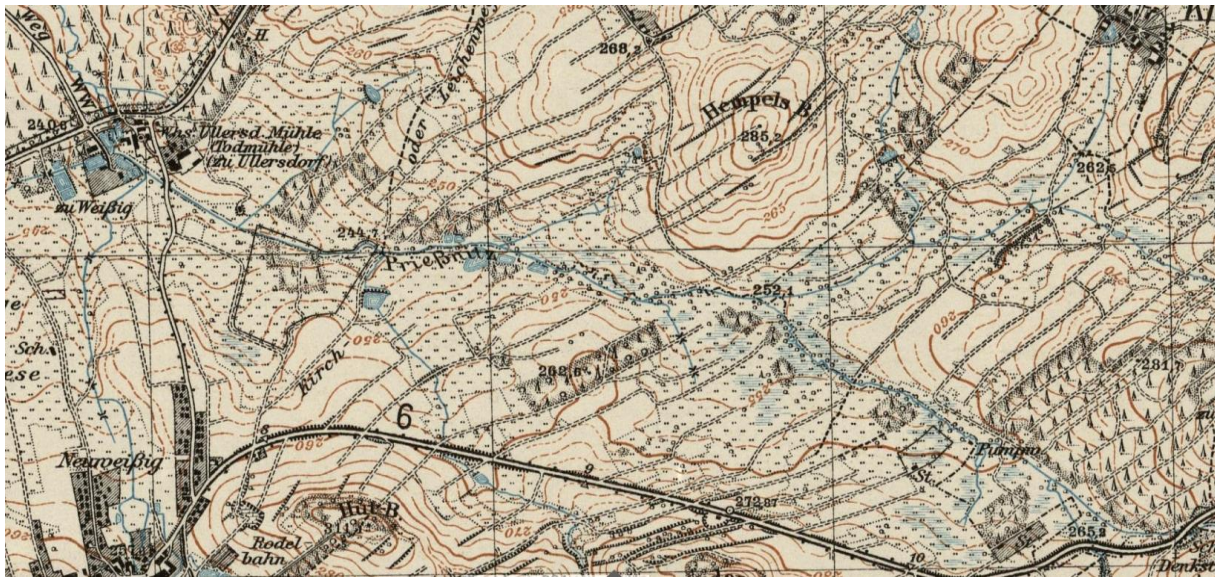


Abbildung 3: Das Messtischblatt von 1936 (www.deutschefotothek.de/cms/kartenforum-sachsen-messtischblaetter-alt.xml) zeigt auf dem Gebiet der oberen Priebnitzau ein sehr abwechslungsreiches Mosaik von Wiesen, Vernässungsbereichen, Wäldern, Baumreihen und Gehölzgruppen sowie ein sehr kleinteiliges Wegenetz mit entsprechenden Randstrukturen.

Die landwirtschaftliche Nutzung erstreckt sich auch heute noch oft bis direkt an die Böschungsoberkante des Bachs. Die gesetzlich geforderten Nutzungseinschränkungen auf dem Uferrandstreifen werden zumeist nicht beachtet.

Eine intensiv betriebene Landwirtschaft ist der Hauptverursacher von Stoffeinträgen in Gewässer. Pestizide und Düngemittel werden oberflächlich bzw. über die Drainagen in die Priebnitz geleitet und verändern die Beschaffenheit der Sohle, der Gewässergüte und der gewässerbegleitenden Vegetation. Betroffen sind insbesondere die Flächen beidseitig des Baches zwischen B6 und der Ortslage Weißig.

Teichwirtschaft

Die im Hauptschluss der Priebnitz befindlichen Schenkühelenteiche und der Rosendorfer Teich verhindern den natürlichen Abfluss und Geschiebetransport im Gewässer. Bei den turnusmäßigen Grundablässen werden innerhalb kürzester Zeit konzentriert Feinsedimente, Schadstoffe und Nährstoffe ins Gewässer geleitet. Dies führt zu einer Zusetzung der Zwischenräume im typischen sandig-kiesigen Interstitial und zum Absinken des Sauerstoffgehalts des Wassers. Weitere negative Auswirkungen entstehen durch die atypische Erwärmung des Wasserkörpers aufgrund des Anstaus sowie eine starke Eutrophierung aufgrund von Futtermittelsatz sowie dem Kot von Fischen und Wasservögeln.

Sehr nachteilig wirkt sich die Wasserentnahme für die Teiche bei Niedrigwasserführung aus. Bei hoher Verdunstung in den Sommermonaten führt die Prießnitz schon unter natürlichen Bedingungen wenig Wasser. Wenn zusätzlich Wasser entnommen wird, kann der Bach zeitweise komplett trocken fallen, wie u. a. im Sommer 2015 geschehen.

Infrastruktur

Der betrachtete Abschnitt der Prießnitz ist weitgehend frei von Bebauung, wird jedoch von diversen Straßen und Wirtschaftswegen zerschnitten. Deren Querungsbauwerke behindern die longitudinale aber auch die laterale und vertikale Durchgängigkeit des Interstitials und der Uferstrandstreifen. Sohle und Ufer sind zumeist hart ausgebaut und lassen keinerlei Besiedlung zu. Sämtliche Brückenbauwerke im Planungsgebiet weisen hier Defizite auf. Sehr nachteilig sind auch die verrohrten Abschnitte an Querungen von Wirtschaftswegen und an der S177.

2.4 Erlebbarkeit und Naherholungsfunktion

Die Prießnitz fließt im Planungsgebiet weitgehend durch eine intensiv landwirtschaftlich genutzte, überwiegend ausgeräumte Agrarlandschaft und durch von Monokulturen geprägte Waldgebiete. Während der Wald jedoch für Erholung suchende traditionell eine große Anziehungskraft entfaltet, werden landwirtschaftliche Produktionsflächen zumeist als unattraktiv wahrgenommen. Folgerichtig fehlen in der oberen Prießnitzauze Wanderwegeverbindungen zwischen der Dresdner Heide und dem Karswald.

Die für die Erholungsfunktion wichtigen Kriterien Erlebbarkeit, Naturnähe und Strukturvielfalt sind im Offenland nur rudimentär ausgeprägt und bleiben weit hinter dem Potential eines gewässergeprägten Naturraumes zurück.

3 Umsetzungsorientiertes Leitbild

Mit dem Leitbild soll der angestrebte Zustand eines Gewässerabschnitts unter Berücksichtigung der gewässermorphologischen Grundlagen, der Nutzungen des Gewässerumfeldes und der naturräumlichen Grundlagen beschrieben werden. Im Gegensatz zum natürlichen Leitbild wird bei einem umsetzungsorientierten Leitbild ein realistisch erreichbarer Zustand unter Berücksichtigung sozioökonomischer Kriterien und von Kosten-Nutzen-Analysen angestrebt.

Die Prießnitz zählt zum Gewässertyp 5.1 – Feinmaterialreicher, silikatischer Mittelgebirgsbach (LAWA, 2003). Typisch für diesen Gewässertyp ist ein stark gekrümmter bis mäandrierender Verlauf bei hohem Verlagerungspotential, flachem Wasserkörper und weiträumigen Auenbereichen. Die deutlich ausgepräg-

ten Prall- und Gleithänge bewirken eine deutliche Seitenerosion, die Ausbildung von Kies- und Sandbänken sowie von Kolken. Trotz geringer Fließgeschwindigkeit bewirken kleinräumige Variationen eine stetige Abfolge von Schnellen und Stille im Längsprofil.

Der Gewässertyp 5.1 besitzt eine vergleichsweise artenarme Fauna. Im Makrozoobenthos dominieren rheophile Weichsubstratbesiedler wie Köcherfliegen, Eintagsfliegen und Großlibellen. Bachforelle, Groppe und Bachneunauge gehören zu den charakteristischen Arten der Fischfauna.

4 Planungen für eine naturnahe Gewässerentwicklung

4.1 Definition von Entwicklungszielen

Aus dem Vergleich des Ist-Zustandes mit dem potentiell natürlichen Gewässerzustand und den Leitbildern wurden im ersten Planungsschritt folgende Entwicklungsziele für die Prießnitz abgeleitet:

- Wiederherstellung der Durchgängigkeit des Gewässersystems,
- Anheben der Sohlen zur Wiederherstellung der Interaktion zwischen Wasserkörper und Gewässerumfeld,
- Naturnahe Linienführung mit hoher Breiten- und Tiefenvarianz,
- Initiieren und Zulassen von Eigendynamik in der Sohle und den Ufern,
- Entwicklung von Gewässerrandstreifen mit standortgerechter Vegetation,
- Verstärkung der natürlichen Retention, Dämpfung des Hochwasserscheitels und Wellenverzögerung,
- Gewährleistung eines natürlichen Abflussregimes in der Teichbewirtschaftung,
- Verhinderung des Eintrags von Schadstoffen, Nährstoffen und übermäßigen Feinkornsubstraten aus der Landwirtschaft ins Gewässer,
- Erhalt besonderer floristischer und faunistischer Lebensräume.

4.2 Priorisierung mittels Strahlwirkungs- und Trittsteinkonzept

Nach der Definierung von Entwicklungszielen wurde für den gesamten Gewässerabschnitt ein Strahlwirkungs- und Trittsteinkonzept erarbeitet, anhand dessen geeignete Funktionselemente identifiziert und verortet wurden. Ziel war es, die Strahlwirkung von Funktionselementen für die Umsetzung der Maßnahmen zu nutzen. Das bedeutet, dass in Abschnitten mit schwer wiegenden Restriktionen, etwa aufgrund der Eigentumsverhältnisse vom optimalen Umfang der Umgestaltungsmaßnahmen abgesehen werden kann, wenn nachgewiesen wird, dass sich

auch bei schlechteren gewässerökologischen Parametern ein guter ökologischer Zustand einstellen kann.

Im Ergebnis der Analysen und Geländebegehungen wurde festgestellt, dass im Planungsabschnitt vor allem aufgrund der schlechten Gewässerstrukturgüte keine Strahlursprünge vorhanden sind. Damit bestand die Hauptaufgabe des Strahlwirkungs- und Trittsteinkonzeptes darin, zu entwickelnde Funktionselemente unter Berücksichtigung sämtlicher Rahmenbedingungen sowie der Bedarfsanalyse im Gewässerverlauf zu verorten.

Das Konzept beinhaltet im Ergebnis die Entwicklung von sechs Strahlursprüngen mit einer Länge von insgesamt 3.690 m. Die Strahlursprünge stellen das Gerüst des Strahlwirkungskonzeptes dar, da sich alle anderen Funktionselemente in räumlicher Abhängigkeit dazu befinden.

Ausschlaggebende Faktoren für die Verortung eines Strahlursprunges waren u. a.:

- keine Zerschneidung durch Infrastruktur auf mindestens 500 m Länge,
- vorhandene Auenrelikte in den Gewässerrandbereichen,
- Hoher Anteil von Flächen in öffentlichem Eigentum,
- Integration von Schutzgebieten bzw. geschützten Biotopen.

Aufwertungsstrahlwege wurden im Anschluss an Strahlursprünge angeordnet. Insgesamt sollen 13 Aufwertungsstrahlwege mit einer Gesamtlänge von 2.860 m entwickelt werden. Trittsteine werden innerhalb von Strahlwegen angeordnet, um jene aufzuwerten und somit das ökologische Potential für Fische, Makrozoobenthos und Makrophyten zu verbessern.

Das Konzept ermöglicht eine realistische Differenzierung des Maßnahmenumfangs für die einzelnen Funktionselemente. Somit ist es nunmehr möglich, etwa bei schwieriger Flächenverfügbarkeit den Maßnahmenumfang deutlich herabzusetzen.

4.3 Maßnahmenplanung

Basierend auf den zuvor definierten Funktionselementen wurden in Steckbriefen raumkonkret Maßnahmen beschrieben. Dabei wurde die Methodik des *DWA-Merkblatts 610* sowie der *Beiträge zu den Maßnahmenprogrammen der Flussgebietseinheiten Elbe und Oder* berücksichtigt, um die jeweilige Konformität zu gewährleisten. Die Maßnahmen wurden unterschieden in

- Maßnahmen im Sohlbereich,
- Maßnahmen im Uferbereich,
- Maßnahmen im Gewässerumfeld,

- Maßnahmen im Bereich bestehender Gewässerbenutzungen.

Die Steckbriefe enthalten die genaue Verortung der geplanten Maßnahme, eine Beschreibung des IST- und des SOLL-Zustandes der wesentlichen gewässerökologischen Parameter des Funktionselementes, die konkrete Beschreibung der Maßnahmen und die Auflistung der spezifischen Rahmenbedingungen des Abschnitts.

4.4 Objektplanung für einen Referenzabschnitt

Mit der Objektplanung für einen ca. 2 km langen Bachabschnitt soll die konkrete Flächenabgrenzung für die Einzelmaßnahmen erfolgen und die Realisierung vorbereitet werden. Der Abschnitt enthält zwei herzustellende Strahlursprünge. Unter Integration der vorherigen Planungen ergaben sich folgende Schwerpunkte:

- Rückbau von Ufer- und Sohlbefestigungen und Ersatz von Rohrdurchlässen an Wirtschaftswegen durch Brücken,
- Sohlanhebung unter Wiedereinbau von Aushubmaterialien, Niedrigwasseraufhöhung und Gerinneaufweitung,
- Standortgerechte Bepflanzung mit gebietsheimischen Arten,
- Sicherstellung von Flächen zur eigendynamischen Entwicklung und als Überflutungsfläche, Initiierung von Gewässerverlagerungen in den Geländetiefpunkt,
- Anlage eines bachbegleitenden Pflege- und Wanderweges.

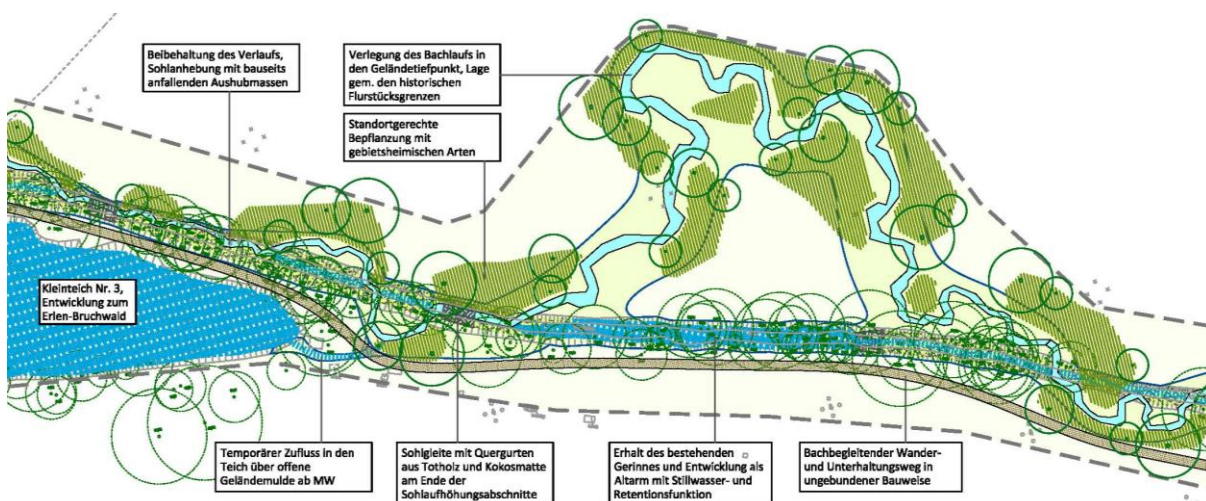


Abbildung 4: Lageplanausschnitt mit wesentlichen Inhalten der Objektplanung / Standortvorplanung

Die Auswirkungen der Sohlanhebung auf die Gewässerrandstreifen wurden im Rahmen einer hydraulischen Berechnung modelliert (*IB FUGRO*, 2011). Ziel

war es, bei einem Durchfluss von HQ5 ein bordvolles Profil zu erhalten und bei höheren Durchflüssen die Überflutung der Randstreifen zu gewährleisten.

Zur Realisierung der Maßnahme ist der Ankauf bzw. die Sicherung umfangreicher privater Flächen notwendig. Im Rahmen eines moderierten Flurneuerungsverfahrens sollen dafür unter frühzeitiger Beteiligung der betroffenen Pächter und Eigentümer die Voraussetzungen geschaffen werden.

5 Planungen für die Verbesserung der Erholungsfunktion

Neben der Verbesserung der ökologischen Funktionen des Gewässers sollen wichtige und nachhaltige Impulse für die Naherholung am Stadtrand Dresdens geschaffen werden, die weder naturschutzfachliche Aspekte vernachlässigen noch die landwirtschaftliche Nutzung beeinträchtigen.

Die Schaffung einer attraktiven, landschaftlich reizvollen Grünverbindung zwischen den Waldgebieten Dresdner Heide und Karswald bzw. dem Wesenitztal erschließt neue Perspektiven und Räume für naturbezogene Erholungsformen.

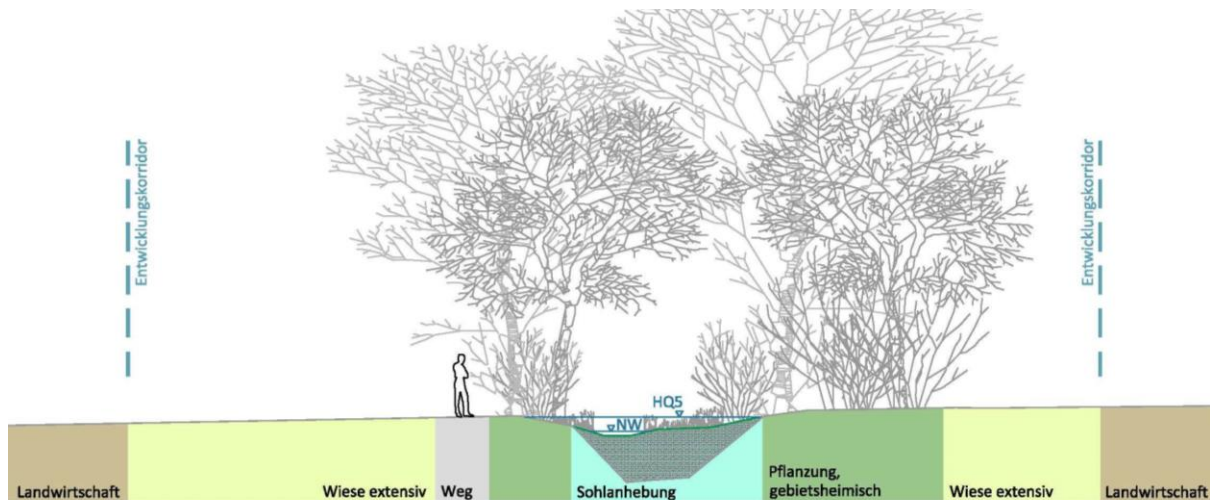


Abbildung 5: Geplantes Querprofil mit Entwicklungskorridor, Sohlenerhebung, Bepflanzung, Wanderweg und extensiv genutzten Uferstreifen

Schwerpunkte des Konzeptes lagen auf der Untersuchung von Möglichkeiten für eine neue Wegeverbindung längs zum Gewässer. Weiterhin wurden alternative Ansätze für die landwirtschaftliche Nutzung in der Talmulde der Prießnitz aufgezeigt, die einerseits mit einer Extensivierung und Aufwertung des Landschaftsbildes verbunden sind und andererseits die Bezüge zwischen der immer stärker urbanisierten Landeshauptstadt und den ländlichen Regionen in der Peripherie stärken sollen.

5.1 Wegeverbindung zwischen zwischen Dresdner Heide und Karswald

Das sehr dichte Wanderwegenetz beider Waldgebiete soll mit dem „fehlenden Glied“, nämlich deren Verbindung entlang der Prießnitzaua vervollständigt werden. Bei der Untersuchung von Trassenvarianten wurden folgende Prämissen berücksichtigt:

- direkte Anbindung an das bestehende Wegenetz und leichte Erreichbarkeit,
- Umgehung von geschützten Biotopen und Schutzgebieten sowie von bekannten Lebensräumen seltener Tierarten,
- Nutzbarkeit des Weges zur Unterhaltung des Gewässers.

Der mehrmals die Gewässerseite wechselnde Weg soll in ungebundener Bauweise hergestellt werden.

5.2 Extensivierung und Aufwertung des Landschaftsbildes

Extensivierung wird im Konzept als Voraussetzung für die Schaffung eines kleinteiligeren Nutzungsmosaiks sowie die Vermeidung von gewässerschädigenden Stoffeinträgen angesehen. Als mögliche und andernorts bereits bewährte Methoden der extensiven, kleinteiligen Landnutzung werden vorgeschlagen:

- der *Bürgeracker*: Vorzugsweise mit ökologischen Anbaumethoden werden vom Landwirt Flächen für die Selbstbeerntung durch Stadtbürger bewirtschaftet,
- die *Extensivweide*: „Mietschafe“ halten Offenlandbiotope, insbesondere Feuchtwiesen und Retentionsflächen mit Dauergrünland frei,
- die *Plantagenwirtschaft*: gebietsheimische, gewässertypische Gehölzarten wie die Schwarz-Erle und die Gemeine Esche werden in Gewässernähe in Umtriebswirtschaft angebaut und liefern nachhaltige Rohstoffe,
- die *Angelteiche*: artgerecht gehaltene Fische in naturnahen Teichen im Nebenschluss der Prießnitz werden direkt vom Konsumenten gefangen oder regional vermarktet.

Bewirtschaftungsmodelle wie diese stärken nicht nur die Beziehung von Konsumenten und Produzenten, sondern befördern auch die Verantwortung der Dresdner Stadtgesellschaft für die ökologische Qualität ihrer Lebensumwelt.

6 Ausblick

In wachsenden Städten wie Dresden sind unbebaute Flächen einem hohen und vielgestaltigen Nutzungsdruck ausgesetzt. Großräumige Planungen wie in der Gewässerentwicklung können daher nur im Kontext einer zu schaffenden „Grünen Infrastruktur“, also einem flächenschonenden Nebeneinander ökologischer,

ökonomischer und sozialer Funktionen des unbebauten Raumes erfolgen. Die naturnahe Entwicklung der oberen Prießnitztaue besitzt sehr hohe Potentiale für den Naturhaushalt, einen sanften Tourismus und eine ressourcenschonende Landwirtschaft.

Das vorliegende Konzept kann jedoch nur dann erfolgreich umgesetzt werden, wenn darüber hinaus ein hohes Maß an Identifikation mit den Zielen der Umgestaltung generiert wird. Dafür sollten in den nächsten Planungsschritten, u. a. etwa einem moderierten Flurneuerungsverfahren, die Belange sämtlicher Nutzer der Landschaft integriert werden.

7 Literatur

- DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.: Merkblatt DWA-M 610, Neue Wege der Gewässerunterhaltung – Pflege und Entwicklung von Fließgewässern. Hennef 2010
- Freistaat Sachsen, Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (2008): Maßnahmen an sächsischen Wasserkörpern, Beiträge zu den Maßnahmenprogrammen der Flussgebietseinheiten Elbe und Oder. Dresden 2008
- Gunkel, G. (Hrsg.): Renaturierung kleiner Fließgewässer: -Ökologische und ingenieurtechnische Grundlagen. Gustav Fischer Verlag. Jena 1996
- Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) (2003): Arbeitshilfe zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie. 2003
- Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (LANUV) (2011): LANUV Arbeitsblatt 16 – Strahlwirkungs- und Trittsteinkonzept in der Planungspraxis. Recklinghausen 2011

Autor:

Dipl.-Ing. Landschaftsarchitekt Mattes Hoffmann

Rehwaldt Landschaftsarchitekten
Bautzner Straße 133
01099 Dresden

Tel.: +49 351 8119690
Fax: +49 351 8119699
E-Mail: mattes.hoffmann@rehwaldt.de

Ökologische Durchgängigkeit von Fließgewässern

Johannes Riedel
William Schönwälder

In der Diplomarbeit zum Thema "Ökologische Durchgängigkeit - Theorie und Praxis am Beispiel des Lockwitzbaches" wurde am Beispiel eines sächsischen Fließgewässers aufgezeigt, wie Natur- und Hochwasserschutz in Verbindung mit einer landschaftsästhetischen Erholungssteigerung eine nachhaltige und zukunftsorientierte Strategie zur Fließgewässerentwicklung bilden kann.

Dabei stellt der zum Teil stark anthropogen überformte Lockwitzbach die Grundlage zur Analyse und Bewertung von Gewässerstruktur und -güte sowie der ökologischen Durchgängigkeit eines heutzutage typisch überformten Fließgewässers.

Durch die bewertungsgestützte Ausformulierung konkreter Maßnahmen, welche sowohl Erhalt und Entwicklung einer guten Gewässerstruktur und -güte als auch die Vernetzung des Gewässersystems incl. der Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit berücksichtigen, wird ein gesamtheitliches Gewässerentwicklungskonzept geschaffen, welches sowohl den Bedürfnissen des Menschen, als auch den Ansprüchen der Natur ausreichend Möglichkeiten zu freier Entfaltung bietet.

1 Einleitung

Schon seit seiner Sesshaftwerdung ist der Mensch bestrebt, in unmittelbarer Nähe der Ufer unserer Fließgewässer zu siedeln und hat dabei Möglichkeiten entwickelt, sich die vielseitigen Eigenschaften der selbigen zu Nutze zu machen.

Kontinuierlich wurde dabei das Gesicht der Fließgewässer überformt, um sie zur Trinkwasserversorgung, Energieerzeugung durch Wasserkraftwerke und als Transportweg für die Binnenschifffahrt nutzbar zu machen. Unsere Wasserstraßen wurden verrohrt, begradigt und ihre Uferstrukturen durch Stützmauern und Deiche verbaut, um die natürlichen Ressourcen besser nutzen und kontrollieren zu können. Ein weiterer erheblicher Eingriff in die komplexen Bestandteile der Fließgewässerdynamik war und ist das Anstauen des Wassers mit Hilfe von Querbauwerken unterschiedlichster Art. Diese massive Veränderung des Längsprofils stellt gerade für die die Fließgewässer bewandernden Arten der Fische und wirbellosen Kleinstlebewesen der Gewässersohle einen großen Einschnitt in ihren natürlichen Lebenszyklus dar.

1.1 Zielstellung

Ziel dieser Arbeit ist es, am Beispiel des Lockwitzbaches ein Gewässerentwicklungskonzept mit besonderem Fokus auf die ökologische Durchgängigkeit des Gewässers zu erarbeiten. Aufbauend auf einer zielbezogenen theoretischen Grundlagenermittlung soll überprüft werden, in welchem strukturellen und ökologischen Zustand sich der Lockwitzbach aktuell befindet, um artenspezifisch angepasste Ziele und Maßnahmen zu entwickeln.

Bereits erarbeitete Kartiermethoden zur Gewässerstruktur und -güte sollen mit den jeweiligen lebensraumtypischen Anforderungen von Flora und Fauna verknüpft, und so in ein zielartenbezogenes Gesamtkonzept für den Lockwitzbach integriert werden.

2 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet entspricht dem Einzugsgebiet des Lockwitzbaches, welcher oberhalb der Ortschaft Frauendorf als Gewässer 2. Ordnung in einer Höhe von 560 m ü. NN entspringt und nach 28,5 km Fließlänge im Dresdner Stadtteil Kleinzschachwitz linksseitig in die Elbe mündet, wobei er ab dem Durchfließen des Regenrückhaltebeckens Reinhardtsgrimma im anschließenden Verlauf als Gewässer 1. Ordnung charakterisiert wird (s. Abbildung 1).

3 Methodik und Bewertung

Die Struktur des Lockwitzbaches ist von einem stetigen Wechsel der ihn umgebenden Landnutzungen bestimmt, die die Erscheinung des Lockwitzbaches im jeweiligen Abschnitt entscheidend verändern bzw. den natürlichen Zustand nahezu unberührt gelassen haben. Dieses heutige äußere Erscheinungsbild bildet im Vergleich mit dem naturraumtypischen Aussehen des Fließgewässers die Grundlage zur Bewertung der Struktur des Baches.

In einer Leitbildfindung, welche den ersten Schritt zur Bewertung des natürlichen Erscheinungsbildes des Lockwitzbaches inklusive seiner anthropogenen, teilweise irreversiblen Veränderungen des Gewässerbildes darstellt, werden die abiotischen, biotischen und chemischen Komponenten des Fließgewässers analysiert und anschließend bewertet. Die Einteilung des Lockwitzbaches in insgesamt 23 strukturelle Abschnitte bildet die Basis dieser Herleitung, wobei mittels Feldkartierungen sowohl die Gewässerstruktur als auch Gewässergüte ermittelt wurden. Durch die Auswertung aktueller Befischungsdaten und der historischen Fischbesiedlung wurde die für den Lockwitzbach charakteristische aquati-

sche Fauna in artenspezifischen Steckbriefen dargestellt, um so einen gebiets-spezifischen Bewertungsmaßstab für die ökologische Durchgängigkeit zu erhalten. Dieser war erforderlich, damit im anschließenden Schritt die bestehenden Wanderhindernisse in ihrer Einzel- als auch kumulierenden Wirkung aufgenommen und bewertet werden konnten.

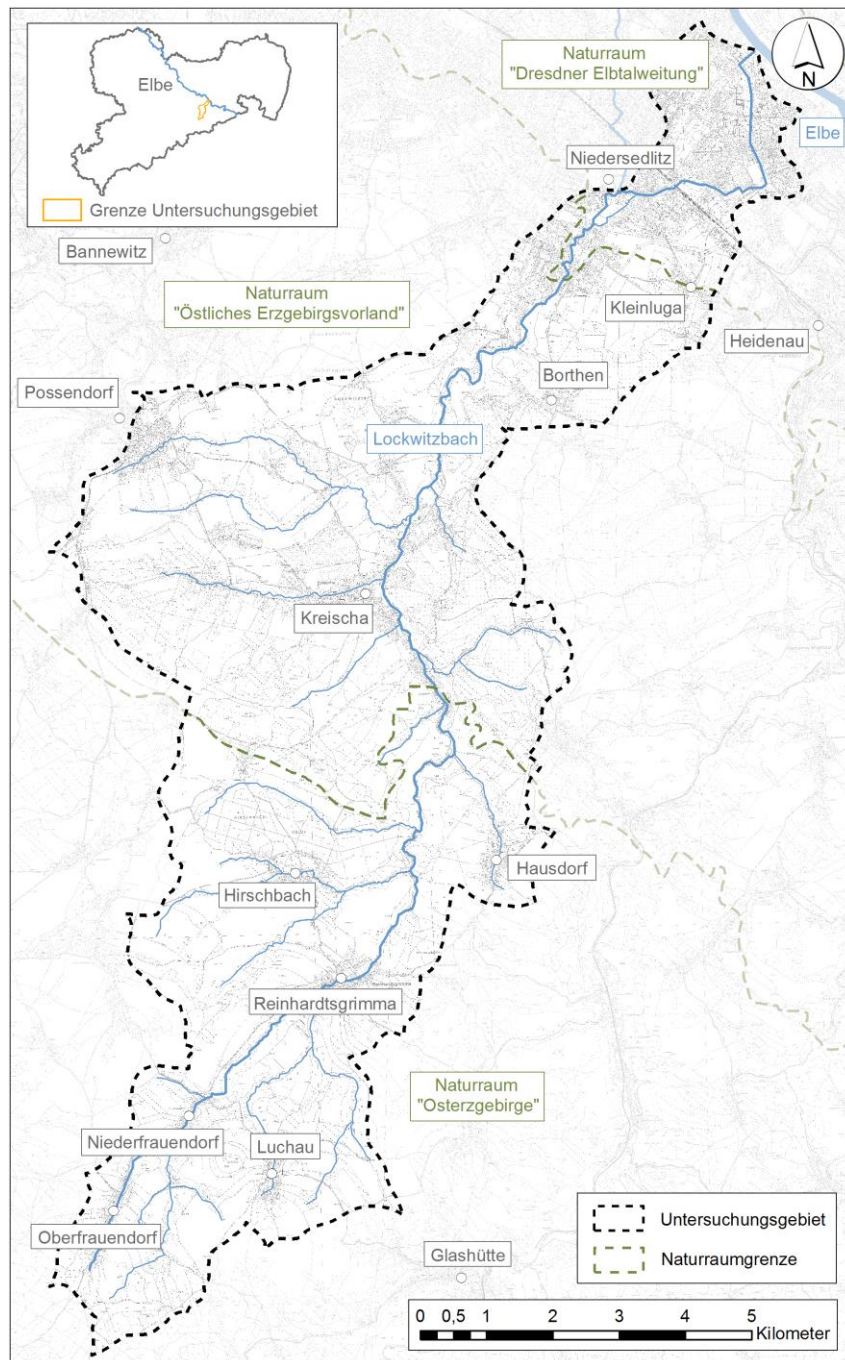


Abbildung 1: Übersicht zur Lage des Untersuchungsgebietes

3.1 Leitbild und Gewässerstruktur

Der Lockwitzbach ist von seiner Quelle südlich von Oberfrauendorf bis zu seiner 28,5 km entfernten Mündung in die Elbe entsprechend der Fließgewässerstrukturkartierung des LfULG als Typ 5: Grobmaterialreicher, silikatischer Mittelgebirgsbach eingeordnet. Die von der Bund- und Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) erarbeiteten Fließgewässersteckbriefe in der von *Pottgiesser & Sommerhäuser* überarbeiteten Auflage von 2008 stellen die Grundlage dieses Bewertungsschlüssels dar. Die Parameter der erstellten Bewertungsmatrix wurden nach der Methodik Fließgewässer nach *Schmidt* erweitert, und zusätzlich in Wald, Offenland und Siedlung unterteilt.

Bei der Auswertung zeigte sich ein deutliches Bild. Die Bereiche außerhalb von Ortschaften wurden ausschließlich als „leitbildgerecht“ oder „überwiegend leitbildgerecht“ eingestuft. Abschnitte des Lockwitzbaches, welche einen geschlossenen oder leicht lückenhaften Gehölzsaum besitzen, entsprechen häufig dem naturraumtypischen Erscheinungsbild eines Mittelgebirgsbaches.

3.2 Biologische Gewässergüte / Saprobienindex

Für die Ermittlung der Gewässergüte wurde auf Grundlage einer Feldmethode nach *Baur* (1998) kartiert, welche auf Bioindikatoren zurückgreift, die zum einen ohne Mikroskop sichtbar sind und sich zum anderen durch ihr vermehrtes Vorkommen auszeichnen.

Dabei wurden das in der Gewässersohle lebende sogenannte Makrozoobenthos für jeden Abschnitt des Lockwitzbaches in Vor-Ort-Begehungen aufgenommen und nach ihrem jeweiligen Indikatorwert für die vorherrschende Wasserqualität bewertet. Durchschnittlich wurden 80 Wirbellose Organismen je Teilabschnitt des Fließgewässers aufgenommen, so dass insgesamt 1.800 Organismen gezählt und bestimmt wurden.

Die insgesamt 23 Abschnitte des Lockwitzbaches beherbergen eine Vielzahl an unterschiedlichen Arten des Makrozoobenthos. Dabei wurden 18 verschiedene Organismen der Güteklassen I - III aufgenommen. Der Saprobienindex des Lockwitzbaches ist nur relativ geringen Schwankungen ausgesetzt. So werden Werte von 1,3 (unbelastet bis sehr gering belastet) bis 2,2 (mäßig belastet) erreicht. Die Homogenität der ermittelten Werte sowie die im Durchschnitt gering belastete Gewässergüte lässt u. a. auf das gute Selbstreinigungsvermögen des Fließgewässers schließen.

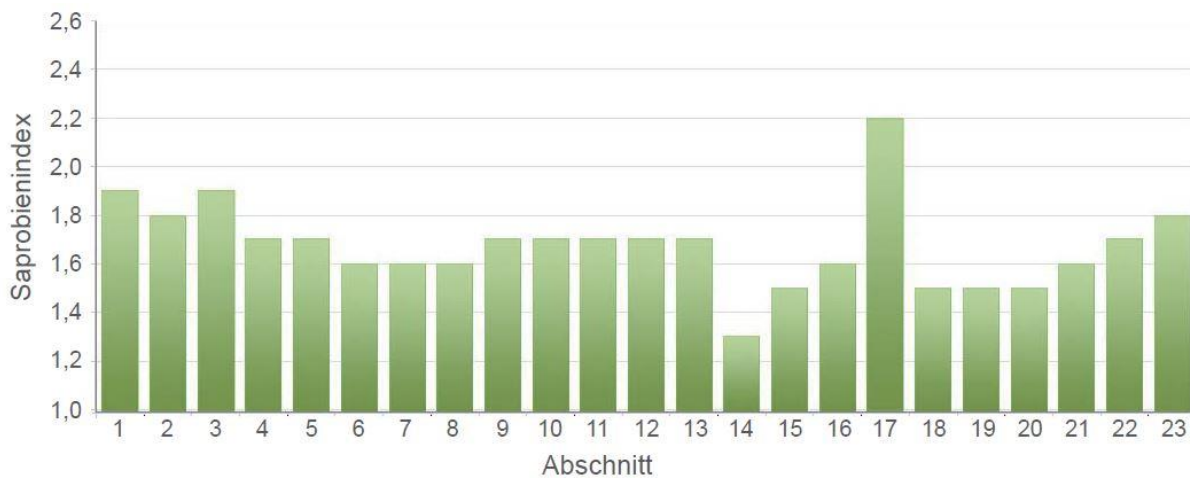


Abbildung 2: Saprobienindex je Abschnitt des Lockwitzbaches

4 Ökologische Durchgängigkeit am Lockwitzbach

Die Aufstellung eines Bewertungsmaßstabes zur ökologischen Durchgängigkeit ist von zahlreichen Parametern abhängig und muss vielfach differenziert werden. So kann in erster Instanz die Durchgängigkeit eines Wanderhindernisses nach flussaufwärts und flussabwärts gerichteter Bewegung klassifiziert werden, wobei die Anforderungen zur Herstellung zweiter Kategorie deutlich geringer ausfallen. Eine andere Einteilung erfolgt bei der Unterscheidung von Fischen und Makrozoobenthos. Da die benthalen Wirbellosen gerade zum Aufstieg ein durchgehendes Interstitial (Lückensystem im Substrat) benötigen, kann bei der Bewertung der Wanderbarrieren von einer Ja-Nein-Entscheidung ausgegangen werden. Deutlich komplexer ist die Kategorisierung der Durchgängigkeit bei der Fischfauna. Hier muss nicht nur auf die artenspezifischen Parameter, wie z. B. Sprint- und Sprungvermögen, eingegangen, sondern zusätzlich zwischen juvenilen und adulten Organismen differenziert werden. Um die Durchgängigkeit aller Fischarten zu gewährleisten muss die gesamte Amplitude von schwimm- und sprungstarken sowie sprungschwachen Arten berücksichtigt werden. Beispielsweise kann ein 20 cm hoher Absturz von einer ausgewachsenen Bachforelle problemlos überwunden werden, während dies einer Groppe unmöglich ist. In diesem Fall muss das Bauwerk als eingeschränkt passierbar eingestuft werden.

Basierend auf methodischen Bewertungsschlüsseln von *Strohmeier* (2007) und *Kolbinger* (2002) wurde ein eigenständiger Bewertungsmaßstab zur ökologischen Durchgängigkeit erarbeitet (s. Abbildung 4).

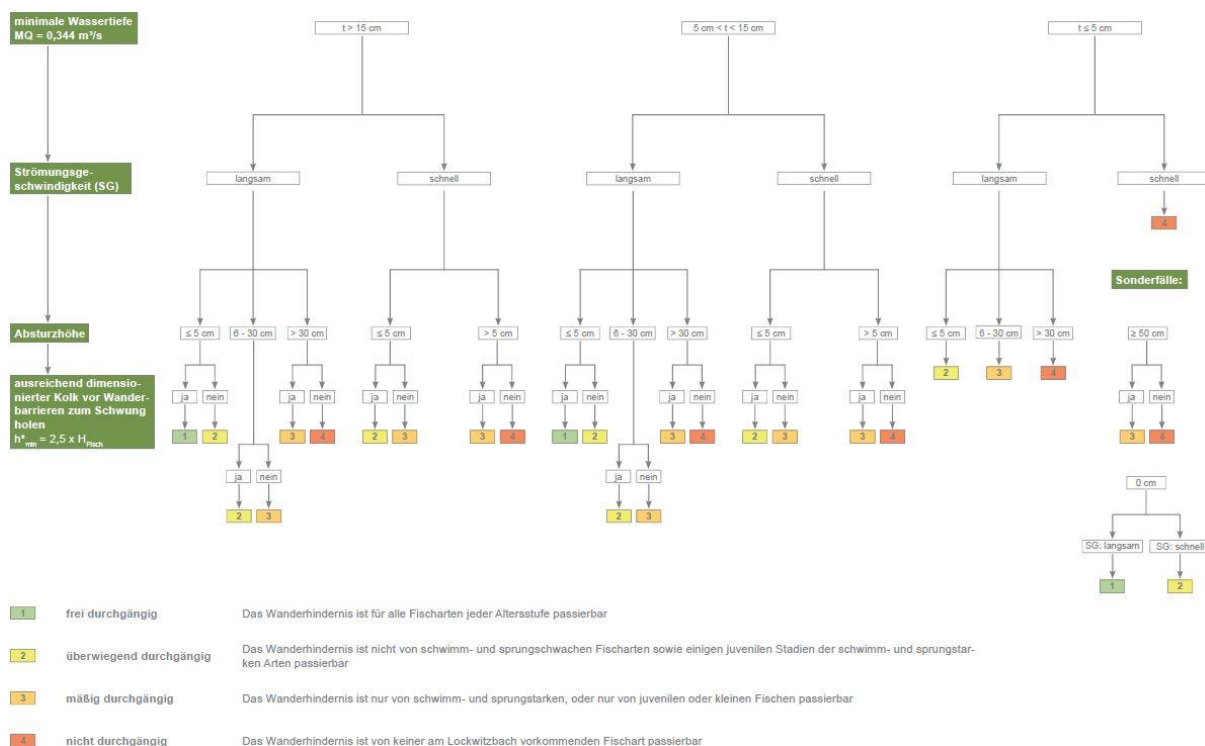


Abbildung 3: Aufgenommenes Makrozoobenthos im Tellerwasser

Mit Hilfe eines Baumdiagramms wird im ersten Schritt die Wassertiefe am Wanderhindernis eingeteilt, um auf die verschiedenen Größenordnungen und Altersstadien der Arten näher eingehen zu können. Anschließend wird auf die vereinfachte Unterteilung der Strömungsgeschwindigkeit („langsam“ oder „schnell“) Bezug genommen. Die Angabe der Strömungsgeschwindigkeit im Wanderhindernis ist bei *Kolbinger* (2002) ebenfalls ein Teilaspekt zur näheren Einordnung in die einzelnen Gruppen. Die Angabe wird zur genaueren Bestimmung numerisch genau beziffert (z. B.: $1,0 \text{ m/s} \leq v \leq 2,0 \text{ m/s}$). Im Rahmen der Diplomarbeit konnte jedoch nur an ausgewählten Quer- und Kreuzungsbauwerken die auftretende Geschwindigkeit gemessen werden. Somit wird an dieser Stelle eine vereinfachte Unterteilung dieses Parameters, ähnlich der Methodik von *Strohmeier* (2007), herangezogen. Weiterhin erfolgt die Einteilung der Absturzhöhen in drei Kategorien ($\leq 5 \text{ cm}$; $6 - 30 \text{ cm}$; $> 30 \text{ cm}$), um auf die artenspezifischen Unterschiede im Schwimm- und Sprungverhalten der am Lockwitzbach vorkommenden Fische näher einzugehen. Hier fächern sich zusätzlich zwei Sonderkategorien auf. Zum Einen ist bei einer Absturzhöhe von 0 cm lediglich die Strömungsgeschwindigkeit von Bedeutung und zum Anderen ist bei der ohnehin stark eingeschränkten Durchgängigkeit von Abstürzen $> 50 \text{ cm}$ für sprungstarke Fischarten wie der Bachforelle die Möglichkeit des Anlaufnehmens aus einem ausreichend großen Kolk unterhalb des Wanderhindernisses ausschlaggebend. Im letzten Schritt entscheidet das jeweilige Vorhandensein eines ausreichend dimensionierten Kolkes über die Einstufung der einzelnen

Bewertungsstufen. Gerade für Abstürze größeren Höhenunterschieds ist die Möglichkeit des Anlaufnehmens für schwimm- und sprungstarke Fischarten maßgebend für das mögliche Überwinden von Wanderhindernissen.

Aus der Kartierung ging eine Gesamtzahl von 241 Wanderhindernissen hervor, wobei 134 auf Quer- und 107 auf Kreuzungsbauwerke entfielen. Darauf aufbauend konnte mit Hilfe des Bewertungsmaßstabes die ökologische Durchgängigkeit jedes einzelnen Bauwerks für Fischarten und Makrozoobenthos ermittelt werden (s. Abbildung 4).

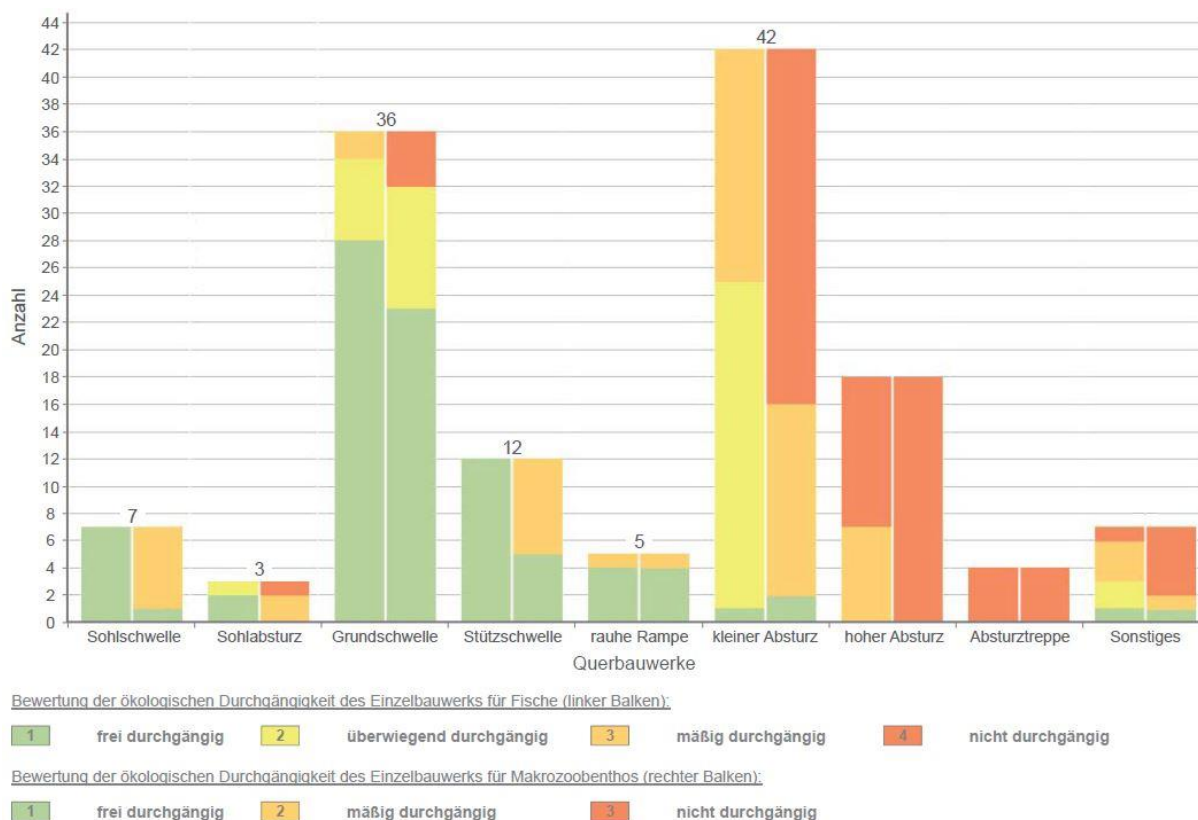


Abbildung 4: Bewertung der ökologischen Durchgängigkeit der Querbauwerke am Lockwitzbach

Ebenfalls wurden mit der Bewertung der ökologischen Durchgängigkeit auf renaturierte und umgestaltete Querbauwerke eingegangen. Einen weiteren entscheidenden Faktor zur Ermittlung der Durchwanderbarkeit des Lockwitzbaches stellte die kumulierende Wirkung der Einzelanlagen dar.

5 Landschaftsplanerisches Entwicklungskonzept

Mit Hilfe der Analyse des Einzugsgebietes und den nachfolgenden Bewertungen konnten Potentiale und Defizite des Lockwitzbaches herausgestellt werden.

Eben diese Handlungsschwerpunkte gilt es durch Formulierung geeigneter Ziele und Maßnahmen in Richtung des Leitbildes zu entwickeln. Hierbei wird besonderer Wert auf eine starke funktionale Vernetzung von Maßnahmen, welche der Verbesserung der ökologischen Situation am Lockwitzbach dienen und jenen, die den Ansprüchen zur Herstellung der Durchgängigkeit für wandernde Organismen gerecht werden, Wert gelegt. Durch die bewusste Kombination von Maßnahmen kann der ökonomische Aufwand als auch der funktionale Nutzwert optimiert werden.

Mit Hilfe eines Initialprojektes wird schlussendlich an einem konkreten Beispiel gezeigt, wie sowohl die Interessen des Natur- und Hochwasserschutzes integriert werden und diese in Verbindung mit einer gesteigerten Naherholungsfunktion für die Bevölkerung ein nachhaltiges und landschaftsästhetisches Gesamtkonzept ergeben können.



Abbildung 5: Initialprojekt "Grüne Mündung"

6 Fazit

Anhand des Lockwitzbaches wurde ein Gewässerentwicklungskonzept mit besonderem Fokus auf die ökologische Durchgängigkeit erstellt. Die Ausarbeitung ethohydraulischer, gesetzlich-planerischer und naturschutzfachlicher Kenntnisse diente dabei als Grundlage für die gebietsspezifische Bewertung der Verhältnisse im Untersuchungsgebiet. In eigenständigen Vor-Ort-Begehungen wurde der Lockwitzbach über seine gesamte Länge kartiert und in seinem heutigen Er-

scheinungsbild hinsichtlich der Gewässergüte und -struktur sowie der Durchwanderbarkeit für aquatische Lebewesen analysiert. Zusammen mit einer, auf aktuellen und historischen Befischungsdaten basierten, Zielartenauswahl in Form von artenspezifischen Steckbriefen wurden abschließend Ziele und Maßnahmen entwickelt, die dem Lockwitzbach nachhaltige Möglichkeiten für eine zukunftsorientierte Gewässerentwicklung bieten.

Gesamtbetrachtend lässt sich sagen, dass der Lockwitzbach speziell in den Siedlungsgebieten zahlreiche Defizite aber auch diverse Potentiale und Chancen zur Verbesserung der Bestandssituation vorzuweisen hat. Es gilt daher, ökologisch nachhaltige und ökonomisch sinnvolle Strategien zu entwickeln, die sowohl den Bedürfnissen des Menschen, als auch den Ansprüchen der Natur ausreichend Möglichkeiten zur freien Entfaltung bieten.

7 Literatur

- Baur, W.H. (1998): Gewässergüte bestimmen und beurteilen - 3., neubearbeitete Auflage, Parey Buchverlag Berlin. Wien 1998.
- Kolbinger, A. (2002): Fischbiologische Kartierung der Durchgängigkeit niederbayrischer Fließgewässer. Dissertation an der Technischen Universität München, Department für Tierwissenschaften, Arbeitsgruppe Fischbiologie. Freising 2002.
- Pottgiesser, T., Sommerhäuser, M. (2008): Beschreibung und Bewertung der deutschen Fließgewässertypen - Aktualisierung der Steckbriefe des bundesdeutschen Fließgewässertypen, Teil A. Essen 2008.
- Riedel, J., Schönwälder, W. (2015): Ökologische Durchgängigkeit von Fließgewässern - Theorie und Praxis am Beispiel des Lockwitzbaches. TU Dresden. Fakultät Architektur. Institut für Landschaftsarchitektur. Lehr- und Forschungsgebiet Landschaftsplanung. Diplomarbeit. Unveröffentlicht. Dresden 2015.
- Schmidt, C. (2012): Methodensammlung Landschaftsplanung - Analyse, Bewertung und Zielentwicklung in der Landschaftsplanung. Unveröffentlicht. Dresden 2012.
- Strohmeier, P. (2007): Kartierung und Bewertung der Durchgängigkeit von Fließgewässern I. und II. Ordnung in Unterfranken. Abschlussbericht Juni 2007, Bayreuth.

Autoren:

Dipl.-Ing. Johannes Riedel

Dipl.-Ing. William Schönwälder

Stowasserplan GmbH & Co. KG
Abt. Objektplanung Naturnaher Wasserbau
Hauptstraße 47f
01445 Radebeul

Planungsgruppe Plan T
Abt. Umwelt und Landschaftsplanung
Wichernstraße 1b
01445 Radebeul

Tel.: +49 351 32300464
Fax: +49 351 32300469
E-Mail: riedel@stowasserplan.de

Tel.: +49 351 89200715
Fax: +49 351 8920079
E-Mail: schoenwaelder@plan-t.de

Hochwasserrisikoanalyse im urbanen Raum auf Basis von gekoppelten hydrodynamisch- numerischen Modellen und semantischen 3D- Stadtmodellen - FloRiCiMo

Torsten Heyer
Stefan Trometer
Hellen Hammoudi
Arne Schilling
Roberto Tatis Muvdi

Die rasante Entwicklung virtueller, dreidimensionaler Stadtmodelle sowie die Möglichkeit der Unterlegung dieser Modelle mit einer Vielzahl von Daten und Informationen, die als Eingangsdaten zur numerischen Simulation physikalischer Prozesse verwendet werden können, ermöglichen eine unmittelbare Kopplung dieser Modelle mit geeigneten Solvern. Ausgehend von diesem Ansatz werden innerhalb dieses Beitrags Arbeitsschritte und Ziele vorgestellt, welche im Rahmen des DBU-Forschungsprojekts FloRiCiMo hinsichtlich der Simulation von Überflutungsszenarien im urbanen Raum verfolgt werden.

Stichworte: Hochwasser, Risikoanalyse, Stadtmodell, HN-Modell

1 Einführung

Die zahlreichen außergewöhnlichen Hochwasserereignisse, die sich in den letzten zwanzig Jahren in Mitteleuropa ereignet haben, sprechen für die Prognosen zum Klimawandel, welche eine Zunahme der Häufigkeit und der Intensität von Extremwetterlagen und daraus resultierenden Hochwassern vorhersagen. In Reaktion auf diese Prognosen trat die EG-Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie im November 2007 in Kraft, womit alle Mitgliedsstaaten aufgefordert wurden, bis zum Jahr 2015 das Hochwasserrisiko für gefährdete Gebiete zu bewerten und Managementpläne für eine Minimierung dessen aufzustellen. Weiterhin wird laut Richtlinie eine Revision dieser Pläne über einen Zeitraum von 6 Jahren gefordert. Da die Risikoanalyse, welche eine wichtige Komponente innerhalb des Hochwasserrisikomanagements darstellt, heutzutage i. d. R. den Einsatz hydronumerischer Modelle erfordert, ergibt sich ein hoher, turnusmäßig zu betreibender Aufwand für die zuständigen Instanzen. Dies gilt insbesondere für

Risikoanalysen in urbanen Räumen, welche durch hohe Schadenspotenziale charakterisiert sind und häufig komplexe technische Hochwasserabwehrsysteme (permanente und temporäre) aufweisen. Darüber hinaus werden in städtischen Umgebungen oft bauliche Veränderungen vorgenommen, die sich, z. B. infolge von Versiegelung, Wohnbautätigkeit oder Infrastrukturentwicklung, oft unmittelbar auf das Fließverhalten im Falle einer Überflutung auswirken. Vor diesem Hintergrund werden im Rahmen des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten Forschungshabens FloRiCiMo Methoden und Verfahrensweisen entwickelt, die unter Zuhilfenahme amtlich geführter 3D-Stadtmodelle und weiterer morphologischer sowie geographischer und bathymetrischer Daten eine möglichst detaillierte und automatisierte Simulation von Überflutungsszenarien in urbanen Räumen ermöglichen sollen. Im Kern des Projekts steht somit die Kopplung von detaillierten 3D-Stadtmodellen mit Werkzeugen zur hydrodynamisch-numerischen (HN) Simulation.

2 Zielstellung, Projektphase 1

Innerhalb der ersten Phase des Forschungsprojekts (14 Monate) liegt der Fokus der Arbeiten auf folgenden Punkten:

- Entwicklung und Bereitstellung eines Web-Portals auf Basis von 3D-Stadtmodellen für die Definition von HN-Analysemodellen,
- Entwicklung und Erprobung eines vereinfachten und schnellen 2D-HN-Solvers,
- Erprobung von 3D-HN-Solvern für hochdetaillierte und hochdynamische Strömungsberechnungen.

Die Modellierungsmethodik soll auf zwei Untersuchungsgebiete in den Städten Dresden und Magdeburg, die sich beide an der Elbe befinden, angewandt werden, weshalb die jeweils zuständigen Behörden der Landeshauptstädte Sachsens und Sachsen-Anhalts als Praxispartner am Forschungsprojekt beteiligt sind. Die Einbindung dieser Pilotstrecken in das Projekt verfolgt u. a. auch das Ziel, evtl. unterschiedliche Ausgangslagen hinsichtlich verfügbarer Daten und deren Qualität (z. B. Detailliertheit der Stadtmodelle) zu untersuchen, um dies ggf. im Rahmen der Modelltransformation berücksichtigen zu können.

Wie oben erwähnt ist es Ziel des Projekts, auf Basis von semantischen Stadtmodellen zwei- und dreidimensionale HN-Modelle weitgehend automatisiert erzeugen und betreiben zu können. Während 2D-HN-Simulationen für schnelle, vereinfachte Analysen zur Anwendung kommen, sollen detaillierte 3D-HN-Simulationen für den Einsatz an neuralgischen Punkten wie beispielsweise Brü-

cken, Tiefgaragen o. ä. erprobt werden. Hierbei gilt es generell, einen sinnvollen Kompromiss zwischen Diskretisierungsgrad, Modellgröße, Ereignisdauer bzw. -typ und Berechnungsgeschwindigkeit zu finden.

3 Allgemeines Konzept

Als Grundlage für die HN-Simulationen wird ein geographisches Informationssystem (GIS) verwendet, das mit Datenmodellen der Vermessungsämter kompatibel oder mit diesen gekoppelt ist. Für die Abbildung von 3D-Stadtmodellen hat sich bundesweit und zunehmend auch durch EU Initiativen (*INSPIRE*, 2013) vorangetrieben der OGC CityGML Standard (*Gröger et al.*, 2012) durchgesetzt. Ein Web-Portal (Abbildung 1) erlaubt den Zugriff auf alle relevanten Geodaten.



Abbildung 1: Ausschnitte aus dem 3D-Stadtmodell der Stadt Dresden, dargestellt in einem Prototyp des Web-Portals

In dieser Plattform werden somit alle prozessrelevanten Daten und Informationen zusammengeführt und bereitgestellt. Über das Web-Portal lassen sich die Datenabfragen und -transformationen für die Erzeugung der HN-Modelle definieren. Die HN-Simulationen können dann sowohl vollautomatisiert im Hintergrund ablaufen, als auch durch Fachanwender teilautomatisiert durchgeführt werden. Die Simulationsergebnisse können im Anschluss wieder im Web-Portal des 3D-Stadtmodells aufbereitet und visualisiert werden, um zum einen eine verbesserte Bewertung durch Entscheidungsträger zu ermöglichen und zum anderen eine ansprechende und intuitiv verständliche Bürgerinformation zu gewährleisten. Dieser Workflow kann entsprechend den Anwenderwünschen individuell angepasst werden.

Für die Definition der zu betrachtenden Hochwasserszenarien kann man zwischen vorbereiteten Standardszenarien und individuell aufsetzbaren Szenarien unterscheiden. Standardszenarien können beispielsweise zurückliegende Hochwasserereignisse oder bemessungsrelevante Ereignisse, z. B. HQ(100), sein. Individuelle Szenarien sind beispielsweise detaillierte 3D-Simulationen an mar-

kanten Bauwerken wie Brücken oder Gebäudekomplexen, einem Hauptfokus des Forschungsprojektes. Für Einzelbauwerke, wie z. B. Brücken, ist eine direkte 3D-Simulation für den lokalen Ausschnitt denkbar, sofern die hydraulischen Randbedingungen direkt aus Pegelinformationen bzw. lokalen Abflussverhältnissen extrahiert werden können. Ist jedoch eine direkte Definition der Simulationsrandbedingungen nicht möglich, wird eine Kopplung von detaillierten 3D-HN-Modellen mit vereinfachten 3D-HN-Modellen größerer Ausdehnung oder mit 2D-HN-Modellen vorgesehen. Diese Art der Modellkopplung wird erforderlich, da man sonst Zufluss- und Abfluss-Randbedingungen für einen beliebigen 3D-Ausschnitt im Stadtmodell (z. B. Neubau Gebäudekomplex) nicht definieren kann.

Als allgemeine Basis für detailliertere Untersuchungen mit begrenzten Ausdehnungen dienen großflächige, zweidimensionale Untersuchungen, wie sie gegenwärtig üblich sind und im Rahmen des Forschungsprojekts ebenfalls weiterentwickelt werden. Die Auswahl und Interaktion zwischen 2D- und 3D-HN-Modellen kann über das Web-Portal definiert und gesteuert werden.

4 2D-HN-Simulationen

Nach heutigem Stand der Technik werden für Überflutungssimulationen urbaner Räume überwiegend 2D-HN-Modelle eingesetzt. Darin stellt die geeignete Modellierung baulicher Abflusshindernisse, wie z. B. Gebäude, stets eine besondere Herausforderung dar. Üblicherweise erfolgt die modellhafte Implementierung der Gebäude über das „Ausstanzen“ der Gebäudegrundrisse aus dem Berechnungsnetz (Abbildung 2), wobei diese Grundrisse häufig vereinfacht und fallweise auch zusammengefasst werden.

Aufgrund der softwareabhängigen Vorgaben bezüglich der Netzqualität ist dieser Schritt oft zeitaufwändig und erfordert häufig eine „manuelle“ Nachbearbeitung. Innerhalb des Forschungsprojekts ist vorgesehen, die im 3D-Stadtmodell enthaltenen Gebäudegrundrisse automatisiert in ein unregelmäßiges Berechnungsnetz zu übertragen und, falls notwendig, weiter anzupassen.

Der für die 2D-HN-Berechnungen vorgesehene Finite-Elemente-Solver basiert auf der in *Liang und Borthwick (2009)* formulierten Form der Flachwassergleichungen. Dadurch soll die Stabilität der numerischen Lösung sowohl bei allmählich als auch bei schnell veränderlichen hydraulischen Randbedingungen gewährleistet werden. Als Software-Paket für die Programmierung der numerischen Lösung wird das DIFFPACK Development Framework der Firma

inuTech (Nürnberg) eingesetzt, welche ebenfalls in das Forschungsprojekt eingebunden ist.



Abbildung 2: Typische Geobasisdaten (links; Orthofotos, ATKIS-Gebäude-Daten) als Basis für die Implementierung von Gebäuden als Strömungshindernisse in 2D-HN-Modellen (rechts)

Da eine 3D-HN-Simulation für größere Stadtgebiete aufgrund aktuell bestehender Rechenleistungslimitierungen noch nicht möglich ist, werden mit dem 2D-HN-Modell schnelle und über eine große Fläche reichende Überflutungssimulationen durchgeführt, woraus anschließend objektbezogene hydraulische Randbedingungen für lokale 3D-HN-Simulationen extrahiert werden können.

5 3D-HN-Simulationen

Um sich der Thematik der 3D-HN-Simulationen in urbanen Bereichen anzunähern, wurden unter Nutzung der Software ANSYS-CFX und OpenFOAM erste Berechnungen für ein hochaufgelöstes Gebäude sowie für ein geringer diskretisiertes Stadtgebiet durchgeführt (*Schubert, 2015*). Neben der grundsätzlichen Untersuchung der hard- und softwareseitigen Anforderungen war es ein weiteres Ziel der Testsimulationen, die optimalen Simulationsparameter und –bedingungen (z. B. bezüglich der Geometrie, Netzqualität, Randbedingungen, Turbulenzmodelle etc.) zu identifizieren, womit eine hinreichend genaue Abbildung des Fließverhaltens in komplexen urbanen Gebieten erreicht werden kann.

5.1 Simulationen für hochaufgelöstes Wohnhaus

Erste instationäre Simulationen wurden mit dem Modell eines hochaufgelösten, unterkellerten Wohnhauses (LOD 4) durchgeführt. Die 3D-HN-Simulationen erlauben eine realitätsnahe Abbildung dreidimensionaler, dynamischer Effekte,

wie der Ein- und Durchströmung von Objekten, sowie die Analyse der daraus resultierenden komplexen Druckverhältnisse. Als hydraulische Randbedingung wurde eine Zuflussganglinie mit rapidem Anstieg vorgegeben, wie sie z. B. aus dem plötzlichen Versagen einer baulichen Anlage (z. B. Hochwasserschutzwand) resultieren könnte.

Das unstrukturierte Berechnungsnetz wies bei einer maximalen Elementkantenlänge von 25 cm einen relativ hohen Diskretisierungsgrad auf, so dass das Gesamtmodell aus mehr als 6,3 Mio. Elementen bestand. Beiden 3D-HN-Simulationen, mit ANSYS CFX bzw. mit OpenFOAM, lag diese räumliche Modellauflösung zu Grunde. Es wurden folgende Randbedingungen definiert:

- Zuflussganglinie mit $t_{\text{Anf}} = 0 \text{ s}/Q_{\text{Anf}} = 0 \text{ m}^3/\text{s}$; $t_{\text{End}} = 20 \text{ s}/Q_{\text{End}} = 118 \text{ m}^3/\text{s}$, womit sich im Modellgebiet maximale Fließgeschwindigkeiten von bis zu 6 m/s ergaben,
- Turbulenzintensität von $I = u/U = 5 \%$ am Ein- und Auslauftrand,
- statische Druckverteilung über den gesamten Auslauftrand.

Zahlreiche weitere Parameter, die im Zuge des Modellsetups definiert werden müssen, beeinflussen die Berechnungsergebnisse. In Abhängigkeit von der Sensitivität der Parameter können diese Abweichungen verhältnismäßig stark ausfallen bzw. bis hin zum Simulationsabbruch infolge numerischer Instabilitäten führen. Um die Anzahl derartiger Fehlerquellen zu minimieren, ist eine sorgfältige Vorsondierung und Analyse dieser Parameter notwendig. Derartige Sensitivitätsanalysen wurden insbesondere für die jeweils wählbaren Turbulenzmodelle durchgeführt, wobei insbesondere

- das k-epsilon-Modell,
- das k-omega-Modell und
- das SST-Modell (SST=Shear Stress Transport)

untersucht worden sind.

Exemplarisch fasst Tabelle 1 die Berechnungszeiten zusammen, die sich für unterschiedliche Turbulenzmodelle und variierende Zeitschrittgrößen ergaben.

Die Berechnungen erfolgten am Zentrum für Informationsdienste und Hochleistungsrechnen der TU Dresden (ZIH) unter Nutzung von 16 Kernen des Bull HPC-Clusters. Aus der Tabelle geht hervor, dass das häufig verwendete k-omega-Turbulenzmodell Vorteile hinsichtlich der benötigten Berechnungszeit aufweist, weshalb dieses Modell in zukünftigen Simulationen verwendet werden soll. Darüber hinaus ist zu erkennen, wie die definierte Zeitschrittgröße die Berechnungsdauer beeinflusst.

Tabelle 1 CPU-Dauer unter Vorgabe verschiedener Turbulenzmodelle und Zeitschrittgrößen in ANSYS-CFX

Turbulenzmodell	Zeitschritt	CPU-Dauer
	[s]	[h]
SST	0,1	309,50
k-epsilon	0,1	282,00
k-omega	0,1	228,25
k-omega	0,5	145,50
k-omega	0,05	287,25

Abbildung 3 beinhaltet Darstellungen der Wasserspiegellagen, die mit beiden CFD-Solvern (mit k-omega Modell) zu einem identischen Simulationszeitpunkt ermittelt worden sind. Bei einer qualitativ guten Übereinstimmung der Simulationsergebnisse sind vereinzelte, lokale Unterschiede erkennbar.

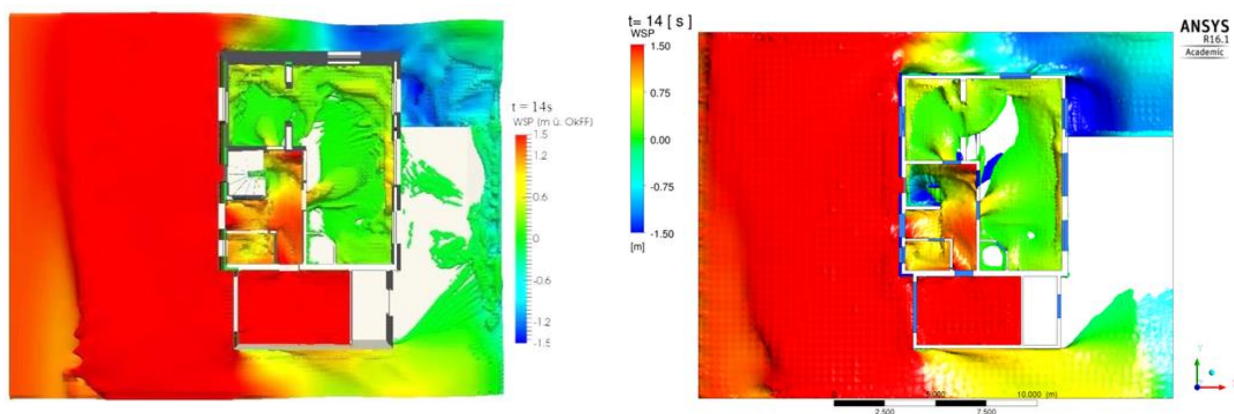


Abbildung 3: Berechnete Wasserspiegellagen zum Zeitpunkt $t=14$ s für hochdynamische Einströmung eines Einfamilienhauses mittels OpenFOAM (links) und ANSYS-CFX (rechts)

5.2 Simulationen im Stadtgebietsmaßstab

Unter Verwendung von OpenFOAM wurden erste 3D-HN-Simulationen für ein vereinfachtes Stadtgebiet durchgeführt (Schubert, 2014). Anschließend wurden die erhaltenen Ergebnisse mit denen einer klassischen 2D-HN-Simulation, welche mit HYDRO_AS-2D durchgeführt wurde, verglichen. Abbildung 4 beinhaltet eine Gegenüberstellung der jeweils erhaltenen Wasserspiegellagen und Überflutungsflächen.

Erwartungsgemäß war der Aufwand sowohl für die Erstellung als auch für die Simulationdurchführung für das 3D-HN-Modell deutlich größer als für die 2D-HN-Simulation. Die Abweichungen, insbesondere hinsichtlich der Ausdehnung der Überflutungsflächen, waren bereichsweise erheblich. Darüber hinaus wurde

festgestellt, dass die Festlegung äquivalenter (2D/3D) hydraulischer Randbedingungen nicht trivial ist und weitere Untersuchungen erfordert (z. B. Verhinderung von Reflexionseffekten in 3D-HN-Simulationen).

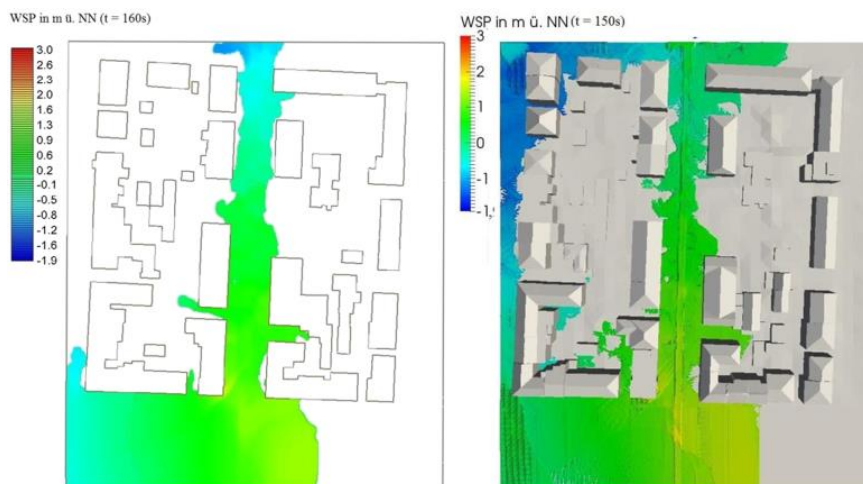


Abbildung 4: Berechnete Wasserspiegellagen zu näherungsweise identischen Zeitpunkten einer Hochwassersimulation innerhalb eines Stadtgebiets mittels eines 2D-HN-Modells (links, HYDRO_AS-2D) und eines 3D-HN-Modells (rechts, OpenFOAM); (Quelle: Schubert, 2014)

Ein 3D-HN-Modell besitzt jedoch gegenüber dem 2D-Ansatz insbesondere dahingehend Vorteile, dass das An-, Ein- und Umströmverhalten z. B. von Gebäuden, Durchfahrten, Gassen, Straßen (für Starkniederschlagsereignisse) oder Innenhöfen (mit Durchfahrten) realitätsnäher abgebildet werden kann. In Abhängigkeit von den jeweiligen Untersuchungszielen wird der Mehraufwand der 3D-HN-Analysen fallweise gerechtfertigt oder ist sogar unumgänglich.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Wie oben erwähnt fokussiert die erste Phase des Forschungsprojekts auf die Untersuchung der grundsätzlichen Machbarkeit der Transformation der 3D-Stadtmodell-Daten in HN-Modelle sowie auf die direkte Rückübertragung und Darstellung der Simulationsergebnisse in die Stadtmodelle. Neben der Entwicklung der benötigten Schnittstellen stehen die Entwicklung (2D-Modell) und die zweckmäßige Anpassung (3D-Modell) der hydronumerischen Solver im Mittelpunkt der derzeitigen Bearbeitung.

So wird aktuell ein vereinfachtes 3D-HN-Modell erprobt, welches einige wesentliche Komponenten eines urbanen Gebiets beinhaltet (Abbildung 5). Aus hydronumerischer Sicht weist dieses Modell eine deutlich höhere Komplexität auf als die sonst üblichen 2D-HN-Modelle, da nun z. B. eine tiefendifferenzierte

Analyse der Strömungsverhältnisse und daraus resultierender Effekte (z. B. WSP-Lage in Flusskrümmungen) und Einwirkungen möglich wird.

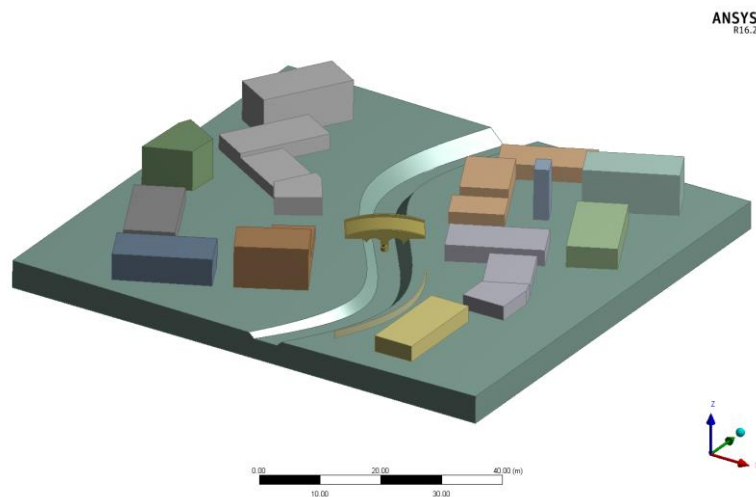


Abbildung 5: Vereinfachtes Stadtmodell für 3D-HN-Simulationen unter Verwendung von ANSYS-CFX

Neben mehreren Gebäuden im LOD 1 beinhaltet das Modell u. a. eine Brücke, Hochwasserschutzwände, verschiedene sowie verschiedene lokale Rauheiten. Ziel ist es dabei, neben der dreidimensionalen Abbildung des Strömungsverhaltens an diesen Elementen, die soft- und hardwareseitigen Erfordernisse und Limitierungen weiter zu untersuchen. Bei der Erstellung des fiktiven Modellgebiets wurde sich an den Gegebenheiten der Elbe zwischen Marienbrücke und Carolabrücke im Stadtgebiet Dresdens orientiert.

Durch den hier verfolgten neuen Ansatz der Verknüpfung semantischer 3D-Stadtmodelle mit hydropnumerischen Solvern soll zu einer Weiterentwicklung des modernen Hochwasserrisikomanagements beigetragen werden. Dies gilt insbesondere auch vor dem Hintergrund, dass infolge der rasanten Entwicklung auf dem Gebiet der Gebäudedigitalisierung, wie z. B. dem Building Information Modeling (BIM), zahlreiche weitere Informationen auf der Einwirkungs- (Wasserstände, Fließgeschwindigkeiten etc.) und auf der Widerstandsseite (Gebäudeelemente, innere Gebäudestruktur etc.) in Zukunft miteinander verknüpft werden können, um so z. B. Prognosen bezüglich einer evtl. Tragsicherheitsgefährdung oder zu erwartender Schäden an Gebäuden zu ermöglichen. Generell ist davon auszugehen, dass semantische, virtuelle Stadtmodelle zunehmend als Basis für weitere Planungsaufgaben in urbanen Räumen eingesetzt werden.

7 Literatur

- Gröger, G.; Kolbe, T.H.; Nagel, C. and Häfele K.H. (2012): OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard. Open Geospatial Consortium OpenGIS Encoding Standard OGC 12-019, 2012.
- INSPIRE Thematic Working Group Buildings (2013): D2.8.III.2 INSPIRE Data Specification on Buildings – Draft Technical Guidelines. INSPIRE, 214 pages.
- Liang, Q.; Borthwick, A. (2009): Adaptive quadtree simulation of shallow flows with wet-dry fronts over complex topography. *Computers & Fluids* 38. S. 221–234.
- Schubert, H. (2015): Hydronumerische Strömungssimulationen zur Untersuchung des Fließverhaltens und der Einwirkungen auf Gebäude bei Hochwasser. Diplomarbeit. Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik. TU Dresden. 2015.
- Trometer, S.; Mensinger, M. (2014): Simulation von Detonationsszenarien im urbanen Umfeld. In: T. H. Kolbe, R. Bill und A. Donaubauer (Hg.): Geoinformationssysteme 2014, Beiträge zur 1. Münchner GI-Runde. München. Berlin: Wichmann, S. 150–164.
- Trometer, S.; Mensinger, M. (2014): DETORBA - Detonationsszenarien im urbanen Umfeld - Neue Möglichkeiten mit GIS-basierten Stadtmodellen. BMBF-Innovationsforum „Zivile Sicherheit“ 07.-09. Mai 2014. Berlin, 2014.

Autoren:

Dr.-Ing. Torsten Heyer
Dipl.-Ing. Hellen Hammoudi
M. Sc. Roberto Tatis Muvdi

Dr.-Ing. Stefan Trometer

Institut für Wasserbau und THM (IWD)
Technische Universität Dresden
George-Bähr-Straße 1
01062 Dresden

CADFEM GmbH
New Business Development - Digital City
Marktplatz 2
85567 Grafing b. München

Tel.: +49-(0)351 463 34397
Fax: +49-(0)351 463 37120
E-Mail: torsten.heyer@tu-dresden.de
hellen.hammoudi@tu-dresden.de
roberto.tatis_muvdi@tu-dresden.de

Tel.: +49-(0)8092-7005-35
Fax: +49-(0)8092-7005-570
E-Mail: strometer@cadfem.de

Dr. rer. nat. Arne Schilling

virtualcitySYSTEMS GmbH
Tauentzienstraße 7 b/c
10789 Berlin

Tel.: +49-(0)30-8904871-10
Fax: +49-(0)30-8904871-19
E-Mail: aschilling@virtualcitysystems.de

Sedimentuntersuchungen in Talsperren – eine komplexe Aufgabe

Dr. Klaus Buckup
Maximilian Buckup
Gerd Heller
Elena-Maria Klopries
Reiner Lautenschläger

Ablagerungen im Stauraum einer Talsperre gelten als Sedimente. Die Sedimentbildung erfolgt auf verschiedene Weise und die Ausbildung ist sehr unterschiedlich. Herkömmlich werden akustische Verfahren zur Sedimentuntersuchung eingesetzt. Mit dem Impuls-Neutron-Neutron-Log bietet ein weiteres Verfahren die Möglichkeit, Sedimente zu untersuchen.

In Modelluntersuchungen, on-land-Messungen und Einsätzen im Aquatorium wurde experimentell überprüft, ob das Verfahren unter praktischen Bedingungen erfolgreich eingesetzt werden kann.

Einsatztechnologie und Bearbeitungsmethodik lieferten Ergebnisse, die das Verfahren perspektivisch erscheinen lassen.

Stichworte: Modelluntersuchungen, INN-Verfahren, Soft- und Hardwareentwicklung, praktische Ergebnisse, Fallstudie, Verfahrenskomplexierung

1 Einführung

Die Untersuchung von Sedimenten in Gewässern stellt eine herausfordernde Aufgabe dar. Sedimente in Aquatorien jeglichen Typs (Flüsse, Seen, Tiefsee, Talsperren) mit praktisch hinreichender Aussagekraft abzubilden, bereitet Schwierigkeiten. Neue Versuche wurden von *Klopries et al.* (2015) dargestellt.

Mit dem SonarInn sollten unterschiedliche physikalische Größen komplex erfasst werden. Aus theoretischer Sicht kann das Impuls-Neutron-Neutron-Verfahren INN stofforientierte Angaben liefern. Das INN wird vielseitig für bohrlochgeophysikalische Untersuchungen eingesetzt. Bei entsprechender technischer Anpassung kann das Verfahren im Aquatorium genutzt werden.

Zur Vorbereitung praktischer Einsätze wurde ein umfangreiches Programm abgewickelt.

Bei der eingesetzten Version des INN handelt es sich um eine Modifikation mit einer niederfrequenten kontrollierbaren physikalischen Quelle (s. Abbildung 3) bei einer Neutronenemission auf Basis einer Deuterium-Tritium-Fusion.

Der Informationsträger ist die Neutronenabklingkurve. Bei einer Neutronenemission von 10^8 Neutronen in der Sekunde wird die Neutronenanzahl über 2 ms in Schritten von $32 \mu\text{s}$ gemessen.

Eine typische Abklingkurve für zwei Messkanäle ist in der Abbildung 1 gezeigt. Kanal 1 entspricht einer Distanz zwischen Quelle und Zählrohr von 38 cm, Kanal 2 einem Abstand von 63 cm.

Der Tangens der Abklingkurve ist proportional der mittleren Lebenszeit der Neutronen (τ / sec^{-1}) im untersuchten Medium und ist für Stoffe eine fixierte Kenngröße.

Aus dieser Konstellation lassen sich die für eine Einschätzung des untersuchten Mediums notwendigen Parameter gewinnen, im Wesentlichen werden die Zählraten für eine Datenbearbeitung genutzt.

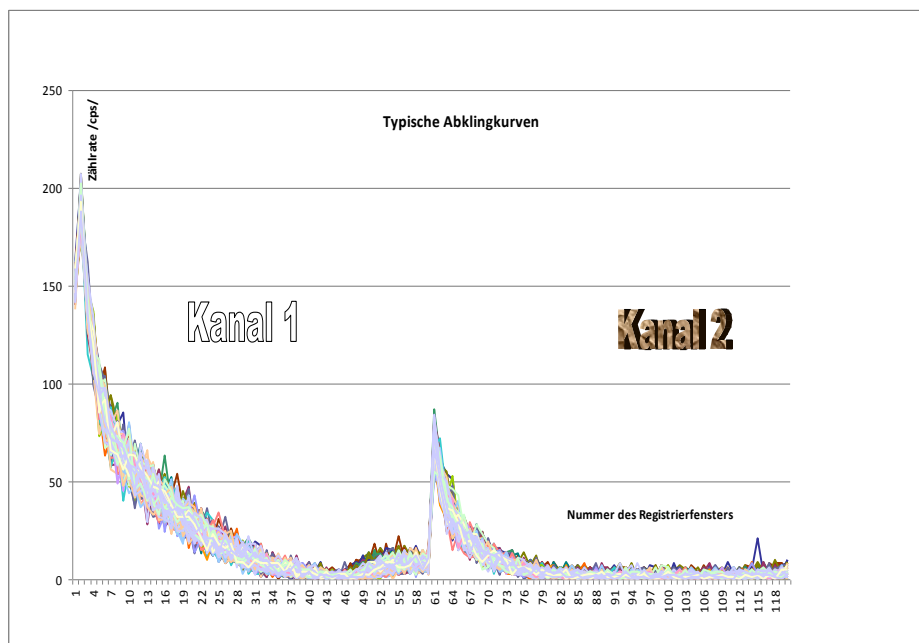


Abbildung 1: Mittlere Abklingkurven über einen ausgewählten Profilabschnitt

Um die Zählraten praktisch nutzbar zu machen, musste zwangsläufig eine methodische und technische Anpassung des Verfahrens erfolgen.

Aufbauend auf theoretische Überlegungen von *Larionov* wurde ab 2011 gezielt untersucht, wie das Neutronenverfahren für praktische Belange u. a. der Sedimentbewertung in Talsperren eingesetzt werden kann.

Mit vorhandenen technischen Mitteln wurden Arbeiten an Land aufgenommen (Abbildung 2), Modellarbeiten ausgeführt und letztlich Freilandeinsätze realisiert.

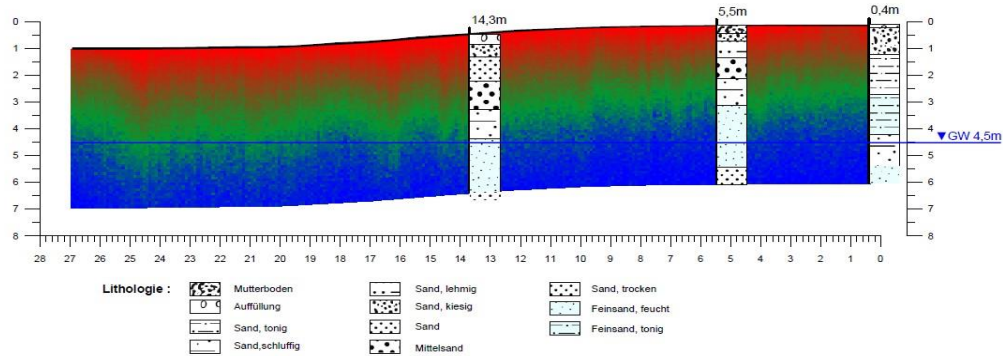


Abbildung 2: INN-Landprofil zur Untersuchung der Bodenzusammensetzung mit ausgewählten Stabprofilen für Einzelpunkte

Für diese Untersuchungen wurden zuerst herkömmliche Bohrlochsonden eingesetzt, wie eine auf Abbildung 3 gezeigt ist, die dann im Weiteren für verschiedene Aufgaben adaptiert wurde. Die Arbeiten können im kontinuierlichen Regime als Profilmessungen durchgeführt werden, bzw. diskret als Punktmessungen.

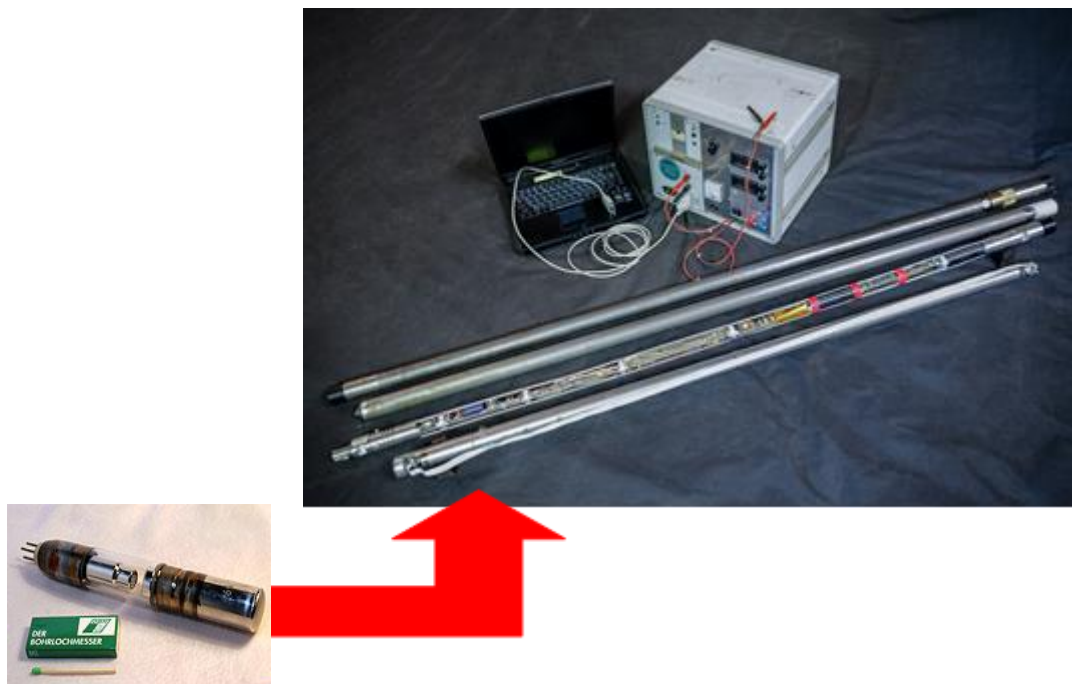


Abbildung 3: INN-Ausrüstung für bohrlochgeophysikalische Messungen

2 Vorbereitende Untersuchungen

2.1 Hardwarebeschreibung

Generell besteht die INN-Hardware aus 2 Teilen, die unterschiedlich gestaltet werden können. Das Ausgangsgerät besaß einen Sondenteil und eine Kontrolleinheit. Im Sondenteil sind in der Regel Helium-3-Detektoren verbaut und das Minitron, dazu kommt ein Hochspannungsteil, Minitron und Hochspannungsteil bilden die Generatorsektion (unten auf Abbildung 3), die folgende technische Parameter aufweist:

Tabelle 1 Technische Parameter der Generatorsektion

Emission	$> 10^8$ n/sec
Betriebsdauer	$> 6 \times 10^6$ Schüsse (bei 20 Hz entspricht das 80 h Einschaltdauer)
Temperaturbereich	- 40 °C bis 150°C
Maße	Durchmesser 26,5 mm
	Länge 131,7 mm
Zündspannung	120 kV
Neutronreaktion	D-T
Dauer des Zündimpulses	0,1 μ s
Dauer des Neutronimpulses	1 ps
Masse	100 g
Neutron energy	14 MeV
Tritium activity	2,4 Ci
Leistungsaufnahme	$< 0,2$ J

Für die Experimentalarbeiten wurden zwei Gerätemodifikationen aufgebaut (Abbildung 4): Eine "online"-Variante, bei der Elektronik/Detektorsektion hintereinander montiert sind und eine "parallele" Variante, bei der die Elektroniksektion neben der Generatorsektion angeordnet ist.

Das jeweils einzusetzende Layout hängt von der Aufgabenstellung ab.



Abbildung 4: INN-Hardware-Varianten zum Einsatz im Aquatorium

Der Einsatz im Aquatorium erfolgte mit Hilfe eines Trägersystems, das mit GPS bestückt, bzw. wie *Klopries et al.* (2015) zeigt, mit Sonar kombiniert ist.

2.2 Methodische Aspekte

Abklingkurven beschreiben in mehrerlei Hinblick das Medium, das bei der gegebenen Sondengeometrie erfasst wird. Untersuchungen in *NuPulse* haben gezeigt, dass bei der oben benannten 2-Kanal-Sonde eine Eindringtiefe von bis zu 7 m erreicht werden kann, was auch die Darstellung der Abbildung 2 belegt. Die mittlere Abklingkurve über 2 ms gibt für diesen Bereich die dominierende Komponente wieder, die sich im Parameter TAU ausdrückt. Die Amplitude der Abklingkurve lässt Rückschlüsse auf Dichte, Lithologie, Porosität und Sättigung zu. Die Zählratenverteilung in den Registrierfenstern ermöglicht vertikale Untergliederungen im Rahmen der Eindringtiefe.

Ein Beispiel für eine Profilmessung ist in Abbildung 5 dargestellt.

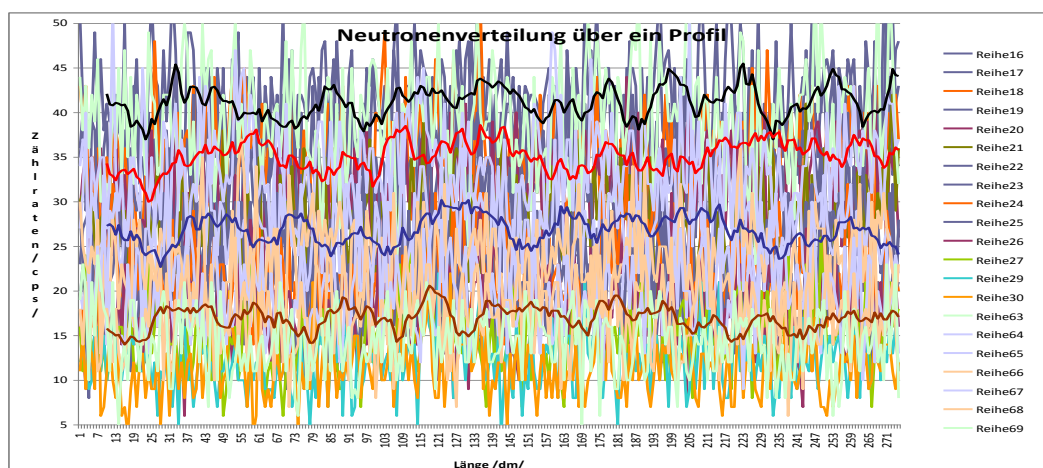


Abbildung 5: Neutronenverteilung über ein Profil mit vertikalen Änderungen

Die eingezeichneten Trendlinien zeigen die Veränderungen mit der Tiefe an, Amplitudenanstiege sind in erster Linie mit Zunahme der sandigen Komponente verbunden.

3 Modelluntersuchungen

Die INN-Ansprache wurde am Modell überprüft. Dafür wurde ein von *Klopries et al.* (2015) beschriebenes Schüttmodell genutzt.

Das Modell war zum Messzeitpunkt mit Mischsediment aufgefüllt und unter Wasser gesetzt. Die Ansprache ist auf Grund der unterschiedlichen Eindringtiefe leicht verschieden, zeigt jedoch vergleichbare Effekte. Sobald sich die Sonde

in die Sedimentschüttung bewegt hat, wird dieses angesprochen, am Untergrund bilden sich zusätzlich die Einbauten ab.

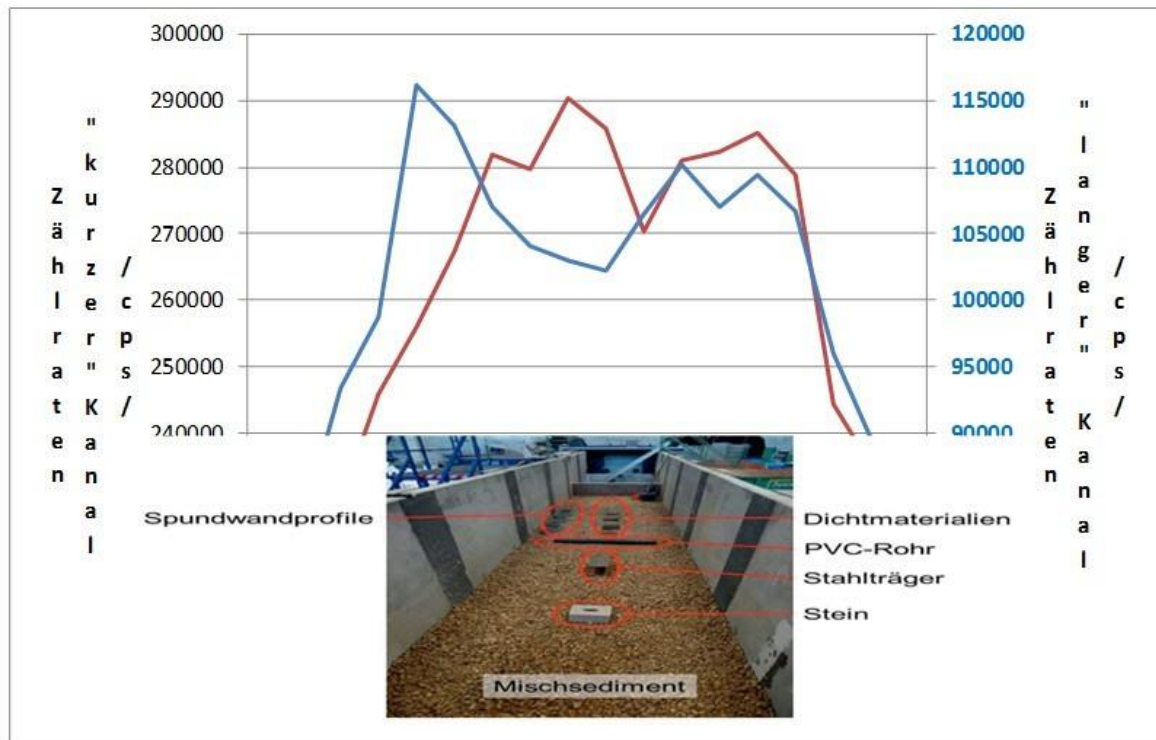


Abbildung 6: Neutronenverteilung über das Schüttmodell mit Einbauten

4 Softwareentwicklung

Für die Sedimentbestimmung war es erforderlich, eine spezielle Software zu entwickeln, die den Belangen des INN-Einsatzes entsprechend gerecht wurde.

Die Standardsoftware BODAMESS wurde für diese Zwecke speziell angepasst. BODAMESS wird zur Gerätebedienung genutzt und zur Datenbearbeitung, für Interpretationszwecke werden die Zählraten in den Einzelfenstern herangezogen.

Abbildung 7 zeigt eine Programmversion, die für Sedimentuntersuchungen verwendet wird. Durch die Anstiegsangaben auf der linken Seite können lithologische Aussagen für 2-Komponentengemische getroffen werden, positive Werte entsprechen sandigen Anteilen, negative tonig-schluffigen Variationen. Die Aussagen können on-line getroffen werden.

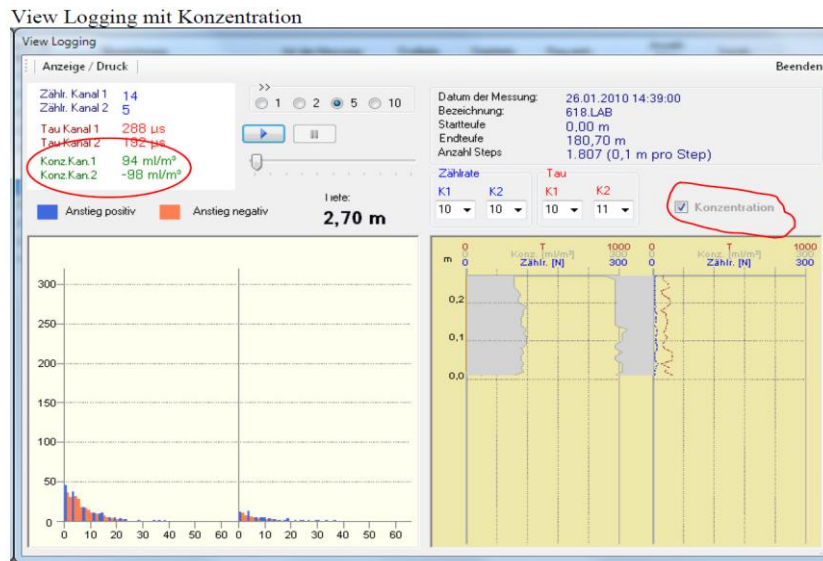


Abbildung 7: INN-Kontrollregistrar

5 Freiwasseruntersuchungen

Für eine Verfahrensvorführung fand eine Messung in einer Vorsperre der Tal-sperre Eibenstock statt.

5.1 Ausführungstechnologie

Es gelangte eine 2-Detektoren-INN-Variante zum Einsatz, die mit einem Trä-gersystem gekoppelt war, komplettiert mit GPS und Echolot wie auf Abbil-dung 8 gezeigt. Es war damit möglich, die Messungen in Profilform auszufüh-ren.

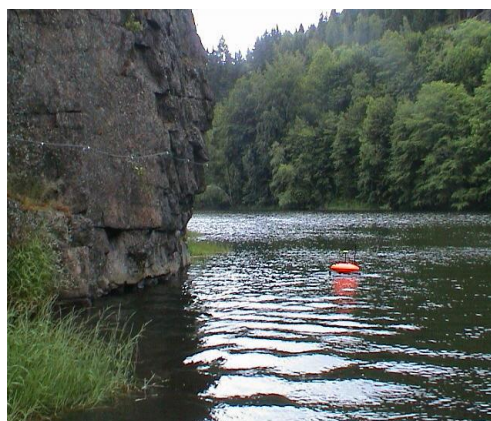


Abbildung 8: Messdurchführung

Die Sonde wurde mit einer Maximalgeschwindigkeit bis zu 30 m/min ge-schleppt, es wurde versucht den Abstand zum Grund mit 0,5 m konstant zu hal-ten.

Zur Qualitätssicherung wurden die Profile mit Wiederholung ausgeführt. Alle Daten wurden in ASCII-Werte konvertiert, die zur Auswertung herangezogen wurden.

5.2 Ergebnisse aus einer Vorsperre

Bereits die Abklingkurven der Abbildung 9 zeigen für den untersuchten Abschnitt eine starke Differenzierung.

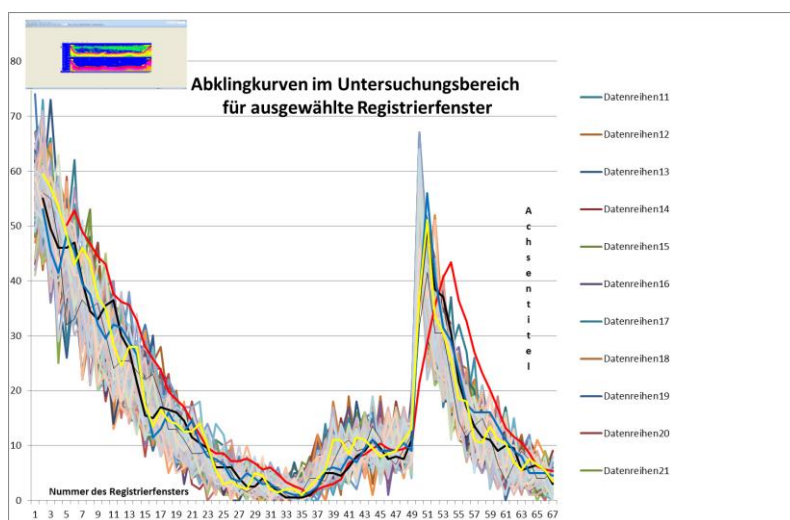


Abbildung 9: Abklingkurven

Es sind Änderungen lateral und vertikal zu erkennen, die Ablagerungen sind hauptsächlich sandig mit einer beträchtlichen Streubreite von Kies bis Ton.

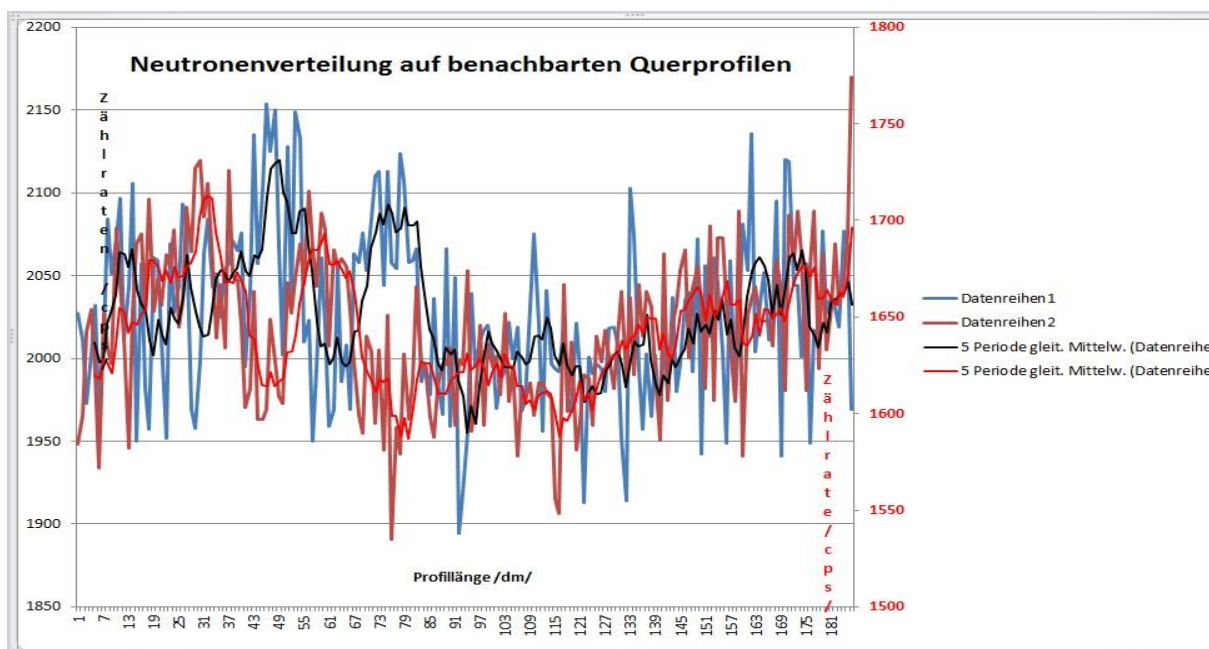


Abbildung 10: Neutronenverteilung auf Messprofilen

Die Zählraten der Abbildung 10 wurden in Mächtigkeitwerte für das Sediment konvertiert. Dafür werden die Abklingkurven herangezogen und entsprechend punktweise ausgewertet. Die Verteilungskurven der Neutronen auf Abbildung 10 sind auf Minimal- und Maximalwerte normiert, um auszugleichen, daß sich von Profil 1 zu Profil 2 die Wassertiefe geändert hatte (damit der Abstand der Sonde über Grund) und die Zählraten für Profil 2 um ca. 400 cps im Mittel tiefer lagen. Zwischen 0 und 8,1 m sind die Profile um 1,5 m versetzt, was mit dem Verlauf der Vorsperre in Verbindung steht, bei einer entsprechenden Verschiebung decken sich die Kurven. Im Weiteren korrelieren die Kurven zwischen 8,9 und 18,5 m, der positive Gradient der Zählraten steht mit der Zunahme des Sandanteiles in Verbindung. Für den Profilabschnitt der Abbildung 10 wird eine mittlere Sedimentmächtigkeit von 1,1 m ermittelt, dazu kommt eine geringverfestigte „Mischzone“ an der Oberkante von 20 cm. Das Sediment verfestigt sich mit der Ablagerungstiefe. Die sandigen Bereiche sind von dieser Konsolidierung weniger betroffen.

Erhöhte Amplitudenwerte bei 4,5 und 7,5 m auf Profil 1 (entsprechend 3,3 und 6 m auf Profil 2) signalisieren eine Entlockerung der sandigen Lagen, es werden Holzanteile vermutet, die zu Faulgasbildung (?) führen.

In naher Zukunft wird untersucht, eine Direktausgabe der Mächtigkeit zu ermöglichen, dazu eine Kartendarstellung der Ergebnisse vorzunehmen bzw. Sedimentprofile elektronisch zu erstellen.

6 Zusammenfassung

Das INN hat sich zur Sedimentuntersuchung im Aquatorium als perspektivisch erwiesen. Modelluntersuchungen und erste Freilandmessungen zeigten Potential für die Lösung praktischer Aufgaben wie Materialansprache, Mächtigkeitsbestimmung, Verteilungseigenschaften. Die Auflösung liegt im Bereich von 10-20 cm, die Eindringtiefe der eingesetzten Hardware bei 4-6 m.

Das Verfahren kann für praktische Belange genutzt werden, eine Kombination mit sonstigen Methoden ist zweckmäßig.

7 Literatur

- Buckup, K.; Buckup, M.; Buckup, P. (2013): Bericht zu INN-Messungen im Objekt Buchholz. Magdeburg, 23. Juni 2013 (unveröff.).
Buckup, K.; Buckup, M. (2008): Bericht über Impuls-Neutron-Messungen auf dem Objekt Flugplatz Giebelstadt. Magdeburg, 23.3. 2008, (unveröff.).

- Klopries, E.; Bannasch, R.; Buckup, K.; Cofalla, C.; Heller, G.; Hudjetz, S.; Schüttrumpf, H. (2015): SonarINN-Entwicklung einer Methode zur Ermittlung wirklichkeitsnaher Schichtenprofile zur Sicherstellung der Wirtschaftlichkeit von Talsperren. Tagungsband 38. Dresdner Wasserbaukolloquium 2015.
- Kobranova, V.N. (1962): Physikalische Eigenschaften von Gesteinen. Gostoptechisdat, Moskau, 1962 (russ.).
- Larionov, V.V. (1969): Radiometrie von Bohrlöchern, Verlag „Nedra“, Moskau, 1969 (russ.).

Autoren:

Dr. Klaus Buckup
Dipl.-Geophysiker Maximilian Buckup

Dipl.-Ing. Gerd Heller

Bohrlochmessungen-Dr. Buckup (DBM)
Hohenwarther Str. 2
39126 Magdeburg

GEO-DV GmbH
Hoher Weg 7
39576 Stendal

Tel.: +49 391 505715
Fax: +49 391 5057184
E-Mail: buckup@bohrlochmesser.de
me@maksim.de

Tel.: +49 3931 212797
Fax: +49 3931 794851
E-Mail: geo-dv@t-online.de

Elena-Maria Klopries, M.Sc., RWTH

Staumeister Reiner Lautenschläger

Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, RWTH Aachen University
Mies-van-der-Rohe-Straße 17
52056 Aachen

Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen
Betrieb Zwickauer Mulde/Obere Weiße Elster / TS Eibenstock
Muldenstraße
08309 Eibenstock

Tel.: +49 24180 25263
Fax: +49 24180 25750
E-Mail: klopries@iww.rwth-aachen.de

Tel.: +49 37752 6297
E-Mail: SM.Eibenstock@ltv.sachsen.de

HRB Neuwürschnitz – Lösungsansätze für den Zielkonflikt zwischen EU-WRRL und Hochwasserschutz

Matthias Höhne
Dr. Holger Haufe
Ingo Berndt
Mirko Salzmann

Bereits vor Inkrafttreten der EU-HWRM-RL 2007 wurde infolge des Hochwassers 2002 und des daraufhin durch das Sächsische Ministerium für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL) ergangenen Erlasses vom 17.03.2003 die Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen (LTV) mit der Erstellung von Hochwasserschutzkonzepten (HWSK) beauftragt. Im Ergebnis des HWSK-Nr. 27 „Mulden und Weiße Elster“ wurde bereits 2004 als Hochwasserschutzmaßnahme im Einzugsgebiet der Chemnitz die Errichtung eines Hochwasserrückhaltebeckens (HRB) an der Würschnitz bzw. am Beuthenbach südwestlich von Chemnitz empfohlen und nachfolgend geplant.

Im vorliegenden Beitrag wird der Projektverlauf zum HRB Neuwürschnitz im Spannungsfeld zwischen EU-WRRL und EU-HWRM-RL beschrieben. Beginnend mit den ersten Überlegungen zur Wahl des Standortes, den Ergebnissen der HWSK und vorbereitenden sowie begleitenden Studien in der Planungsphase wird über das Genehmigungsverfahren bis hin zur Bauausführung ein Überblick über die aufgetretenen Herausforderungen und die entwickelten Lösungen gegeben.

Nach Erteilung des Planfeststellungsbeschlusses 06/2012 begann 02/2014 der Bau des Absperrbauwerkes und der Nebenanlagen, u. a. begleitet durch eine umweltfachliche Bauüberwachung und einen Fischereisachverständigen.

Stichworte: Hochwasserrückhaltebecken, Neuwürschnitz, ökologische Durchgängigkeit, Planfeststellungsverfahren, Modellversuch

1 Einleitung

Das Absperrbauwerk des als ökologisch durchgängiges Trockenbecken geplanten HRB Neuwürschnitz besteht aus einem Steinschüttdamm mit integriertem Auslaufbauwerk. Das Auslaufbauwerk vereint dabei Stauwand, Hochwasserentlastung sowie Betriebsauslässe. Zur Gewährleistung der Durchgängigkeit für die aquatische, amphibische, terrestrische und fliegende Tierwelt sowie für das

Makrozoobenthos wurde es großzügig als nach oben offenes Durchlassbauwerk (Ökoschlucht) geplant. Das durch das Bauwerk hindurch führende Gerinne des Beuthenbaches wurde hinsichtlich der Durchwanderbarkeit für unterschiedliche Betriebszustände bemessen und umfangreich abgestimmt, um allen Anforderungen gerecht zu werden. Als Energieumwandlungsanlage wurde zur Gewährleistung der ökologischen Durchgängigkeit die Sonderkonstruktion einer Tosmulde gewählt. Die hydraulische Funktionsfähigkeit des Bauwerkes wurde schließlich im Modellversuch 2010/11 an der TU Dresden untersucht, optimiert und nachgewiesen. Mit der gewählten Lösung wurde ein Kompromiss zwischen Hochwasserschutz und den Zielen der EU-WRRL gefunden, so dass unter Berücksichtigung der geplanten Kompensationsmaßnahmen der durch das Bauwerk zu verzeichnende Eingriff in Natur und Landschaft ausgeglichen werden konnte. Weitere Details der Planung können *Haufe et al.* (2013) oder der Internetseite der LTV (www.hrb-neuwuerschnitz.de) entnommen werden.

2 Studien und Konzepte

Aufgrund des im August 2002 aufgetretenen extremen Hochwassers in den sächsischen Flussgebieten entwickelte die LTV Konzepte zum vorbeugenden Schutz vor zukünftigen Extremereignissen. Hierzu zählte neben den HWSK für den Gewässerausbau auch das „HWSK Beckenstandorte“ *HPI* (2003), in dessen Rahmen potentielle Beckenstandorte für HRB im Freistaat Sachsen recherchiert wurden. Die recherchierten Beckenstandorte wurden anhand von Kriterien (u. a. Besiedlung, Infrastruktur, Umwelt, Schutzgebiete nach EU- und nationalem Recht) grob bewertet und in Tabellen und Plänen ausgewiesen. Im Ergebnis der Studie wurden 207 Beckenstandorte ausgewiesen, von denen 99 als genehmigungsfähig eingeschätzt wurden. Schon hier wurde empfohlen, die zukünftigen HRB als Trockenbecken auszuführen, um Eingriffe in die jeweiligen Gewässerbiootope zu minimieren. Einer dieser ausgewiesenen Beckenstandorte ist der Standort für das HRB Neuwürschnitz.

Parallel zu dieser Studie wurde das HWSK Nr. 27 (*PG PROWA+IHU*, 2004) für die Chemnitz mit Würschnitz und Zwönitz erarbeitet. Im Ergebnis der Ereignisanalyse wurde festgestellt: „Aufgrund der Einzugsgebietscharakteristik (...) ist ein wirksamer Hochwasserschutz (...) nur durch Rückhaltmaßnahmen in den Entstehungsgebieten möglich. Örtliche Maßnahmen können nur lokal begrenzt einen Schutz bieten. Die Rückhaltmaßnahmen in den Hochwasserentstehungsgebieten können im Einzugsgebiet nur dezentral bei den Zuflüssen 2. Ordnung angesetzt werden und müssen mit Retentionsraumschaffung in den noch unbebauten Auenbereichen der betrachteten Gewässer 1. Ordnung kombiniert

werden.“ Diese Aussage spiegelte sich in den vorgeschlagenen Hochwasserschutzmaßnahmen für die Würschnitz wieder. Neben Empfehlungen zur Reaktivierung von Retentionsräumen wurde als wesentliche Hochwasserschutzmaßnahme für die Würschnitz der in o. g. Unterlage recherchierte Beckenstandort für das HRB Neuwürschnitz benannt. An der Würschnitz konnte somit unter Einbeziehung des HRB und nach Festlegung durchsetzbarer orts- und objektbezogener Schutzziele auf die Herstellung gewässerbegleitender Hochwasserschutzanlagen in den Ortslagen Neuwürschnitz, Niederwürschnitz, Jahnsdorf und Neukirchen verzichtet und in den Ortsteilen Harthau und Klaffenbach in Chemnitz reduziert werden. Für die benannten Ortslagen wurden alternativ zum HRB 17 Einzelmaßnahmen zur Herstellung eines vergleichbaren Hochwasserschutzes ermittelt, die einen Gewässerausbau und damit Eingriffe in Gewässerbiootope auf insgesamt 6,3 km erforderlich gemacht hätten. Bei vielen örtlichen Einzelmaßnahmen wäre damit die natürliche Ausbildung der Gewässerrandstreifen weitestgehend zerstört worden. Weiterhin kann durch Anpassungen des Steuerungskonzeptes auf zukünftig geänderte Randbedingungen, ggf. ohne erneute Eingriffe in den Gewässerverlauf reagiert und somit der Hochwasserschutz der Ortslagen langfristig gesichert werden.

In der nachfolgenden Machbarkeitsstudie (*PG PROWAtec+IHU*, 12/2005) für das HRB Neuwürschnitz wurden die bereits im HWSK ermittelten Grundlagen weiter vertieft und erste Vorschläge für die technische Lösung erarbeitet. Es wurde ein N-A-Modell erstellt auf dessen Grundlage genauere Aussagen zu Hochwasserganglinien getroffen werden konnten und anhand derer der erforderliche Staurauminhalt sowie die Einstauhäufigkeit und -dauer konkretisiert wurden. Mit der Entscheidung für ein gesteuertes HRB konnten schließlich der erforderliche Staurauminhalt und somit auch die Bauwerkshöhe und die Flächeninanspruchnahme reduziert werden. Die maximale Abgabemenge wurde auf 5 m³/s festgelegt, was etwa einem HQ5 entspricht und auch zukünftig eine Gewässerdynamik gewährleistet. In den ersten Überlegungen zur technischen Lösung wurde festgestellt, dass die Anordnung des Beckens aufgrund des Verhältnisses von Stauhöhe zu Stauvolumen nicht im ökologisch günstigeren Nebenschluss sondern im Hauptschluss erfolgen muss. Zur Gewährleistung der Durchgängigkeit wurden Varianten wie Umgehungsgerinne, Fischpässe/ -rampen und beleuchtete Grundablässe diskutiert und verworfen. Schließlich wurde ein kombiniertes Absperrbauwerk mit geschlitztem Damm für die ökologische Durchgängigkeit und einer separaten Hochwasserentlastungsanlage favorisiert. Für das Gerinne im Bereich des Absperrbauwerkes wurde bereits empfohlen, dass eine naturnahe Gestaltung und Abflussverhältnisse im ökologisch erforderlichen Bereich eingehalten werden sollen. Auch bezüglich der Lage des Bauwerks wurden in Verbindung mit einem ersten Scoping Empfehlungen zur Berücksichtigung

umweltrechtlicher Belange erarbeitet, die bei der Einpassung des Bauwerkes in Landschaftsbild und Biotopstrukturen in den nachfolgenden Planungsphasen zu berücksichtigen waren.

Im Ergebnis der Prüfung der bis zu diesem Zeitpunkt erarbeiteten hydrologischen Grundlagen wurde durch das Fachreferat 21 der LTV ein Hochwassergutachten erstellt, in dessen Ergebnis die Abflusswerte präzisiert wurden. Mit der ermittelten HQ100-Zuflussganglinie wurde die zukünftige Steuerung weiter optimiert und eine im Hochwasserfall erforderliche Abflussreduzierung auf 1,5 m³/s festgelegt. Zur Gewährleistung der Gewässerdynamik soll eine Steuerung und ein Einstau jedoch erst bei Überschreitung des HQ5 Abflusses erfolgen. Das sich aus diesen Randbedingungen zur Gewährleistung des Hochwasserschutzes ergebende erforderliche Stauvolumen wurde mit ca. 920.000 m³ ermittelt.

3 Planungs- und Genehmigungsphase

In der sich anschließenden Vorplanung wurden die bisher erarbeiteten Grundlagen und Randbedingungen berücksichtigt und mit weiteren Untersuchungen wie z. B. allgemeine Kartierungen der Biotoptypen, Flora und Fauna sowie spezifische Kartierungen zur Fischfauna und zum Makrozoobenthos unternommen.

Bei der Betrachtung der örtlichen Verhältnisse wurde herausgearbeitet, dass sich im Planungsbereich das Landschaftsschutzgebiet Beuthenbach sowie mehrere Biotope (Gewässerstrukturgüte-, Wald- und Offenlandbiotop) befinden. Ein wesentliches Ziel der Vorplanung war daher die Optimierung des Bauwerkes hinsichtlich kleinstmöglicher Bauwerkslänge und geringstmöglicher Flächenbeanspruchung. Um weiterhin den Eingriff in Natur- und Landschaftsbild so gering wie möglich zu halten bzw. um eine gute Einpassung in das Landschaftsbild zu gewährleisten, wurden Varianten mit Staumauern oder Dämme mit Oberflächendichtung von vornherein ausgeschlossen, so dass ausschließlich Dammbauwerke mit Rasenansaat infrage kamen.

Eine weitere grundsätzliche Festlegung bei der lagebezogenen Variantenuntersuchung war, dass das Bauwerk möglichst nah an der nördlich angrenzenden Bundesautobahn A72 liegen sollte, da diese bereits eine anthropogene Überprägung des Landschaftsbildes erzeugt. Zu berücksichtigen waren weiterhin Nebengewässer, Zuflüsse, Waldflächen, Acker- und Grünlandflächen, archäologische Verdachtsflächen, eine 110 - kV - Leitung, eine Trinkwasserfernleitung DN 1200 und insbesondere die vorhandenen Gewässerstrukturgüte-Biotop. Zur Reduzierung der Eingriffslänge in den naturnahen Bachlauf wurde eine orthogonale Anordnung des Absperrbauwerkes zum Gewässer angestrebt sowie unter

Berücksichtigung der Durchgängigkeit für terrestrische Lebewesen die Dammböschungsneigung gegenüber der bisher verfolgten Neigung von 1:3 auf 1:2 angepasst. Zur Gewährleistung der Durchgängigkeit für terrestrische Lebewesen wurde weiterhin festgelegt, dass die Dammoberfläche mit Rasenansaat und die zugehörigen Betriebs- und Wirtschaftswege mit ungebundener Deckschicht ausgeführt werden sollen.

Auf Basis der genannten Randbedingungen wurden Variantenbetrachtungen zur Lage, zur Betriebsform (Steuerung, Betriebsweise, Pegelmessung), zum Absperrbauwerk (Dammbauwerk), zu den Betriebseinrichtungen (Energieumwandlungsanlage, Betriebsauslass, Grundablass, ökologischer Durchlass, Hochwasserentlastung sowie geschlossene, halboffene und offene Bauweise), zum Stahlwasserbau (Art, Antrieb, Steuerung) und zur Wegeföhrung durchgeföhrt. Hinsichtlich Steuerung und Betriebsweise wurden die bereits genannten Randbedingungen als Vorzugsvariante beibehalten. Die Variante zum Absperrbauwerk bzw. Dammbauwerk (homogener Damm, Damm mit geneigter bzw. mit zentraler Innendichtung) hatten keine Auswirkungen auf die ökologischen Belange. Bei den Betrachtungen zu den Betriebseinrichtungen wurden im Besonderen die Aspekte der ökologischen Durchgängigkeit beachtet und für aquatische Lebewesen ein Betriebsauslass im Bereich des Gerinnes und für terrestrische Lebewesen ein Betriebsauslass in Höhe der Gewässerberme vorgesehen. Bei der Energieumwandlungsanlage wurde ein möglichst minimaler Verbau mit geringstmöglicher Eintiefung und Aufweitung angestrebt, um negative Auswirkungen hinsichtlich Veränderungen in Wassertiefe, -temperatur, Fließgeschwindigkeit und Sedimentation zu minimieren und die Sonderlösung einer Tosmulde gewählt, deren Wirksamkeit in einem späteren Modellversuch nachzuweisen war. Um die Randbedingungen für die ökologische Durchgängigkeit des Gerinnes im Bereich des Absperrbauwerkes zu gewährleisten, wurde eine durchgängige raue Sohle mit gewässertypischem Sohlsubstrat und Gefälle gewählt und mit der Fischereibehörde vorabgestimmt. Die Betriebseinrichtungen wurden in das zentrale Auslaufbauwerk integriert. Für dieses Auslaufbauwerk wurde als Vorzugsvariante die offene Bauweise als Ökoschlucht mit Stauwand herausgearbeitet, da eine solche bei den vorgegebenen Bauwerksabmessungen gerade noch umsetzbar ist und den bestmöglichen Lichteinfall im Bereich des Absperrbauwerkes gewährleistet. Zur Optimierung des Lichteinfalls wurde eine lichte Breite der Ökoschlucht von 6,6 m gewählt und die Flügelwände ober- und unterwasserseitig aufgeweitet. Unter Berücksichtigung der DIN 19700 Teil 12 wurde auf eine zweite Verschlussebene verzichtet, so dass die Unterbrechung der Sohlstruktur im Bereich der Verschlüsse minimiert werden konnte. Auf eine Rechenanlage wurde zur Gewährleistung der Durchgängigkeit ebenfalls verzichtet und alternativ der Bau einer Wildholzsperrre geplant.

Die bisherigen Planungsergebnisse wurden in der Entwurfs- und Genehmigungsplanung bestätigt und insbesondere die technische Lösung weiter unter setzt. Bezüglich der ökologischen Durchgängigkeit des geplanten Bauwerkes wurden Anpassungen hinsichtlich des Lichteinfalles durch Verlängerung der Aufweitung auf 16 m vorgenommen und das Gerinne im Bereich des Absperrbauwerkes als Raugerinnebeckenpass mit einer Beckenlänge von 2 m weiter beplant. Die Querriegel des Beckenpasses erhielten wechselseitig Schlitze, so dass sich ein mäandrierender Abfluss einstellt.

Parallel zur Planung wurde ein hydraulischer Modellversuch im Hubert-Engels-Labor des Institutes für Wasserbau und Technische Hydromechanik der TU Dresden durchgeführt. Im Ergebnis des Modellversuches wurden die Abmessungen der Tosmulde sowie die Form und Anordnung der Querriegel des Beckenpasses optimiert und sämtliche Betriebseinrichtungen hydraulisch optimiert und nachgewiesen. Aufgrund der festgestellten hohen Fließgeschwindigkeiten und der damit einhergehenden hohen Sohlbelastungen wurde die Befestigung der Sohle als Steinsatz in Beton gewählt. Zur Gewährleistung der Durchgängigkeit für das Makrozoobenthos bzw. des Sohlsubstrats wurde der Steinsatz mit 20 cm tiefen und ausreichend breiten Fugen geplant, in denen sich das Sohlsubstrat ablagern kann. Aufgrund des geringen Niedrigwasserabflusses von lediglich 25 l/s ist die Durchgängigkeit des Gewässers im natürlichen Verlauf stark eingeschränkt, so dass bei natürlichen Sohlbreiten von 1 bis 1,5 m lediglich Wasserstände von 7 bis 10 cm verbleiben. In Anlehnung an diese Randbedingungen wurde die Niedrigwasserrinne für den Abflusspegel mit einer Sohlbreite von 50 cm und mit Nullgefälle geplant, um hier eine bestmögliche ökologische Durchgängigkeit zu gewährleisten.

Zur Optimierung der Gehölze im Stauraum wurde ein Waldgutachten erstellt, in dessen Ergebnis ein Waldumbau für die hier vorhandenen Waldflächen vorgesehen wird. Ziel des standortbezogenen Waldumbaus ist die Ansiedlung verschiedener, für Gewässerauen typischer Baumarten (Schwarzerle, Gemeine Esche und Stieleiche). Weiterhin erfolgen im Stauraum Nutzungsumwandlungen der vorhandenen Ackerflächen in Grünlandgesellschaften zur Förderung der Arten- und Strukturvielfalt, Nutzungsextensivierungen intensiv bewirtschafteter Auenwiesen und -weiden sowie die Anlage von Heckenstrukturen. Innerhalb des temporären Baufeldes wurde ebenfalls die Anlage bzw. Aufforstung von Auwaldstrukturen vorgesehen.

Die bereits im Rahmen der Vorplanung recherchierten, nicht mehr genutzten Quellfassungen (flächenhaft verteilte Schächte und Sickerleitungen zur Trinkwasserversorgung) entlang des Beuthenbaches werden im Rahmen einer Strukturverbesserungsmaßnahme verwahrt, um mögliche Verunreinigungen des

Grundwasserkörpers durch Versickerungserscheinungen in diesen Einrichtungen im Einstaufall ausschließen zu können.

Durch definierte Nebenbestimmungen des 2012 ergangenen Planfeststellungsbeschlusses (PFB) wurden geringfügige Anpassungen der Planungslösungen erforderlich, die in die Ausführungsplanung einzuarbeiten waren. Zur Optimierung der Durchgängigkeit waren das Gerinne des Abflusspegels als Raugerinne auszuführen und das Raupflaster bis unmittelbar an den Aufsetzbereich des Gleitschützes heranzuführen. Weiterhin wurden für die Bauphase eine umweltfachliche Bauüberwachung (UBB) gefordert sowie Auflagen zur Bergung des Fischbestandes vor Baubeginn erteilt.

Die Forderung das Gerinne mit versetzten Störsteinen statt mit geschlitzten Querriegeln auszuführen, erwies sich aufgrund der geringen Niedrigwasserabflüsse als nicht umsetzbar. Die Ausführung des Gerinnes bzw. der Querriegel des Beckenpasses wurden daher im Rahmen der Ausführungsplanung mit einem Fischereisachverständigen (FSV) abgestimmt. Ursprünglich waren dafür aufgrund der geringen Niedrigwasserabflüsse sowie zur Vereinfachung des Bauablaufes bzw. der Querriegelherstellung Betonfertigteile vorgesehen. Diese wurden seitens des FSV abgelehnt und durch Steinriegel ersetzt. Um die erforderliche Qualität abzusichern wurde mit dem FSV vereinbart, dass Herstellung und Abnahme der Steinriegel durch ihn überwacht werden. Die Abmessungen der Riegel mussten zwingend beibehalten werden, um die Randbedingungen für die im Modellversuch nachgewiesene Energieumwandlungsanlage unverändert zu gewährleisten. Eine Besonderheit stellen die im Raupflaster der Gerinnesohle vorzusehenden Haltesteine für das Sohlsubstrat dar, die günstigere Bedingungen für das Makrozoobenthos schaffen sollen.

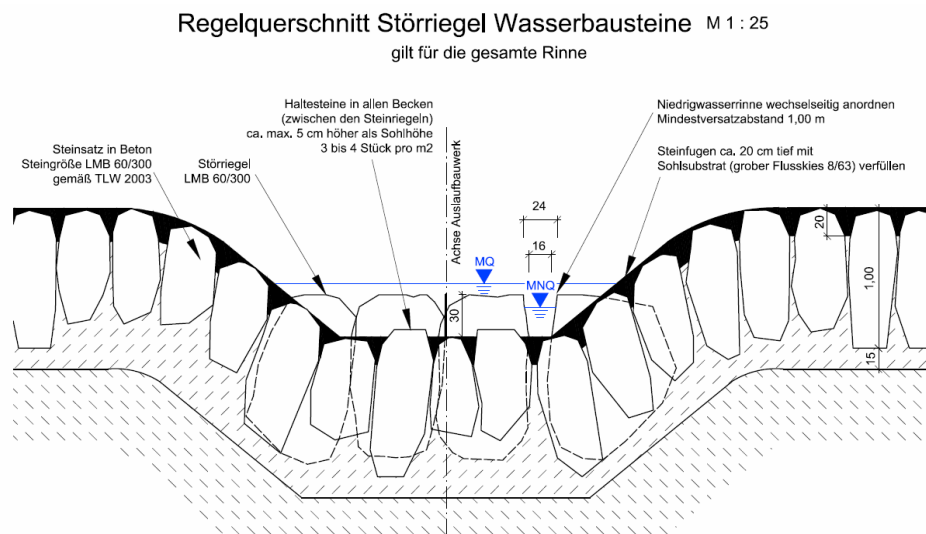


Abbildung 1: HRB Neuwürschnitz, Regelquerschnitt Störriegel (ARGE HPI ARCADIS)

4 Bauausführung

Nach Durchführung des Ausschreibungsverfahrens im September 2013 erfolgte im Februar 2014 der Baubeginn. Als vorbereitende und begleitende Maßnahme wurde das Bachbett und später das Gerinne der Gewässerumleitung durch LTV, UBB und FSV wiederholt abgefischt und abgesammelt. Nach Hinweis der UBB war diese Maßnahme auch nach der Winterpause und ggf. nach einem Hochwasser für die gefluteten Baugruben erforderlich. Das Absammeln der Edelkrebse war aufgrund ihrer Empfindlichkeit ohne Strom vor der Elektrofischung durchzuführen. Dabei wurden Fische und ca. 1.500 Edelkrebse in einen unterhalb des Baufeldes befindlichen Gewässerabschnitt umgesetzt. Für das Absammeln/ Abfischen wurden innerhalb der Fischschonzeiten Ausnahmeanträge gestellt und jeweils ca. 2 bis 5 Tage benötigt. Zum Schutz der im Baufeld vorhandenen Gewässerabschnitte/Kolke wurden Bautabuzonen eingerichtet.

Die Gewässerumleitung erfolgte mit den rückgebauten Rohren DN 1200 der Trinkwasserfernleitung. Diese mussten auf Grund der bituminösen Innenbeschichtung mit einer Höchstdruckwasserstrahlreinigung gereinigt werden, um die Innenbeschichtung zu entfernen und eine Gewässerverschmutzung zu verhindern.

Eine besondere Herausforderung stellte aufgrund des anhaltenden Niedrigwassers die Bauwasserreinigung dar. Diese bestand aus Leichtflüssigkeitsabscheider, Neutralisations- und mehreren Sedimentationsbecken und diente der Überwachung von Leitfähigkeit, Sauerstoffsättigung, pH-Wert und Trübungsgehalt vor Wiedereinleitung in das Gewässer. Aufgrund der geringen Wasserführung des Beuthenbaches konnte der durch die UBB geforderte Trübungsgehalt von < 10 mg/l nicht eingehalten werden, was für den Gewässerlebensraum als äußerst problematisch eingeschätzt wurde. Der Bauwasserreinigungsanlage musste ein zusätzliches Kies-Sand-Filterbecken nachgeschaltet werden, um die gütehaushaltlichen Anforderungen an die Ableitung der Bauwässer zu erfüllen.

Für die Herstellung des Raugerinnes und der Querriegel wurde eine Probefläche angelegt und durch UBB/ FSV begutachtet. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse dieser Probefläche und unter Begleitung der UBB/ FSV wurden später die ersten Abschnitte des Raugerinnes hergestellt. Um bei Niedrigwasser einen ausreichenden Wasserstand im Pegelmessgerinne zu gewährleisten, wurde daran anschließend bzw. in der nachfolgenden Anpassungstrecke nach Vorgaben des FSV das Gerinne mit muldenförmiger Vertiefung ausgeführt und durch zusätzliche ergänzte Störsteine diversifiziert. Nach Fertigstellung des Raupflasters und der Querriegel wurde in das Gerinne Sohlssubstrat eingebracht, so dass die Durchgängigkeit möglichst frühzeitig nach Inbetriebnahme wiederhergestellt ist.

Mit Fertigstellung des Gerinnes konnten der Rückbau der Gewässerumleitung und die Inbetriebnahme des Gerinnes erfolgen. Durch die anhaltenden Niedrigwasserverhältnissen im Beuthenbach im Sommer 2015, wurde jedoch eine Nichteinhaltung des geforderten pH-Grenzwertes befürchtet. In das fertiggestellte Gerinne wurde daher über die Dauer von zwei Wochen Wasser zur Neutralisation eingeleitet und über die Bauwasserreinigungsanlage wieder aufbereitet bevor die eigentliche Anbindung an das vorhandene Gewässer erfolgte.

Bereits im Rahmen dieser Neutralisation wurde durch UBB und FSV für die ausgebaute Gewässerstrecke festgestellt, dass damit die gestellten Anforderungen erfüllt und eine hohe Strömungsdiversität erreicht wurde.



Abbildung 2: Bauzustand HRB Neuwürschnitz, Auslaufbauwerk, Tosmulde, Querriegel (ARGE HPI ARCADIS, 10/2015)

5 Fazit

Das HRB Neuwürschnitz als erstes mittleres HRB mit Ökoschlucht in Sachsen befindet sich seit 02/2014 im Bau, wobei die Elemente zur ökologischen Durchgängigkeit weitestgehend hergestellt sind. Nach der geplanten Fertigstellung im 3. Quartal 2016 wird das HRB einen signifikanten Beitrag zum Hochwasserschutz der Gemeinden entlang der Würschnitz und im weiteren Verlauf bis nach Chemnitz leisten sowie gleichzeitig die ökologische Durchgängigkeit gewährleisten. Das vorgestellte Projekt kann als ausgewogener Kompromiss zwischen

wasserbaulichen Erfordernissen und ökologischen Forderungen angesehen werden.

Bei der Planung wurde besonderer Wert auf die Einhaltung der Forderungen der EU-WRRL bzw. auf mögliche Verbesserungen des ökologischen Gewässerzustandes im Sinne der EU-WRRL gelegt. Dabei ist klar, dass dies in bestimmten Bereichen (Auslaufbauwerk, Tosbecken, Pegel) objektbedingt nur mit Kompromissen möglich war.

6 Literatur

- HPI (2003): HWSK Beckenstandorte - Erfassung bekannter / potentieller Beckenstandorte für den technischen Hochwasserschutz (unveröffentlicht).
- PG PROWA+IHU (2004): HWSK Nr. 27, Mulden und Weiße Elster im Regierungsbezirk Chemnitz – Los 3 – Chemnitz mit Würschnitz und Zwönitz.
- PG PROWAttec+IHU (2005): Machbarkeitsstudie für das Hochwasserrückhaltebecken Neuwürschnitz zur Umsetzung HWSK Nr. 27 (unveröffentlicht).
- ARGE HPI ARCADIS (2008): Planungsunterlagen zu den Leistungsphasen 1 bis 7 Neubau HRB Neuwürschnitz, HWSK Nr. 27 Maßnahme 1.7 (unveröffentlicht).
- Haufe et al. (2013): Hochwasserrückhaltebecken Neuwürschnitz – Stand der Planung für ein mittleres HRB mit Ökoschlucht, Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen Heft 48.

Autoren:

Dipl.-Ing. Matthias Höhne

Dr.-Ing. Holger Haufe

Lahmeyer Hydroprojekt GmbH
Ludwig-Hartmann-Straße 40
01277 Dresden

Lahmeyer Hydroprojekt GmbH
Ludwig-Hartmann-Straße 40
01277 Dresden

Tel.: +49 351 21123 22
Fax: +49 351 21123 88
E-Mail: ho@hydroprojekt.de

Tel.: +49 351 21123 0
Fax: +49 351 21123 88
E-Mail: hh@hydroprojekt.de

Dipl.-Ing. Ingo Berndt

Dipl.-Ing. (FH) Mirko Salzmann

ARCADIS Deutschland GmbH
Wallstraße 18
09599 Freiberg/Sachsen

Landestalsperrenverwaltung
des Freistaates Sachsen
Rauenstein 6a
09514 Pockau - Lengefeld

Tel.: +49 3731 7886 31
Fax: +49 3731 7886 99
E-Mail: ingo.berndt@arcadis.com

Tel.: +49 37367 310 103
Fax: +49 37367 310 130
E-Mail: mirko.salzmann@ltv.sachsen.de

Kohärenzmaßnahme zum HRB Straßberg

Franka Ludwig
Andreas Rudolf

An der Selke bei Straßberg wird durch den Talsperrenbetrieb Sachsen-Anhalt ein Hochwasserrückhaltebecken (HRB) geplant. Durch den Bau sind erhebliche Beeinträchtigungen von Schutzzielen des FFH-Gebietes „Selketal und Bergwiesen bei Stiege“ nicht auszuschließen. Die im Zuge der erforderlichen Kohärenzmaßnahme zu ersetzenden Verluste von Strukturen bzw. Funktionen des Naturhaushaltes bedingen spezifische Anforderungen an den Standort. Ausgehend hiervon erfüllte lediglich ein Abschnitt der Selke bei Gatersleben diese Anforderungen. Gegenstand der Planung ist die Revitalisierung von Flussbett und Auenkorridor. Ziel ist die Entwicklung vielfältiger Lebensraumstrukturen in naturnahen Fließgewässerstrecken für die Fischgemeinschaft der Äschenregion (insb. Groppe, Bachneunauge) im Zusammenhang mit der Entwicklung der FFH-Lebensraumtypen Auwald und magere Flachland-Mähwiesen.

Stichworte: Gewässerrenaturierung Selke, Kohärenzmaßnahme

1 Planungsanlass / -ziel

Hochwasserereignisse an der Selke in Sachsen-Anhalt verursachten in der Vergangenheit immer wieder großräumige Überflutungen und hohe Schäden. Zur Kappung der Hochwasserspitze zukünftiger Hochwasserextremereignisse ist im Bereich Straßberg ein Hochwasserrückhaltebecken (HRB Straßberg) geplant. Das HRB Straßberg ist Bestandteil der Liste mit prioritären, überregional wirkenden Hochwasserschutzmaßnahmen des Nationalen Hochwasserschutzprogramms (NHWSP). Das Bundesumweltministerium hat gemeinsam mit den für den Hochwasserschutz zuständigen Ländern diese Liste erarbeitet, die am 24. Oktober 2014 beschlossen wurde.

Die Planungen für das HRB Straßberg werden durch den Talsperrenbetrieb Sachsen-Anhalt (TSB) geführt, der Vorhabensträger und künftiger Betreiber des HRB ist.

Mit dem Bau HRB werden Eingriffe in Natur und Umwelt verbunden sein, u. a. erhebliche Beeinträchtigungen von Schutzzielen des FFH-Gebietes DE 4332-302 „Selketal und Bergwiesen bei Stiege“. Die Maßnahme an der Selke ist nach

Art. 6 Abs. 4 der FFH-Richtlinie zur Wahrung der Kohärenz (des Zusammenhangs) des Schutzgebietsnetzes Natura 2000 vorgesehen, um negative Folgen auf dieses Schutzgebietsnetz, die aus der Planung zum Bau des HRB Straßberg resultieren, ausgleichen zu können.

Mit der Maßnahme an der Selke sind knapp 1 ha naturnahe Lebensraumstrukturen in naturnahen Fließgewässerstrecken für die Fischgemeinschaft der Äschenregion, insbesondere für Groppe und Bachneunauge zu entwickeln, einschließlich des FFH-Lebensraumtyps Flüsse der planaren bis montanen Stufe. Weiterhin sind ca. 5 ha des prioritären FFH-Lebensraumtyps Auwald und knapp 1 ha des FFH-Lebensraumtyps mageren Flachland-Mähwiesen neu zu schaffen.

2 Begründung der Standortwahl

Die Inhalte der Kohärenzmaßnahme sind qualitativ wie quantitativ ausschließlich an den beeinträchtigten FFH-Schutzziele des FFH-Gebiets DE 4332-302 „Selketal und Bergwiesen bei Stiege“ auszurichten. Damit bedingen die zu ersetzenden Verluste von Strukturen und Funktionen des Naturhaushaltes spezifische Anforderungen an den Maßnahmenstandort:

- wasserbaulich überprägter, in seiner natürlichen Dynamik eingeschränkter Gewässerabschnitt der Salmonidenregion mit strukturellen Defiziten,
- unbebaute, nicht mit standortgerechten Biotopen bestandene Flächen,
- die potenzielle natürliche Vegetation muss die Eignung zur Wiederherstellung bzw. Neubegründung des prioritären FFH-LRT 91E0* (Auwald) ermöglichen,
- wenige naturschutzfachliche Zielkonflikte,
- Lage im Außenbereich ohne besondere Erfordernisse zum HW-Schutz,
- Lage in/an einem bestehenden Schutzgebiet des Netzes Natura 2000.

Im Vorfeld wurden insgesamt vier Standortalternativen an Bode und Selke auf die Erfüllung der o.g. Anforderungen hin geprüft, jedoch erfüllte nur der Standort bei Gatersleben alle oben angeführten Einzelkriterien.

3 Bestandsbeschreibung

Das Vorhabensgebiet liegt im nördlichen Harzvorland in der Gemeinde Seeland, im Salzlandkreis (Bundesland Sachsen-Anhalt). Die Selke durchfließt in dem für das Vorhaben betroffenen Bereich die Gemarkungen Gatersleben. Sie ist ein Gewässer I. Ordnung und mündet bei Hedersleben in die Bode, die ihrerseits in

die Saale mündet. Der Durchfluss der Selke bei Mittelwasser im Bereich Gatersleben liegt bei etwa 1,7 m³/s. Das Einzugsgebiet für den Kompensationsbereich umfasst eine Fläche von ca. 290 km². Der unmittelbare Lauf der Selke im Maßnahmensgebiet mit einer Länge von ca. 2 km, liegt zwischen der Querung der B6n und Gatersleben und gehört dem europäischen Schutzgebietsnetz Natura 2000 an (FFH-Gebiet DE 4133-301 „Bode und Selke im Harzvorland“).

Gemäß Gewässerbericht (*LHW*, 2011) gehört die Selke zum LAWA-Fließgewässertyp 7 – grobmaterialreiche, karbonatische Mittelgebirgsbäche. Dieser Fließgewässertyp ist dem Fischgewässertyp der Äschenregion, dem Hyporhithral, zuzuordnen (*Pottgiesser und Sommerhäuser*, 2008).

Die Aue im Vorhabensbereich stellt sich relativ monoton dar. Zwischen der querenden B6n und der Ortslage Gatersleben ist das Gelände überwiegend flach. Die Ebene wird als großflächiger Acker genutzt, die nur durch die Selke mit ihrem zumeist galerieartigen Auwald als landschaftsbildprägendes Element durchbrochen wird.

Die Selke verläuft im Planungsgebiet gestreckt und liegt bis 2,50 m unter dem Gelände. Steile Uferabbrüche wechseln mit kleineren Bereichen flacherer Böschungen bzw. Relikten eines gebauten Trapezprofils. Die Ufer weisen einen zumeist nur 3-5 m breiten Uferstreifen auf, der fast durchgehend mit standortgerechten Ufergehölzen bestanden ist. Auf der linken Uferseite liegt ein 1,60 m breiter, asphaltierter Radweg unmittelbar im Uferstreifen.

Die Gewässerstruktur nach Gewässerbericht (*LHW*, 2011) wird mit „6 - sehr stark verändert“ beschrieben. Der chemische Zustand in der Bewertung nach WRRL-VO LSA ist mit „gut“ bewertet worden.

Unterhalb des Gebiets befindet sich ein bewegliches Wehr mit Bediensteg, das den Wasserstand für den rechtsseitig im Oberwasser abzweigenden Speisungsgraben eines Stauteiches reguliert. Im Zuge von Instandsetzungsarbeiten wurde ein Schlitzpass gebaut, der die Durchgängigkeit für die aquatische Fauna sicherstellt.

4 Art und Umfang der Maßnahme

4.1 Planungsgrundsätze

Ziel ist die Schaffung der erforderlichen FFH-Lebensräume als Kohärenzmaßnahme für das HRB Straßberg. Damit sollen im Zuge der Renaturierung des Selkeabschnittes vor allem die natürlichen, morphologischen Strukturen der Selke und ihrer Aue verbessert werden, um die FFH-LRT Auwald und Flach-

land-Mähwiese sowie Fließgewässer der planaren bis montanen Stufe im geforderten Umfang wieder herzustellen und das Habitatangebot im Gewässer für die FFH-Arten Bachneunauge und Groppe zu verbessern.

Weiterhin sind die Nutzung der angrenzenden Flächen und die Hochwasserneutralität für den Ort Gatersleben zu erhalten. Um dies nachzuweisen, wurde eine zweidimensionale Wasserspiegellagenberechnung durchgeführt.

4.2 Herleitung des Flächenbedarfs

Aufgrund historischer Luftbilder mit dem ursprünglichen Verlauf der Selke sowie zur Minimierung der Flächeninanspruchnahme wurde nur die linke Ufer-/Auenseite der Selke betrachtet.

Die Luftbilder sowie angrenzende, naturnahe Strecken der Selke ließen einen gewundenen bis leicht mäandrierenden Gewässerlauf erkennen. Die natürliche Struktur des Gewässers ist vor allem abhängig von der Talform und dem Talbodengefälle, der Beschaffenheit der bettbildenden Substrate und dem Geschiebeaufkommen sowie der Häufigkeit hydrologischer Extremereignisse.

Zusätzlich zu den wasserbaulichen Randbedingungen, welche die natürliche Gerinnegestaltung und Laufkrümmung vorgeben, sind die Vorgaben aus dem Leitbild des Fließgewässertyps 7 zu beachten:

- Der Entwicklungskorridor für eigendynamische Entwicklung des Gewässers sollte mindestens 18 m betragen und
- der Gewässerrandstreifen >25-50 m.

Für die Planung der Uferbereiche am neuen Gewässerlauf der Selke wird daher ein Entwicklungskorridor von 25 m gewählt.

Zusätzlich muss bei der Planung des neuen Gerinnes ein ausreichender Abstand zum Altlauf eingehalten werden, um zu verhindern, dass ein Durchbruch zum strukturarmen und begradigten Altlauf erfolgt.

Im Ergebnis der zu beachtenden Randbedingungen ergab sich für die Planung ein zur Verfügung zu stellender Raum von ca. 160 m Breite linksseitig des bestehenden Gewässerlaufs der Selke. In diesem können sowohl der neue Gewässerlauf mit einer naturnahen Laufkrümmung, als auch die Forderungen nach einem beidseitig benötigten Gewässerrandstreifen und der notwendige Abstand zum Altlauf umgesetzt werden. Die damit zur Verfügung stehenden Aueflächen bieten zudem ausreichend Platz, um die geforderten Flächengrößen der entsprechenden FFH-LRT im Hinblick auf den geforderten Kohärenzausgleich zu entwickeln.

4.3 Renaturierung des Gewässerlaufs Selke

Mit wasserbaulichen Maßnahmen wird ein neues Initialgerinne in der linken Aue vorgegeben. Damit erfolgt eine Konzentration auf die Initiierung und lenkende Unterstützung des natürlichen morphologischen Entwicklungspotentials des Gewässers, ohne eine dauerhafte Linienführung im Entwicklungskorridor vorgeben zu wollen.

Als Leitbild für die Querprofilgestaltung sollten sich breite und möglichst flache Querprofile mit Engstellen abwechseln, um v. a. die verschiedenen Ansprüche der zu fördernden Fischarten Groppe und Bachneunauge umsetzen zu können. Dabei werden Kolke mit tieferen Wasserständen ebenso benötigt wie flach überströmte Bereiche. Die geplante Sohlbreite variiert daher zwischen 3 m und 10 m, die Breite des Gewässerprofils insgesamt (Böschungsoberkante zu Böschungsoberkante) liegt zwischen 20 m und 50 m. Um einen ausreichenden Wasserstand trotz Aufweitung der Profile zu gewährleisten, wird teilweise eine Niedrigwasserrinne vorgesehen, die sich am Prallhang befindet und eine Breite von maximal 2 m und eine Tiefe von ca. 40 cm aufweist.

Das neu auszuformende Gerinne wird nur teilweise und nur mit Kornfraktionen und Gesteinsarten versehen, die auch im natürlichen Geschiebeaufkommen der Selke vorhanden sind. Die Verlegung des Gerinnes ist nur in einigen Abschnitten in das derzeit verfüllte, ursprüngliche Gewässerbett möglich. Daher ist es zwar wahrscheinlich, dass bei den Aushubarbeiten das typische Sohlmaterial zu Tage kommt, zusätzlich muss aber Sohlmaterial beschafft werden. Dieses sollte vorrangig aus Unterhaltungsmaßnahmen an der Selke im Nahbereich genommen werden.

Die Gestaltung der Querprofile, hier v.a. die stark aufgeweiteten Profile, werden im Zuge der Ausführungsplanung in Zusammenarbeit mit einem Fischereibiologen auf die Bedürfnisse der Zielarten weiter präzisiert.

Mit diesen Maßnahmen wird sich perspektivisch ein naturnaher Gewässerlauf ausbilden, der den zur Verfügung stehenden Entwicklungskorridor für eigendynamische Prozesse nutzt. Dieser Korridor muss langfristig verfügbar sein und wird in Teilen allmählich vom Gewässer umgeformt. Regelmäßige Kontrollen werden jedoch notwendig, um die eigendynamische Entwicklung der Selke zu überwachen und ggf. entgegenzusteuern, sollten die Grenzen des Entwicklungskorridors erreicht werden.

Das geradlinige Gerinne des Altlaufes bleibt mit seinen Ufergehölzen als Hohlform bestehen und wird künftig nur temporär durchströmt. Geplant ist eine Durchströmung erst oberhalb des Mittelwassers. Hierfür ist im unmittelbaren

Abzweig vom alten Selkeverlauf eine Überlaufschwelle in Form einer gesicherten Verwallung geplant, deren Höhe bei ca. 1 m liegt.

Im Bereich der Mündung in den Altlauf, oberhalb des Wehres Gatersleben, sind im rechten Uferbereich des Altlaufes sowie an der entstehenden Landzunge auf dem linken Ufer Sicherungen mit Wasserbausteinen vorgesehen. Diese Bereiche sollen zusätzlich mit standortgerechten Sohlssubstrat aufgefüllt und ggf. mit Weidensteckhölzern bepflanzt werden.



Abbildung 1: Links: Planung mit neuem, gewundenem Gewässerlauf, variierenden Gerinnebreiten, Auwald (dunkelgrün) und Flachland-Mähwiese (hellgrün), Rechts: historischer, verfüllter Gewässerlauf in der linken Aue sichtbar, welcher auf Grund der Notwendigkeit zur Minimierung der Flächeninanspruchnahme nicht vollständig revitalisiert werden konnte

4.4 Hydraulische Berechnungen zum Nachweis der Hochwassersicherheit

Die Berechnungen wurden für zwei hydrologische Zustände erbracht, dem HQ100 Ist-Zustand mit HRB Straßberg im Oberlauf und dem Bemessungsabfluss HWS Gatersleben mit 30 m³/s.

Im Zuge der Ergebnisse der hydraulischen Berechnungen musste die Planung angepasst werden, da der Abgleich der Höhenlinien mit der Wasserspiegellage beim Bemessungsabflusses von 30 m³/s zeigte, dass im Hochwasserfall Teilbereiche des Radweges überflutet würden und damit zusätzlich Wasser in die Ortslage Gatersleben von Südwesten her einströmen könnte. Der Radweg, einschließlich des westlich anschließenden Blühsteifens, wird daraufhin stellenweise bis zu 70 cm erhöht. Nach dieser Anpassung der Planung wird eine Verschlechterung der Überschwemmungssituation für den Ort Gatersleben im Planzustand bei einem Bemessungsdurchfluss von 30 m³/s nach jetzigen Erkenntnissen und Berechnungen ausgeschlossen.

Im zu betrachtenden Hochwasserfall eines hundertjährigen Hochwassers wurde ersichtlich, dass im Ist-Zustand sowohl die linke, als auch die rechte Aue großflächig überströmt werden.

Im Plan-Zustand der Maßnahme wird die Überflutung in der linken Aue reduziert. Damit wird sowohl der westlich angrenzende Acker, als auch der westliche Teil von Gatersleben im Vergleich zum Ist-Zustand weniger überflutet. Hier wird die Hochwassersituation verbessert. In der rechten Aue bleibt die Überschwemmungssituation im Vergleich zum Ist-Zustand weitgehend unverändert.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Anforderungen an die Planung bzgl. Hochwasserneutralität erfüllt und durch die hydraulischen Berechnungen nachgewiesen wurden.

4.5 Freiflächengestaltung

Die Gestaltung der Freiflächen folgt den Erfordernissen zur Umsetzung des Kohärenzbedarfs aus der Planung zum HRB Straßberg. In Übereinstimmung mit der Karte der potentiellen natürlichen Vegetation (LAU, 2000) wird der Auwald entlang des neuen Gerinnelaufes der Selke und im Anschluss an den bestehenden Auwald entlang des Altlaufes angelegt, um einen möglichst großen und zusammenhängenden Waldbereich zu schaffen. Die Uferböschungen des neuen Selkelaufes werden zum Teil mit Arten des Auwaldes bepflanzt oder mit einer Regiosaat Ufermischung angesät, größere Teilbereiche bleiben jedoch auch als Sukzessionsflächen erhalten. Hier kann eine natürliche Entwicklung von Uferstandorten erfolgen, wie dies im dynamischen Ufer-/Auenbereich von Fließgewässern in Folge von Hochwasserereignissen immer wieder regelmäßig erfolgt

(Rohbodenstandorte). Die sich zumeist westlich an den Auwald anschließenden Wiesen werden mit einer Regiosaart Flachland-Mähwiese angesät und sind extensiv zu pflegen.

Im Bereich der angedachten Sukzessionsflächen sind zudem zwei Mulden geplant mit einer Tiefe von maximal 50 cm. Sie sind als Vernässungsbereiche gedacht und sollen der Sukzession überlassen werden.

An den im Zuge der Maßnahme zu verlegenden Radweg wird sich westlich ein 4 m breiter Blühstreifen anschließen (Forderung aus dem Artenschutzrechtlichen Fachbeitrag). Er ist dauerhaft als extensives, blütenreiches Grünland zu erhalten.

4.6 Verlegung Europaradweg R1

Im Gewässerrandstreifen des linken Ufers am Altlauf der Selke befindet sich ein asphaltierter Radweg (Europaradweg R1) mit einer Breite von 1,6 m. Verbleibt der Radweg innerhalb der Flächen des zukünftigen Entwicklungskorridors, sind Unterhaltungsmaßnahmen im Sinne von Baumpflegetechniken unumgänglich. Ebenso würden Sicherungsmaßnahmen für den Radweg notwendig werden, sollte die eigendynamische Entwicklung der Selke die Verkehrssicherheit des Radweges gefährden. Diese Unterhaltungsmaßnahmen sind im Sinne der Entwicklung der Ziel-FFH-LRT und der damit verbundenen dynamischen Prozesse abzulehnen. Um diesen Konflikt zu entschärfen, wird der Radweg an den Rand der linken Aue des neuen Gewässerlaufes verlegt als Begrenzung zum angrenzenden Acker. Der damit entstehende, unzerschnittene Entwicklungskorridor zwischen altem und neuem Lauf der Selke steht damit der ungestörten Entwicklung des Fließgewässers und seiner Aue zur Verfügung. Das neue Teilstück des Radweges wird wie der vorhandene Radweg in Asphaltbauweise mit 1,6 m Breite ausgebaut. Die künftig entfallenden Abschnitte des vorhandenen Radweges werden zurückgebaut.

5 Vorhabenswirkung / Genehmigungsfähigkeit

Im Zuge der Erstellung der Entwurfsplanung für die Maßnahme an der Selke wurden ein Landschaftspflegerischer Fachbeitrag, ein Artenschutzrechtlicher Fachbeitrag und eine FFH-Erheblichkeitsabschätzung erstellt

Im Landschaftspflegerischen Fachbeitrag wurden die Schutzgüter nach Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) sowie die zusätzlichen Schutzgüter nach dem Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) beschrieben und bewertet. Im Ergebnis der Konfliktanalyse wurde festgestellt, dass durch die Umsetzung der Kohärenzmaßnahme nur baubedingt erhebliche Beeinträchtigungen auftreten können. Unter Anwendung von im Landschaftspflegerischen Fachbei-

trag definierten Vermeidungsmaßnahmen kann mit hinreichender Sicherheit ausgeschlossen werden, dass durch die Umsetzung der Maßnahme erhebliche Beeinträchtigungen des Naturhaushaltes und des Landschaftsbildes verbleiben.

Im Artenschutzbericht wurden die europäisch geschützten Tier- und Pflanzenarten auf Beeinträchtigung durch die Projektwirkungen bei der Umsetzung der Maßnahme E1neu geprüft. Im Ergebnis war festzustellen, dass unter Anwendung geeigneter artspezifischer Schadensbegrenzungsmaßnahmen Verbotstatbestände nach § 44 Abs. 1 BNatSchG ausgeschlossen werden können.

Im Ergebnis der vorliegenden FFH-Erheblichkeitsabschätzung zeigte sich, dass bei der Umsetzung der Kohärenzmaßnahme mit hinreichender Sicherheit ausgeschlossen werden kann, dass das Projekt zu erheblichen Beeinträchtigungen des Natura 2000-Gebietes DE 4133-301 „Bode und Selke im Harzvorland“ in seinen für die Erhaltungsziele oder den Schutzzweck maßgeblichen Bestandteilen führen kann. Die Maßnahme unterstützt hingegen die Schutz- und Erhaltungsziele des FFH-Gebietes.

Die naturschutzfachlichen Maßnahmenziele stehen im Einklang mit den im Gewässerrahmenkonzept Sachsen-Anhalt 2010-2015 (*LHW*, 2010) und 2016-2021 (*LHW*, 2015) dokumentierten Vorgaben zur Reduzierung von diffusen Nährstoffeinträgen in die Selke zwischen Ermsleben und Mündung. Die geplanten gewässermorphologischen Maßnahmen, v.a. die Schaffung von Entwicklungs- und Pufferflächen zu den angrenzenden, intensiven Nutzungen in der Aue, fördern die güteseitige Entwicklung der Selke. Im aktuellen Gewässerrahmenkonzept Sachsen-Anhalt 2016-2021 (*LHW*, 2015) wird für das Planungsgebiet zudem ein Belastungsschwerpunkt bei den morphologischen Bedingungen (Laufkrümmung, Quer- und Längsprofil etc.) gesetzt. Genau an diesen Schwerpunkten der Gewässerstruktur setzen die geplanten Maßnahmen mit deutlichen Aufwertungen an.

Die Maßnahmen zur Revitalisierung des Gewässerlaufes der Selke und zur Optimierung des Habitatangebots für Bachneunauge und Groppe sowie die Schaffung eines Entwicklungskorridors mit standorttypischer Vegetation (Auwald, Flachland-Mähwiesen) als Puffer zu den angrenzenden intensiv genutzten Ackerflächen sind damit Maßnahmen im Sinne der EU-WRRL. Sie tragen zur Erreichung eines guten ökologischen Zustands der Selke im Planungsgebiet bei.

6 Umsetzung Planungsziel

Für den Ziel-FFH-LRT 3260 – Flüsse der planaren bis montanen Stufe sowie die Entwicklung naturnaher Lebensraumstrukturen, insbesondere für Groppe und

Bachneunauge, wurde die Wasserfläche des neuen Selkegerinnes bei Mittelwasserstand angenommen. Da der Rückstau des Wehres Gatersleben jedoch teilweise in den neu zu renaturierenden Bereich der Selke hineinreicht, wurde nur ein Teil der Fläche als Kohärenzausgleich angerechnet. Nach dem Abgleich der geplanten Zielstrukturen mit der Aufgabestellung in Flächengröße und zu erreichender und umsetzbarer Qualität kann festgestellt werden, dass die Umsetzung des Kohärenzbedarfs aus der FFH-Verträglichkeitsuntersuchung zum HRB Straßberg gewährleistet ist.

7 Literatur

- LAU - Landesamt für Umweltschutz: Digitale Fachdaten des LAU - Landesweite und projektbezogene Daten (Bereitstellung vom 08.09.2015): Karte der potentiell natürlichen Vegetation (1 : 50 000).
- LHW - Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (2011): Bericht zur Beschaffenheit der Fließgewässer und Seen in Sachsen-Anhalt, 2005-2008. Internet: <http://www.lhw.sachsen-anhalt.de/> (Aufruf 28.09.2015).
- LHW - Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (2010): Gewässerrahmenkonzept Sachsen-Anhalt 2010-2015 - Maßnahmenprogramm für den OWK SAL20OW01-00.
- LHW - Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (2015): Gewässerrahmenkonzept Sachsen-Anhalt 2016-2021: Maßnahmenprogramm für den OWK SAL20OW01-00.
- Pottgiesser, T. & Sommerhäuser, M. (2008) Aktualisierung der Steckbriefe der bundesdeutschen Fließgewässertypen (Teil A) und Ergänzung der Steckbriefe der deutschen Fließgewässertypen um typspezifische Referenzbedingungen und Bewertungsverfahren aller Qualitätselemente (Teil B). Begleittext, Steckbriefe und Anhang. April 2008.

Autoren:

Dipl. Ing. (FH) Franka Ludwig

Landschaftsarchitektin
Lahmeyer Hydroprojekt GmbH
Rießnerstraße 18
99427 Weimar

Tel.: +49 3643 746-153
Fax: +49 3643 746-435
E-Mail: fl@hydroprojekt.de

Dipl. Ing. Andreas Rudolf

Talsperrenbetrieb Sachsen-Anhalt
Anstalt des öffentlichen Rechts
Timmenröder Straße 1a
38889 Blankenburg

Tel.: +49 39 44 - 942 0
Fax: +49 39 44 - 942 200
E-Mail: Rudolf@talsperren-lsa.de

Reaktivierung eines historischen Stauhaltungs- damms auf sehr gering tragfähigem Untergrund

Olaf Düser

1 Einleitung

Eine über viele Jahrhunderte betriebene Stauhaltung (urkundlich erstmals ca. 1540 erwähnt) war nach einem Dambruch im Bereich des Grundablasses um 1945 nicht wieder hergerichtet worden. Nunmehr wurde der Stauraum zum Hochwasserschutz reaktiviert. Unter anderem waren noch vorhandene historische Dammkonstruktionen zu modifizieren. Die Dämme mussten erhöht und verbreitert werden. Besondere Bedeutung kam dabei in einem Bauabschnitt dem äußerst gering tragfähigen Untergrund (Torf bis ca. 6 m unter Gelände) zu.

Eine Baugrundverbesserung war wegen des unmittelbar anschließenden Landschaftsschutzgebietes nicht durchsetzbar. Deshalb war mit erheblichen Verformungen in Zusammenhang mit den Ertüchtigungs- und den Neubaumaßnahmen zu rechnen. Die Konstruktion des Dammes war somit an die zu erwartenden großen Verformungen anzupassen. Der aus einer benachbarten Baumaßnahme zu gewinnende Erdstoff (stark schluffiger Kies, Geschiebemergel, Verwitterungslehm etc.) zum Bau der Dämme wurde mit Bindemittel in seiner Festigkeit erhöht und mehrere Lagen Geogitter eingebaut. Im Einklang der Erdstoffe mit dem Bindemittel und den Geogittern war ein Bauwerk mit duktilem Materialverhalten herzustellen. Inzwischen ist die Konstruktion seit acht Jahren in Betrieb und planmäßige Vertikalverformungen von über einem Meter sind stand sicher überbrückt worden.

2 Historischer Abriss

Von Mitte des 16. bis ungefähr zur Mitte des 20. Jahrhunderts wurde bei Isny im Allgäu eine Stauhaltung zur Fischzucht und für Bewässerungsmaßnahmen betrieben. Im Jahr 1945 wurde die Stauhaltung nach einem Dambruch im Bereich des Grundablasses außer Betrieb genommen. Nunmehr soll der aufgelassene Stauraum zur temporären Hochwasserrückhaltung genutzt werden. Das Stauvolumen soll zukünftig um 22.000 m³ betragen. Mit den Restaurierungs- und Ausbaumaßnahmen wurde im Jahre 2006 begonnen.

Die bisherigen Dammhöhen lagen bei etwa zwei Metern. Der Freibord lag ehemals bei unter 0,5 m. Die Kronenbreite war mit unter zwei Metern vergleichsweise schmal und nicht befahrbar ausgebildet. Die Böschungsneigungen zur Wasser- und zur Luftseite bewegten sich um 1:1,5 bis 1:2. Der Weiher wurde in unterschiedlichen Zeiträumen abgelassen und der trocken gefallene Seegrund landwirtschaftlich (z.B. Getreideanbau) genutzt. Damit wurde eine Verkrautung des Gewässers vermieden und der fruchtbare Schlamm genutzt. Nachfolgend wurde der Weiher dann wieder angestaut.

Inzwischen ist in Teilbereichen außerhalb des Stauraums ein Naturschutzgebiet ausgewiesen worden. In diesen Bereich durfte mit den geplanten Baumaßnahmen nicht eingegriffen werden.

3 Baugrundverhältnisse und Dammbestand

Im Stauraum waren über die Betriebszeit von über 400 Jahren Sedimente in einer Stärke um 0,5 m durch Schürfe nachweisbar. Eine Baugrunderkundung im Bereich des alten Dammbestands zeigte ein uneinheitliches Baugrundprofil. In einzelnen Abschnitten steht geländenah Geschiebemergel (bindiges Moränenmaterial) an. In anderen Abschnitten sind mehrere Meter starke, wenig zersetzte Torfschichten bis auf Geländeniveau vorhanden. Unter dem Torf folgen ältere Seesedimente, Geschiebemergel und Druckwasser führende eiszeitliche Schmelzwasserkiese. Der Dammbestand setzt sich aus sandigen, teils kiesigen Schluffen mit lokalen organischen Beimengungen zusammen. Es sind Wurzeln durch Baumbewuchs vorhanden. Wurzelkanäle und Grabgänge durch Wühltiere waren nachweisbar. In Abbildung 1 ist ein Lichtbild vor Beginn der Maßnahme dargestellt.

In Abbildung 2 ist der Dammbestand in einer prinzipiellen Skizze mit den angebotenen Baugrundverhältnissen im Bereich des gering tragfähigen Baugrunds dargestellt.

Neben klassifizierenden Untersuchungen der Baugrundsichten und des Dammbestands (Wassergehalt, Plastizität, Korngrößenverteilung und Wasserdurchlässigkeit) wurde insbesondere der als stark kompressibel zu erwartende Torf auf seine Festigkeitseigenschaften hin untersucht. Eindimensionale Kompressionsversuche zeigten Steifemodule im Bereich der Erstbelastung um $E_s = 200 \div 400 \text{ kN/m}^2$. Der Wasserdurchlässigkeitsbeiwert wurde im Bereich von $k_{10} = 1 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$ bestimmt. Im direkten Scherversuch ergaben sich innere Reibungswinkel ϕ' um 15° und Kohäsionswerte c' im Mittel von 3 kN/m^2 .



Abbildung 1: Ansicht des Dammkörpers. Stauraumseite links mit Baum- und Strauchbestand. Ab Dammfuß auf der rechten Seite beginnt der Biotopbereich.

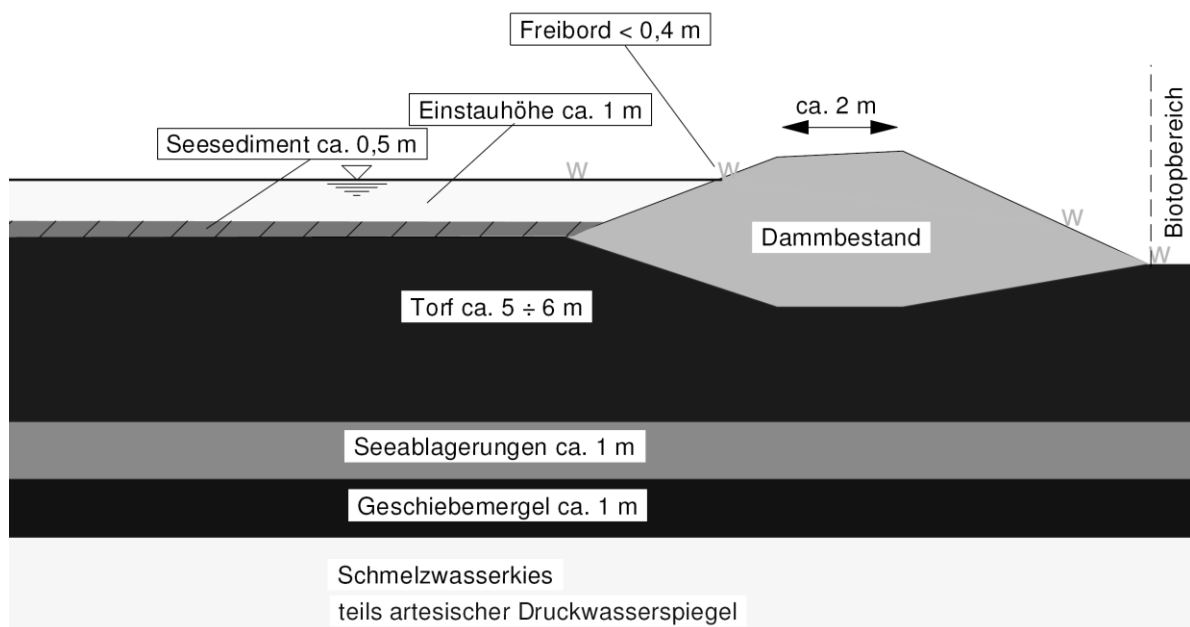


Abbildung 2: Dammbestand und Baugrund im Bereich des gering tragfähigen Untergrunds

Ein eindimensionales Konsolidationsmodell mit Auflastspannungen um 60 kN/m^2 (dies entspricht einer Dammschüttung um 3 m Höhe) zeigt bei einer

Torfmächtigkeit von 6 m und den zuvor erläuterten bodenmechanischen Kennwerten das in Abbildung 3 dargestellte Zeit-Verformungsverhalten. Eine Entwässerung erfolgt im Modellansatz nur einseitig nach oben, da unter dem Torf mit den Seetonen und dem Geschiebemergel gering bis sehr gering wasserdurchlässige Baugrundsichten angetroffen wurden. Mit den ermittelten bodenmechanischen Kennwerten werden Setzungen für den organischen Untergrund von ca. 120 cm errechnet.

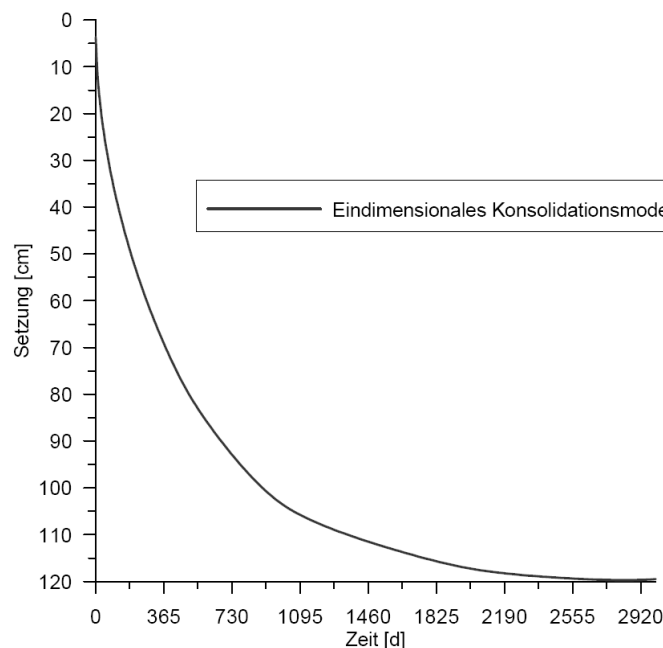


Abbildung 3: Zeit-Setzungsverhalten bei eindimensionaler Konsolidation

Es zeigt sich, dass bei den vorgegebenen Randbedingungen rechnerische Konsolidationszeiten von ca. 8 Jahren zu erwarten sind. Der Hauptanteil der vertikalen Verformungen von über 90 cm ist dabei nach ca. zwei Jahren abgeschlossen.

4 Dammertüchtigung

Die bestehende Dammkonstruktion war ehemals bis auf zwischenzeitliche vergleichsweise kurze Abstauperioden dauerhaft eingestaut. Nunmehr sollte im Rahmen des Hochwasserschutzes zwar kein Dauereinstau mehr erfolgen, stattdessen sollten aber höhere Einstauniveaus erreicht werden. Erdstatische Vorbeurteilungen am Bestand zeigten bereits für die alte Einstausituation erhebliche Standsicherheitsdefizite bezogen auf die heutigen Anforderungen an Stauhaltungsdämme. Dies trifft insbesondere auf die Dammbereiche zu, die auf den gering tragfähigen Torfschichten gegründet sind.

Soweit möglich sollte der Dammbestand jedoch in eine Reaktivierung mit einbezogen werden. Diesem Wunsch konnte entsprochen werden, indem die Dammertüchtigung hauptsächlich auf den Bereich der Wasserseite verlegt wurde.

Reaktivierungen waren insbesondere im Bereich des gering tragfähigen Untergrunds als schwierig zu bezeichnen. Das benachbarte Biotop durfte nicht angefasst werden. Dazu gehörte auch, dass die Grundwassersituation nicht verändert werden durfte. Eine Stabilisierung des Untergrunds schied damit aus. Somit wurde das Konzept einer „schwimmenden“ Dammgründung verfolgt. Das bedeutet:

- Der Dammkörper wird erhebliche Setzungen erfahren, s. Abschn. 3.
- Das Erdbauwerk muss eine ausreichende Festigkeit aufweisen, so dass im Zuge des Setzungsverlaufs keine Schwächungen durch Risse und Teilabbrüche auftreten.
- Zum benachbarten Dammbestand, der im weiteren Trassenverlauf allmählich auf geringer kompressiblen Untergrund gründet, muss ein kraftschlüssiger Übergang erfolgen, so dass keine Zerrisse auftreten können.

Im Zuge von Optimierungsberechnungen wurde für den gering tragfähigen Untergrund eine Konstruktion mit mehreren Geogitterlagen und erhöhter Scherfestigkeit entwickelt. In Abbildung 4 ist die Konstruktion dargestellt.

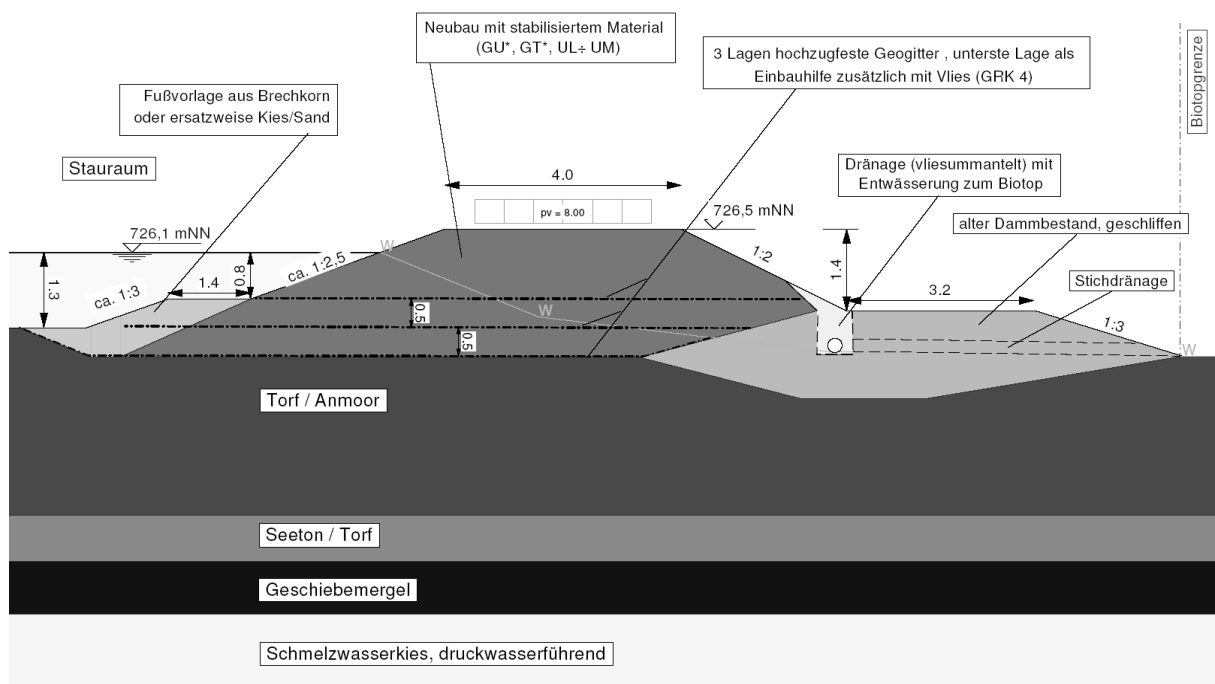


Abbildung 4: Schwimmende Dammgründung mit mehreren Lagen hochzugfester Geogitter

Als Geogitter sollten hochzugfeste Kunststoffe aus PET zum Einsatz kommen. Die Gitter wurden für eine Standzeit von über 100 Jahren dimensioniert. Bei der Produktwahl war sicherzustellen, dass bei Längsdehnungen von unter 2 % dauerhaft Zugkräfte von mindestens 20 kN/m aktiviert werden können.

Der Dammbestand, der zukünftig als stützender Vordamm zur Luftseite des neu zu errichtenden Erdkörpers dient, war zunächst von Bewuchs und Wurzelwerk zu befreien. Auf der Wasserseite wurde für den Lastfall „rascher Wasserspiegelabsenk“ eine Fußvorlage aus Brechkorn angeordnet. Damit erfolgt eine zusätzliche Stützung bei Wirkung von Sickerströmung und Spreizen. Auf der Luftseite wurde eine Dränage in den Übergangsbereich von Dammbestand und –neubau eingeplant.

Basierend auf den erdstatischen und den geohydraulischen Berechnungen waren folgende bodenmechanische Eigenschaften für eine ausreichende Standicherheit des neuen Erdkörpers nachzuweisen:

Innerer Reibungswinkel	$\varphi_k' \geq 25^\circ$
Kohäsion	$c_k' \geq 7 \text{ kN/m}^2$
Steifemodul	$E_{s,k} \geq 5 \text{ MN/m}^2$
Wasserdurchlässigkeit	$k_{10} \leq 1 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$
Einbauwichte	$\gamma_k \geq 19 \text{ kN/m}^3$
Verdichtungsgrad	$D_{Pr} \geq 97 \%$

5 Dammbaumaterial

Als Dammbaumaterial musste ein bindiger Erdstoff gewählt werden, der neben guten Verdichtungseigenschaften und geringer Wasserdurchlässigkeit auch vergleichsweise hohe Scherfestigkeit aufweist.

Benachbart zu der zu ertüchtigenden Stauhaltung wurde im Zuge der Bauarbeiten für eine Umgehungsstraße ein großer Einschnitt aufgefahren. Aus dem Einschnitt konnten genügend bindige Erdstoffe auch für die Dammbaumaßnahmen entnommen werden. Zur Verfügung standen Verwitterungslehme und -kiese sowie Geschiebemergel. Die Böden wiesen im natürlich erdfeuchten Zustand vornehmlich weiche Konsistenz auf.

Für die zur Verfügung stehenden Erdstoffe wurde eine Bandbreite der Wassergehalte von 9,5÷21,5 Massen-% festgestellt. Verdichtete repräsentative Mischproben zeigten einen optimalen Wassergehalt von 10,4 Massen-% bei einfacher Proctordichte an. Die Wasserdurchlässigkeit von verdichtetem Probenmaterial wurde mit $k_{10} = 10^{-8} \div 10^{-9} \text{ m/s}$ bestimmt. Der Glühverlust lag bei 1÷3 Massen-%.

Alle Erdstoffe zeigten eine weitgestufte Kornverteilung von der Ton- bis zur Kiesfraktion, s. Abbildung 5.

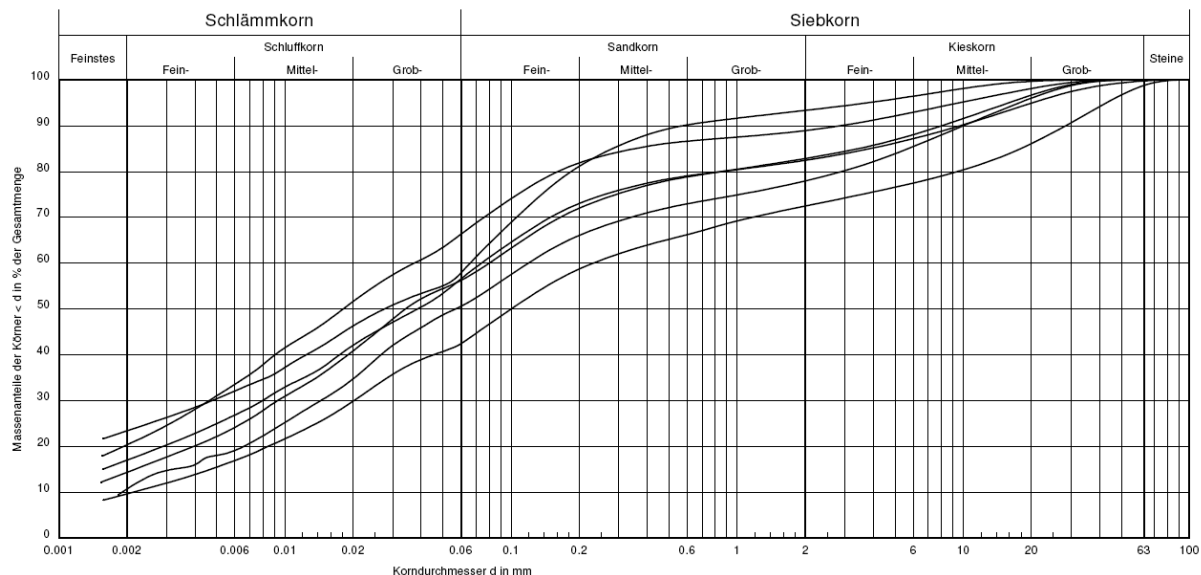


Abbildung 5: Korngrößenbereich der zum Dammbau zu verwertenden Erdstoffe

Die für den Dammbau zur Verfügung stehenden Erdstoffe waren zwar gering wasserdurchlässig, die große Wassergehaltsspanne zeigte jedoch bereits an, dass der geforderte Verdichtungsgrad von mindestens 97 % nicht sichergestellt werden konnte. Aus Voruntersuchungen war weiterhin festzustellen, dass die geforderte Scherfestigkeit ohne Zusatzmaßnahmen, im verdichteten Zustand nicht erreicht werden konnte.

Um ausreichende Qualität des Erdbaustoffs mit Blick auf Verdichtbarkeit und Scherfestigkeit sicherstellen zu können, wurde ein hydraulisches Mischbindemittel (Zement und Weißfeinkalk) zugesetzt. Der Zement dient dabei zur Erhöhung der Scherfestigkeit, insbesondere des Scherparameters Kohäsion. Mit dem Weißfeinkalk wird durch chemische Bindung eine Reduktion des zu hohen Wasseranteils erreicht.

Über eine Eignungsprüfung wurde die erforderliche Dosiermenge bestimmt. In Abbildung 6 sind die Ergebnisse von einaxialen Druckversuchen nach DIN 18136 an verdichteten Probekörpern ohne, mit 4 Massen-% und mit 6 Massen-% Bindemittelzugabe dargestellt. Die mit Bindemittel versetzten Proben wurden nach der Herstellung über sieben Tage im Feuchtraum gelagert, anschließend 24 h unter Wasser gelagert und dann abgedrückt. Die ohne Bindemittel hergestellte Probe wurde bis zur Druckprüfung nur im Feuchtraum gelagert.

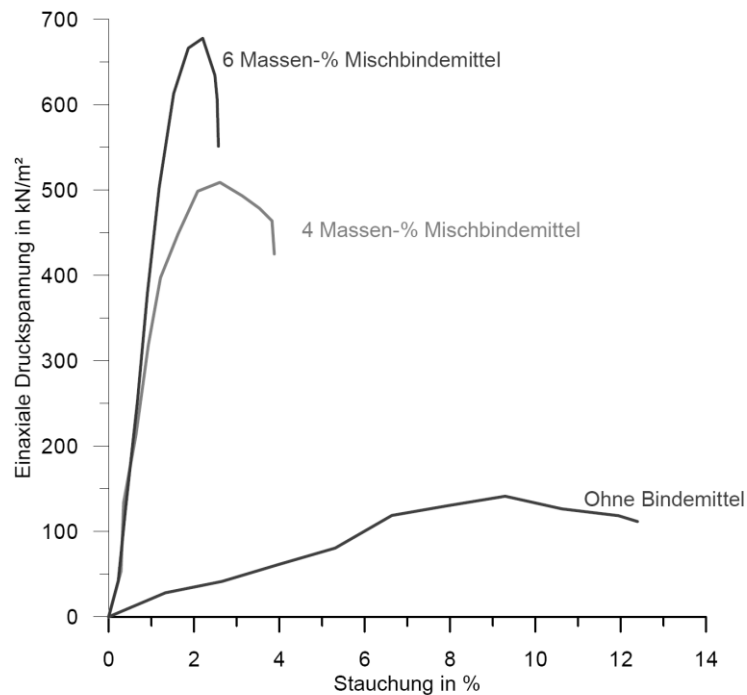


Abbildung 6: Ergebnisse von einaxialen Druckversuchen an verdichteten Erdstoffproben ohne und mit Bindemittelzugabe

Durch eine Bindemittelzugabe von 4 Massen-% konnten die geforderten bodenmechanischen Parameter für den Dammaufbau generell sichergestellt werden. Für die unteren Einbaulagen wurde eine höhere Bindemitteldosierung um 6 Massen-% gefahren. Grund dafür war der hohe Wassergehalt und die starke Nachgiebigkeit der Torfschichten. Der geforderte Verdichtungsgrad konnte trotz Geogitterunterlagerung nicht gleich in der ersten Schüttlage erreicht werden. Die damit zu erwartende verminderte Festigkeit wurde durch höhere Bindemitteldosierung ausgeglichen. Weiterhin wurde auf diese Weise ein Verdichtungswiderlager für den nachfolgenden Schichtenaufbau geschaffen.

Die Bindemittelzugabe und die Untermischung erfolgten im Bereich des Abbaufeldes, um Gewässerverunreinigungen an der Einbaustelle sicher auszuschließen. Die Arbeiten mit dem Bindemittel wurden nur bei trockener und frostfreier Witterung vorgenommen. Trotzdem wurden Vorkehrungen mit Verwallungen getroffen, so dass im Falle eines Starkregens abgeschwemmtes Bindemittel nicht in die Vorflut gelangen konnte. Durch laufende Kontrollen im Zuge der Fremd- und Eigenüberwachung während der Erdbaumaßnahmen konnte die geforderte Einbauqualität sichergestellt werden.

6 Bauausführung

Zunächst wurde der Dammbestand vom Bewuchs (Sträucher und Bäume) befreit und die organischen Deckschichten abgetragen. Anschließend wurde stauraumseitig der Bewuchs im Bereich der zukünftigen Dammtrasse entfernt, die Deckschicht in einer Stärke um 0,5 m abgetragen und seitlich zur Wiederandeckung gelagert. Danach wurde die erste Lage hochzugfester Geogitter zusammen mit einem geotextilen Vlies ausgelegt und die erste Dammlage in einer Stärke um 40 cm aufgeschüttet. Arbeiten waren nur vor Kopf möglich, da ansonsten die Baugeräte wegen des gering tragfähigen Baugrunds versackt wären. Eine Bergung wäre, wenn überhaupt, nur mit erheblichem Aufwand möglich gewesen.

Die erste Schüttlage wurde vorsichtig und hauptsächlich nur statisch verdichtet, damit kein Wasser hochgezogen wurde. Die nächste Lage wurde nach Einbau von Geogittern unverzüglich mit stärkerem Verdichtungseinsatz aufgebaut. Die Abbildungen 7 und 8 zeigen den Einbauzustand während der Herstellung der ersten Lage.



Abbildung 7: Einbau der ersten Schüttlage auf vliesunterlegtem Geogitter



Abbildung 8: Weiterer Baufortschritt im Bereich des gering tragfähigen Baugrunds; der Dammbestand dient zugleich als Baustraße

Im Bereich der Dammtrasse wurden Setzungspegel vor Beginn der Aufschüttungen gesetzt. Inzwischen ist der Dammkörper seit acht Jahren fertig gestellt. In Abbildung 9 sind die gemessenen Vertikalverformungen zusammen mit dem prognostizierten Verformungsmodell (s. Abbildung 3) dargestellt. Es zeigt sich eine gute Übereinstimmung. Abbildung 10 zeigt den Damm kurz nach seiner Fertigstellung.

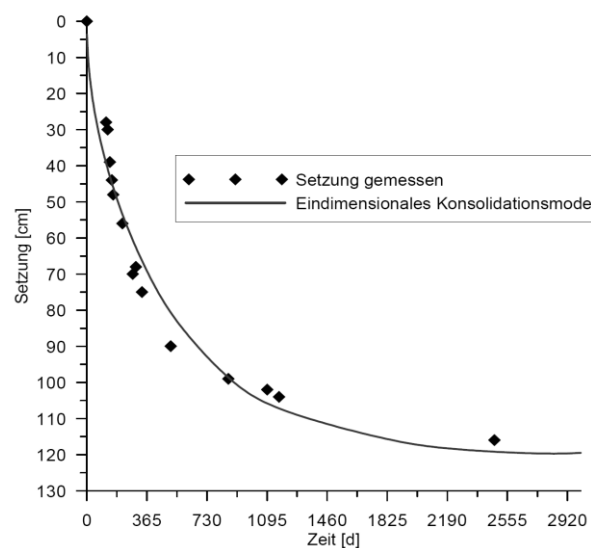


Abbildung 9: Prognostizierte und gemessene Vertikalverformung des Dammkörpers im Bereich des gering tragfähigen Untergrunds



Abbildung 10: Fertig gestellter Dammabschnitt auf gering tragfähigem Untergrund mit Blick in den zukünftigen Stauraum

Autor:

Dr.-Ing. Olaf Düser

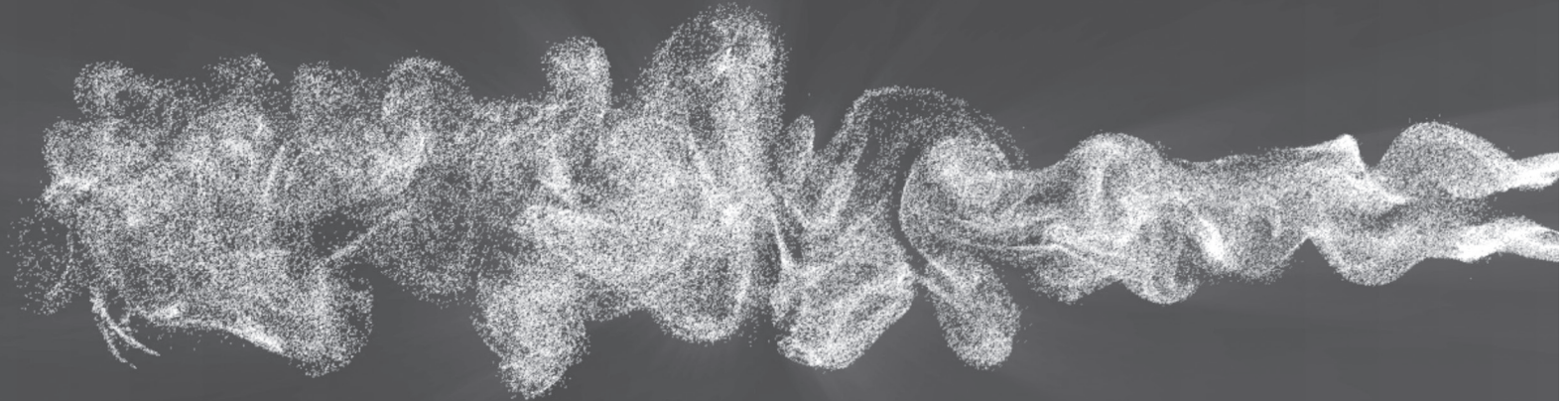
Dr. Ebel & Co. Ingenieurgesellschaft für Geotechnik und Wasserwirtschaft mbH
St.-Ulrich-Straße 21
88410 Bad Wurzach - Arnach

Tel.: +49 7564 9489713
Fax: +49 7564 9489799
E-Mail: dueser@geotechnik-ebel.de

Signature 1000/500

AN IDEAL PLATFORM FOR TURBULENCE STUDIES

The Signature 1000 and Signature 500 systems are designed for unprecedented performance in high energy turbulent environments, while also fulfilling standard current profiling needs.



- Concurrent measurement mode operation
- 5-beam configuration
- Average current profiling
- Vertical beam current profiling
- High-resolution altimeter data
- Ethernet interface
- LED power & transmit confirmation



CURRENT AND WAVE MEASUREMENTS IN THE OCEAN, LAKE AND LABORATORY



Nortek AS
Vangkroken 2
1351 Rud, Norway
Tel: +47 6717 4500
E-mail: inquiry@nortek.no



www.nortek.no
True innovation makes a difference

Ausschluss von mit Piping verbundenen Risiken mit Hilfe wasserstandsunabhängiger Maßnahmen

André Koelewijn
Ulrich Förster

Piping ist ein geotechnischer Versagensmechanismus, für den in den Niederlanden, als Folge der angepassten Berechnungsmethoden zur Beurteilung der Standsicherheit, der höheren hydraulischen Lastannahmen und der höheren geforderten Sicherheiten, auf vielen Deichabschnitten Ertüchtigungsmaßnahmen notwendig sind. Neben den traditionellen Ertüchtigungsmaßnahmen und Drainagetechniken werden in diesem Beitrag zwei Maßnahmen beschrieben, die die Entwicklung eines durchgehenden Erosionskanals als Folge rückschreitender Erosion auch bei einer signifikanten Zunahme des Wasserstandes ausschließen. Hiermit kann in (semi)probabilistischen Stabilitätsanalysen der für die Versagenswahrscheinlichkeit bei Piping reservierte Bereich für andere Versagensmechanismen genutzt werden.

Stichworte: Piping, rückschreitende Erosion, Sickerweglänge, Deichstandsicherheit, Präventionsmaßnahmen, Grobsandbarriere

1 Einleitung

Die Hochwasserrisikoproblematik beruht zu einem großen Teil auf zu schwach dimensionierten Hochwasserschutzbauwerken. Dies ist unter anderem auf eine zu geringe Deichkronenhöhe zurückzuführen, aber auch auf geotechnische Versagensmechanismen, wie Makro-Instabilität und rückschreitende innere Erosion (Piping). Der letztgenannte Mechanismus verursacht in den Niederlanden bei etwa einem Drittel aller Deiche des sogenannten primären Hochwasserschutzsystems Probleme. Diese Probleme haben sich in jüngster Zeit als Folge strenger Bewertungs- und Bemessungsvorschriften und höherer Sicherheitsniveaus noch vergrößert.

Die gängigen Maßnahmen gegen Piping, wie zum Beispiel breite landseitige Bermen bei Deichen oder ein vertikaler Schirm, stoßen bei Anwohnern und Landschaftshistorikern auf zunehmenden Widerstand. Darüber hinaus werden diese Maßnahmen immer kostspieliger. Aus diesen Gründen wurde in den letzten Jahren in den Niederlanden verstärkt nach alternativen Maßnahmen Ausschau gehalten, deren Wirkungsweise, nämlich den Erosionsprozess zum Still-

stand zu bringen, praktisch unabhängig ist vom eintretenden Wasserstand und der vorhandenen Sickerweglänge. Damit kann auch in (semi)probabilistischen Analysen der für die Versagenswahrscheinlichkeit bei Piping reservierte Bereich (ein Viertel der Gesamtversagenswahrscheinlichkeit) für andere Versagensmechanismen genutzt werden.

2 Ursachen und Umfang des Pipingproblems

2.1 Beschreibung des Mechanismus

Piping, das ist innere rückschreitende Erosion unterhalb eines Deiches entlang der Oberkante einer Sandschicht, wurde zum ersten Mal von *Bligh* (1910) genau beschrieben. Die Erhöhung der Druckhöhendifferenz über den Deichquerschnitt hat zur Folge dass die Grundwasserströmung in der wasserführenden Sandschicht zunimmt. Bei Überschreitung der zur Erosion benötigten Strömungsgeschwindigkeit beginnt an der unterstromigen Seite des Sickerweges ein rückschreitender Erosionsprozess. Die Formel von *Sellmeijer* (1988) hat auch in das Deutsche Merkblatt für Deiche an Fließgewässern (*DWA*, 2011) und das BAW-Merkblatt Materialtransport im Boden (MMB) (*BAW*, 2013) Eingang gefunden.

2.2 Anpassungen der Berechnungsmethoden für Piping

Auf der Basis zahlreicher maßstäblicher Experimente in den Niederlanden erfolgte eine Anpassung der Formel von *Sellmeijer* (*Förster et al.*, 2013). Für Mittelsand ergab die Originalfassung eine Überschätzung der kritischen Druckhöhendifferenz. Deshalb wirkt sich die neue Berechnungsformel von *Sellmeijer* bei vielen Deichen außerhalb des Küstengebietes ungünstiger aus. In den Niederlanden wird in Zukunft diese Formel für die Beurteilung der gegenwärtigen Deichstandsicherheit und bei der Bemessung von Deichertüchtigungsmaßnahmen angewendet.

Aufgrund von *Förster et al.* (2013) wird in den Niederlanden darüber hinaus die Formel von *Bligh* (1916) nicht mehr bei der Standsicherheitsbeurteilung verwendet, da diese bei zunehmender Größe des Deichquerschnitts und bei höheren Sicherheitsanforderungen unzuverlässige Resultate liefert.

2.3 Höhere hydraulische Belastungen und höhere Sicherheit

Neben den Änderungen in den Berechnungsmethoden spielen auch als Folge des Klimawandels erhöhte anzusetzende hydraulische Belastungen eine Rolle und gelten ab 2017 erhöhte Sicherheitsanforderungen für das niederländische primäre Hochwasserschutzsystem.

Die heutigen niederländischen Sicherheitsanforderungen stammen noch aus dem Jahre 1960. Aufgrund einer neuen, ausführlichen Analyse, wobei sowohl eine sozioökonomische Kosten-Nutzen-Analyse als auch das individuelle Mortalitätsrisiko und das Gruppenrisiko einbezogen werden, wird für die meisten Deichabschnitten eine höhere Sicherheit gefordert. Es gibt aber auch Abschnitte, für die in Zukunft eine niedrigere Sicherheit gefordert wird. In diese sozioökonomische Kosten-Nutzen-Analyse sind auch die immateriellen Schäden einbezogen mit €7 Million pro Todesopfer, €100 000 pro verletzter und €2500 pro evakuierter Person (Kind, 2013). Aufgrund eines parlamentarischen Beschlusses wurde das akzeptierte individuelle Mortalitätsrisiko von 10^{-4} pro Jahr auf 10^{-5} pro Jahr erhöht (van der Most et al., 2014). Das Gruppenrisiko kann mit berücksichtigt werden. Es ist jedoch nur für sieben Abschnitte in der Umgebung von Rotterdam maßgebend (de Bruijn, 2014).

2.4 Effekte bezüglich des Pipingproblems in den Niederlanden

Bei der letzten Deichstandsicherheitsprüfung in den Niederlanden wurden etwa 730 km Deich als unzureichend standsicher beurteilt. Ab 2017 werden dann etwa 1900 km hiervon betroffen sein. Dies betrifft fast alle Deiche mit Ausnahme der meisten Küstendeiche (Abbildung 1).

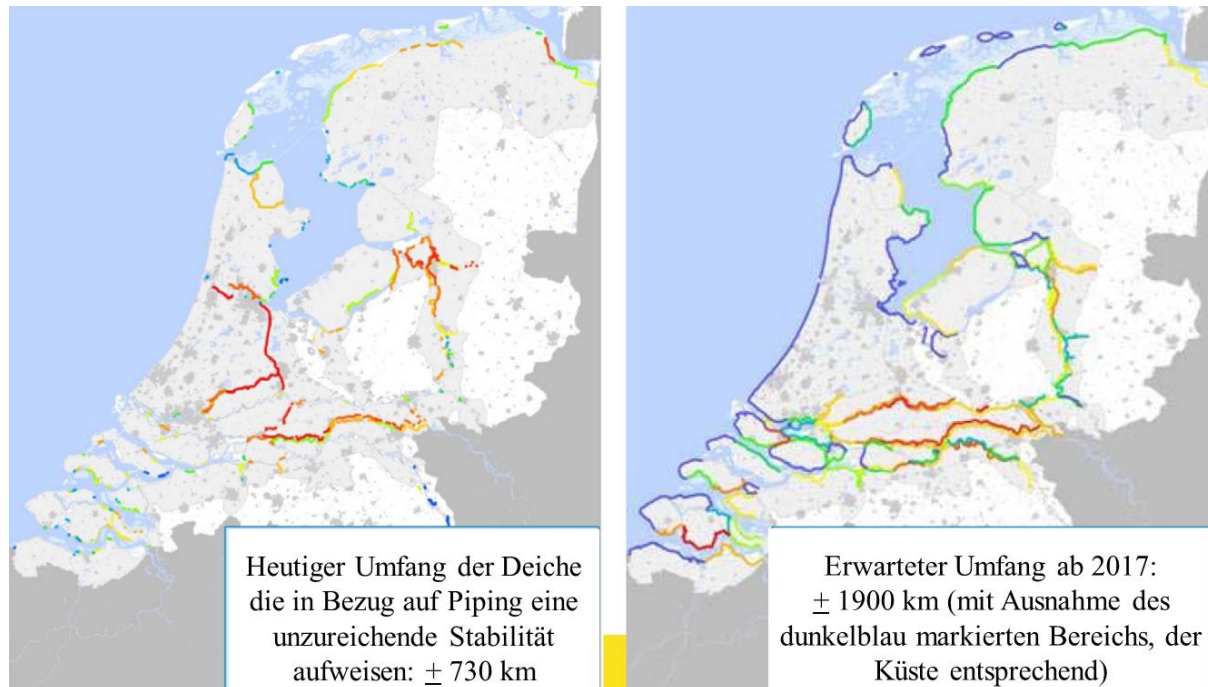


Abbildung 1: Heutiger und erwarteter Umfang des Pipingproblems in den Niederlanden (Heerema, 2015)

2.5 Möglichkeiten zur Reduzierung des Problem

Es gibt verschiedene Möglichkeiten das Pipingproblem zu reduzieren. Zu allererst wäre es möglich, bei der Sicherheitsprüfung lokal mehr ins Detail zu gehen: Durch eine günstigere Einbeziehung des Deichvorlands, der Grundwasserspeicherung im Deichkörper, der Sickerströmung durch die Deckschicht, einer günstigeren Durchlässigkeit des Grundwasserleiters und durch Berücksichtigung der positiven Einflüsse von Heterogenität und Zeitabhängigkeit (Koelewijn & Förster, 2015) kann das Problem deutlich verringert werden. Diese Elemente sind auch Grund dafür, dass in der Praxis meist weniger Probleme gefunden werden als rechnerisch erwartet wird. Darüber hinaus sollten natürlich auch konstruktive Maßnahmen genommen werden.

3 Maßnahmen

3.1 Traditionelle Maßnahmen

Traditionelle Ertüchtigungsmaßnahmen gegen Piping umfassen die horizontale Verlängerung des Sickerwegs mit einer landseitigen oder wasserseitigen Berme und die vertikale Verlängerung mit einem Schirm, zum Beispiel eine Spundwand aus Stahl oder eine Schlitzwand aus Zement-Bentonit. Wenn es aber um größere zu erwartende Druckhöhendifferenzen geht (rund ein Meter oder mehr – was ab 2017 häufig der Fall sein wird), werden solche Ertüchtigungsmaßnahmen kostspielig und sollten alternative Maßnahmen berücksichtigt werden. Auch würde der Einsatz von mehr als fünfzig Meter breiten Bermen die Landschaft weitgehend verändern.

3.2 Drainage

Eine Drainage ist eine Maßnahme zur Grundwasserdruckentlastung, die auf mehrere Punkte im Querschnitt angewendet werden kann. Wenn es keine Bebauung gibt, kann man diese Maßnahme einfach an der unterstromigen Seite des Sickerwegs einbauen, wie in Abbildung 2 dargestellt.



Abbildung 2: Kiesdrainage am Rhein bei Spijk (NL)

In anderen Fällen ist es notwendig, den Druck schon unterhalb des Deiches abzusenken. Hier können horizontale oder vertikale Drainagerohre mit oder ohne Pumpen eingesetzt werden. Abbildung 3 zeigt ein Beispiel aus den Niederlanden, bei dem eine vertikale Drainage angewendet ist. Eine vertikale Drainage ist einfacher anzubringen als eine horizontale, aber letztere ist effektiver.

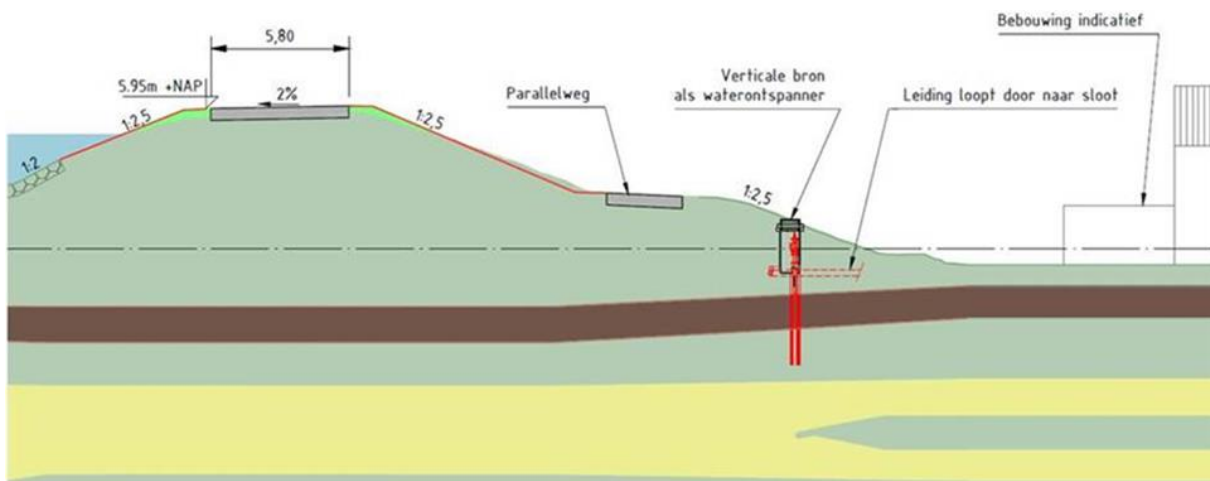


Abbildung 3: Drainage in der Nähe von Bebauung bei Nieuwkoop (NL)

3.3 Versperren des Korntransportes

Zwei effizientere Maßnahmen gegen Piping wurden im Anschluss an die Pipingversuche am Versuchsdeich IJkdijk aus dem Jahre 2009 (Koelewijn et al., 2010) entwickelt: Das vertikal eingebrachte Geotextil (Förster & Bezuijen, 2015) und die Grobsandbarriere (van Beek et al., 2015).

Die Ausbildung eines durchgängigen Erosionskanals entlang der Grenze zwischen Deckschicht und Grundwasserleiter kann unter anderem durch den Einsatz eines vertikal in den oberen Bereich des Grundwasserleiters eingebrachten und in der Deckschicht verankerten Geotextils verhindert werden. Das Wirkungsprinzip (Abbildung 4) beruht auf der einen durchgehenden Sandtransport hinderten Funktion des Geotextils in Kombination mit der großen Wasserdurchlässigkeit des Geotextils, wodurch die Grundwasserströmung im Grundwasserleiter kaum beeinträchtigt wird.

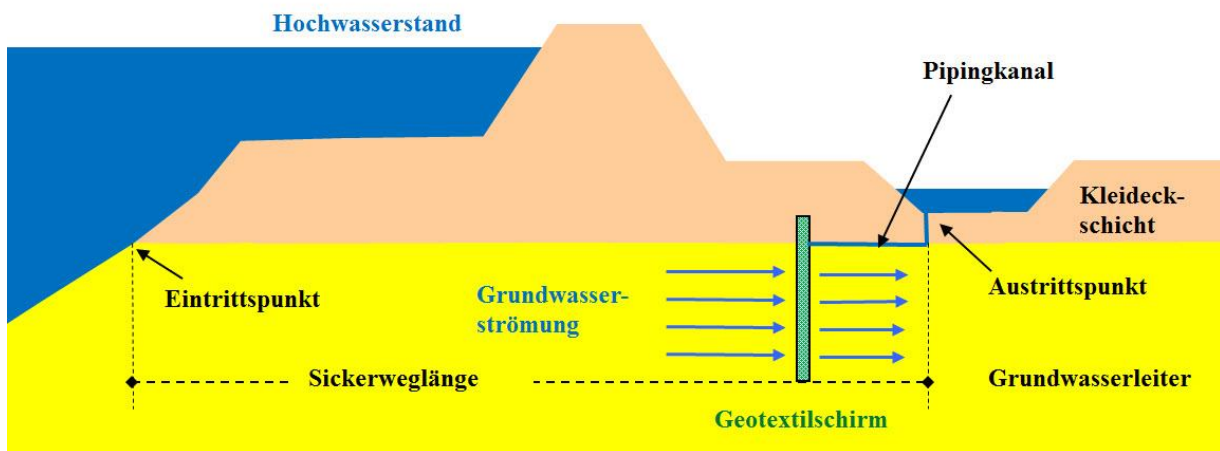


Abbildung 4: Wirkungsprinzip des vertikal eingebrachten Geotextils

Die Grobsandbarriere hat ein ähnliches Wirkungsprinzip: Eine unterhalb der Deckschicht angebrachte Wand aus größeren Körnern wird erst dann erodieren, wenn die Grundwasserströmung infolge der Druckhöhendifferenz über den Deichquerschnitt stark zugenommen hat (Abbildung 5).

Bei Laborversuchen im kleinen Maßstab versagte der Deich mit dieser Maßnahme erst bei einer drei- bis fünfmal höheren Druckhöhendifferenz. Beim großmaßstäblichen Versuch auf dem IJkdijk-Testgelände konnte nur eine etwa 1,5 mal höhere Druckhöhendifferenz realisiert werden und trat kein Versagen ein.

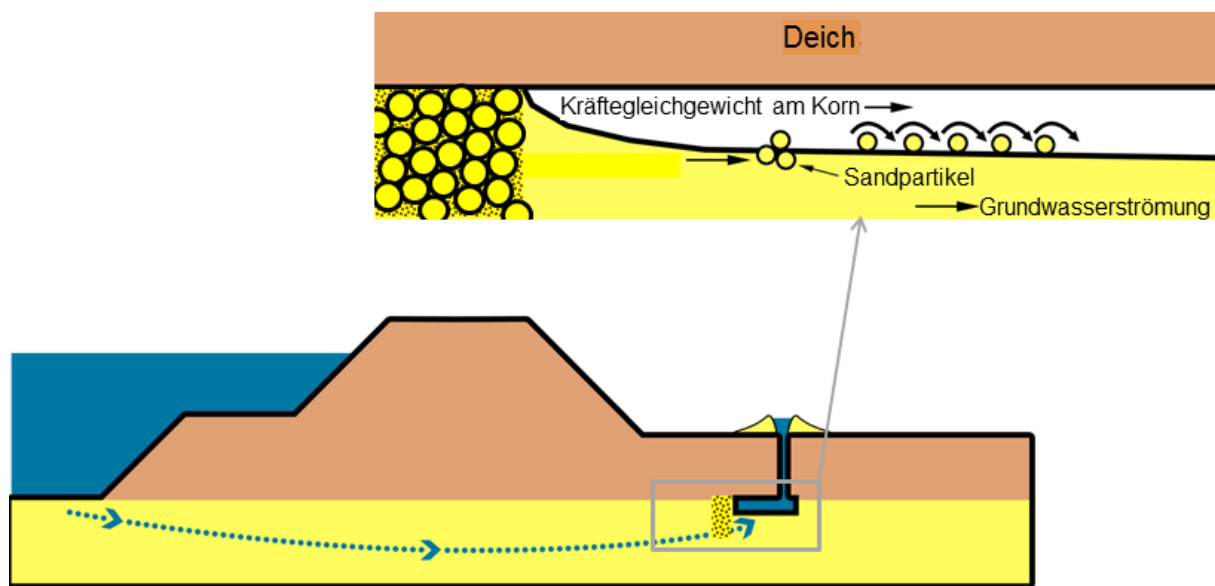


Abbildung 5: Wirkungsprinzip der Grobsandbarriere: die größeren Körner erodieren erst wenn die Grundwasserströmung viel stärker wird

Obwohl der Faktor, mit dem die kritische Druckhöhendifferenz im größeren Maßstab vergrößert werden kann, wahrscheinlich kleiner ist als drei, wird es sowohl mit Hilfe dieser Maßnahme als auch mit dem vertikal eingebrachten Geotextil möglich sein, viel höhere Wasserstände zu halten, ohne dass Probleme mit Piping auftreten werden. In (semi)probabilistischen Analysen kann damit auch der für die Versagenswahrscheinlichkeit bei Piping reservierte Bereich für andere Versagensmechanismen genutzt werden. Damit verringern sich auch die Kosten der Maßnahmen für andere Versagensmechanismen.

4 Literatur

- BAW (2013): Merkblatt Materialtransport im Boden (MMB), Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Karlsruhe.
- Beek, V.M. van, Koelewijn, A.R., Negrinelli, G. & Förster, U. (2015): A coarse sand barrier as an effective piping measure, *Geotechniek* 19 (special issue September):4-7.
- Bligh, W.G. (1910): Dams, barrages and weirs on porous foundations, *Engineering News* 64(26):708-710.
- Bligh, W.G. (1916): *Dams and weirs*, American Technical Society, Chicago.
- Bruijn, K. de, Klerk, W.J. & Diermanse, F. (2014): *Het groepsrisico van overstromingen in Nederland*, rapportage 1209190-000-VEB-0005, Deltares, Delft.
- DWA (2011): Merkblatt DWA-M 507-1, *Deiche an Fließgewässern*, Teil 1: Planung, Bau und Betrieb, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, Hennef, ISBN 978-3-941897-76-2.

- Förster, U. & Bezuijen, A. (2015): Vertikal eingebrachtes Geotextil als probate Deichertüchtigungsmaßnahme gegen innere Erosion, 5. Symposium Sicherung von Dämmen, Deichen und Stauanlagen, Siegen, Februar, 10 S.
- Förster, U., Ham, G. van den, Calle, E. & Kruse, G. (2013): Onderzoeksrapport zandmeevoerende wellen, rapportage 1202123-003-GEO-0002v3, Deltares, Delft.
- Heerema, J.J. (2015): Backward Erosion Piping in the Netherlands, Symposium How to control piping, Delft, Netherlands, 26 November, 18 S.
- Kind, J.M. (2014): Economically efficient flood protection standarts for the Netherlands, Journal of Flood Risk Management, 7:103-117.
- Koelewijn, A. & Förster, U. (2015): Zeitabhängigkeit bei rückschreitender Erosion unterhalb von Deichen, 38. Dresdner Wasserbaukolloquium, Dresden, März, 309-318.
- Koelewijn, A.R., Pals, N., Sas, M.J. & Zomer, W.S. (2010): IJkdijk pipingexperiment, Validatie van sensor- en meettechnologie voor detectie van optreden van piping in waterkeringen, Resultaten Pipingexperiment 2009, rapportnummer 2010-26 PIW, Groningen, Stichting IJkdijk, ISBN 978-90-5773-485-4.
- Most, H. van der, Táncoz, I, Bruijn, K.M. de & Wagenaar, D. (2014): New, risk-based standards for flood protection in the Netherlands, 6th International Conference on Flood Management, São Paulo, Brazil, September, 9 S.
- Sellmeijer, J.B. (1988): On the mechanism of piping under impervious structures, Ph.D. thesis, Technischer Universität Delft.

Autoren:

Dr.ir. André Koelewijn
Dipl.-Ing. Ulrich Förster

Deltares
Boussinesqweg 1
NL-2629 HV Delft

Tel.: +31 88 335 8273
Fax: +31 88 335 8582
E-Mail: andre.koelewijn@deltares.nl
ulrich.forster@deltares.nl

Hochwasserrisiko mindern und Ziele des Gewässerschutzes erreichen - geht das? Ein Praxisbeispiel: die ökologische Verbesserung des Gewässersystems der Emscher

Georg Johann
Hans-Gerd Frings

Die Emschergenossenschaft gestaltet im Zuge des laufenden Emscherumbaus, mit Blick auf die Ziele der europäischen Wasserrahmenrichtlinie, einen guten ökologischen Zustand der Gewässer herzustellen, 350 Gewässerkilometer ökologisch um. Davon sind bereits 120 km umgestaltet. Das Gewässersystem der Emscher fließt von Dortmund bis Duisburg durch ein dicht besiedeltes Einzugsgebiet mit 2,3 Mio. Einwohnern und einem sehr hohen Hochwasserrisiko. Dem Hochwasserrisikomanagement kommt deshalb eine grundlegende Rolle beim Emscher-Umbau zu. Im Rahmen der Umsetzung der Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie fallen der Emschergenossenschaft zwei Handlungsbereiche zu: Schaffung von natürlichem Wasserrückhalt und technischer Hochwasserschutz. Der weitere Ausbau technischer Schutzmaßnahmen stößt im dicht besiedelten Emschergebiet aufgrund geringer Flächenverfügbarkeit an seine Grenzen. So liegen die zukünftigen Handlungsoptionen zum einen in der Pflege und Optimierung der bestehenden technischen Hochwasserschutzanlagen, ganz besonders aber auch in der Schaffung von natürlichem Wasserrückhalt. Ein Schwerpunkt liegt dabei in der Gewässerrenaturierung und Auenentwicklung. Hier lassen sich die Ziele der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) und der Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (HWRM-RL) verbinden. In dieser Veröffentlichung wird die dämpfende Wirkung der ökologisch umgestalteten Gewässer in Kombination mit den technischen Hochwasserschutzanlagen auf die Hochwasserwellen zwischen HQ₂ und HQ₁₀₀ dargestellt. Es wird gezeigt, dass die Maßnahmen des Emscherumbaus mit der Verbesserung der natürlichen Rückhaltung und der Integration von technischen Hochwasserschutzmaßnahmen unverzichtbare Bestandteile des Hochwasserrisikomanagements sind.

Stichworte: Hochwasserrisiko, Wasserrahmenrichtlinie, Emscherumbau

1 Die naturnahe Gewässerumgestaltung im Emschergebiet

Die Emscher fließt von Dortmund nach Duisburg durch ihr rund 780 km² großes Einzugsgebiet dem Rhein zu. Anfang des 20. Jahrhunderts wurde aus der

Emscher, einem stark mäandrierenden Tieflandfluss, ein begradigter, vielerorts von Deichen gefasster Abwasserlauf eines dann von Steinkohlebergbau geprägten Einzugsgebiets. Das Gewässersystem der Emscher verlor seine Auen, wurde bis zu 5 m vertieft und begradigt. Somit wurde die Fließlänge um rund 30 % verkürzt und das Gewässergefälle entsprechend stark versteilt. Mit dem Ende der Bergsenkungen durch den Steinkohlebergbau wurde es Anfang der 1990er-Jahre möglich, das Emschersystem in seinem nun dicht besiedelten (2,3 Mio. Einwohner) und bebauten Gebiet (Bebauungsgrad von rund 60 %) wieder naturnah umzubauen.

Der nach Abstimmung mit allen Emscher-Kommunen und -Kreisen 2006 von der Emschergenossenschaft veröffentlichte Masterplan Emscher-Zukunft bildet den strategischen Orientierungsrahmen für die Entwicklung des Neuen Emschertals (*EMSCHERGENOSSENSCHAFT, 2006*). Das erarbeitete Entwicklungs- und Handlungskonzept verknüpft wasserwirtschaftliche, ökologische, städtebauliche und gestalterische Aspekte. Dem integralen Hochwassermanagement kommt dabei eine grundlegende Rolle beim Emscher-Umbau zu, da die Ansprüche an die Gestaltung der Städte bei gleichzeitig knapper werdenden Ressourcen und Flächen weiter steigt (*Johann et al., 2015*).

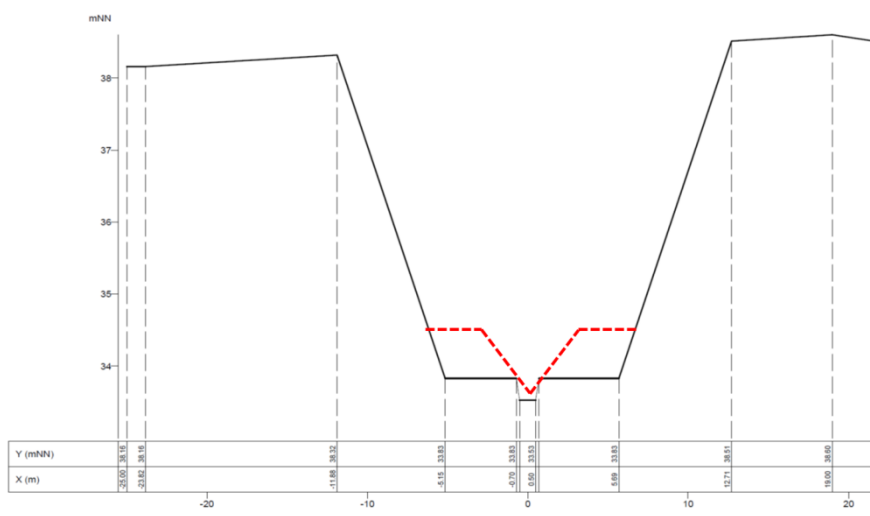


Abbildung 1: Beispiel eines Querprofils (hier überhöht dargestellt) eines ökologisch verbesserten Gewässers (Berne). Rot gestrichelt: technisch ausgebaut. Schwarz durchgezogen: ökologisch verbessert mit „Ersatzaue“

Im dicht besiedelten Emschergebiet ist für eine leitbildgemäße Gewässermorphologie oftmals kein Platz vorhanden. Um dies zu gewährleisten, müsste die Bebauung entlang der Gewässer im großen Umfang abgesiedelt werden. Die Reduzierung des Fließgefälles kann nur durch erhebliche Laufverlängerungen erreicht werden. Diese sind aufgrund der mangelnden Flächenverfügbarkeit nicht umsetzbar. Die Möglichkeiten zur Profilgestaltung

und -aufweitung sind durch die gegebenen Restriktionen deutlich begrenzt. Die Umgestaltung der Gewässer findet also meist innerhalb der bestehenden Gewässertrasse statt. In dieser Trasse wird die Berme abgegraben und eine Ersatzauze geschaffen. Abbildung 1 zeigt ein Beispiel eines Nebenlaufs der Emscher, die Berne. Dadurch wird dem Gewässer mehr Volumen zur Verfügung gestellt und damit auch mehr Möglichkeiten für Bewuchs im Gewässerprofil.



Abbildung 2: Beispiel eines Querprofils aus Abbildung 1, Links: technisch ausgebaut, Rechts: ökologisch verbessert mit Bewuchs nach einem Jahr nach Umbau



Abbildung 3: Umgestaltung des Borbecker Mühlenbachs, Links: technisch ausgebaut, Mitte: nach Umgestaltung, Rechts: 2 Jahre nach Umgestaltung

2 Abflusscharakteristik im Emschergebiet

Aufgrund des hohen Anteils versiegelter Flächen im Emschergebiet ist die Abflussbildung vor allem durch den Oberflächenabfluss geprägt. Der gefallene Niederschlag wird also zum großen Teil ohne wesentliche Retentionswirkung des Einzugsgebiets zum Gewässer geführt. Hochwasserwellen werden in diesem schnell reagierenden und abflussbereiten Einzugsgebiet besonders durch kurze und intensive Niederschlagsereignisse mit einer Dauer von 1 bis 12 Stunden generiert. Der Wellenablauf findet in den technisch ausgebauten Nebengewässern (Abbildungen 2 und 3) sehr schnell statt. Die Hochwasserwelle ist dabei durch ein extrem rasches Ansteigen und Abfallen gekennzeichnet. Damit wird auch das Abflussverhalten der Emscher bei Niederschlag im

Wesentlichen von ihren Nebenläufen geprägt. Diese Nebenläufe leiten einen Großteil des Einzugsgebietes ein. Aus diesem Grund sind die Zuflüsse insbesondere der 4 großen Nebenläufe Hüller Bach, Schwarzbach, Boye und Berne für das Abflussverhalten in der Emscher prägend (Abbildung 4).

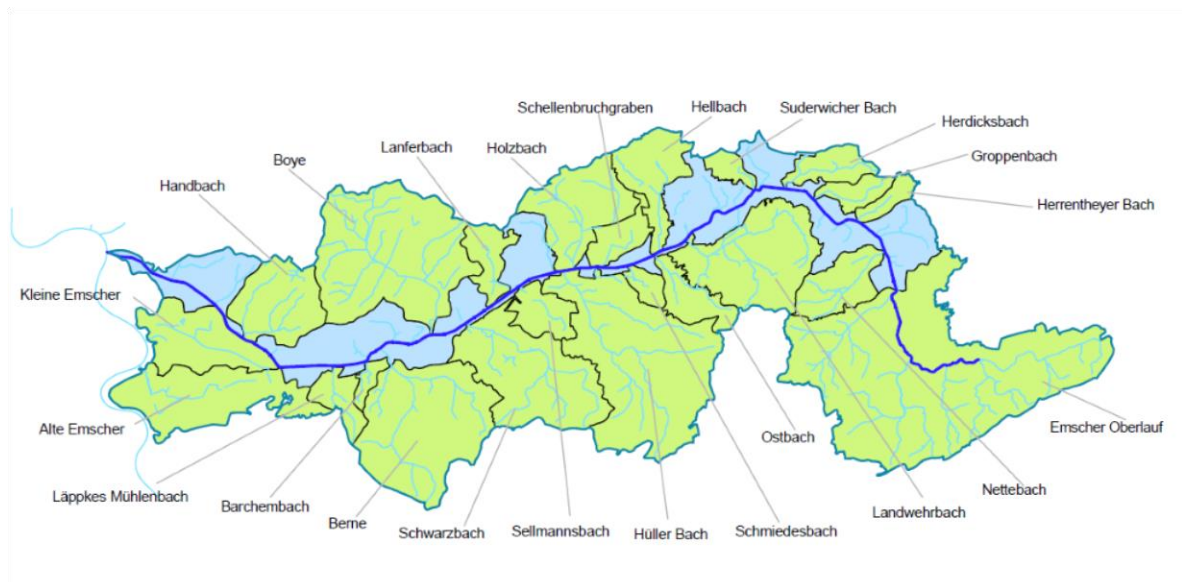


Abbildung 4: Emschergebiet und seine Teileinzugsgebiete

3 Untersuchung der Veränderung der Abflusscharakteristik durch den Emscherumbau

Die Abflusscharakteristik wird durch den Emscherumbau im wesentlichen durch drei Faktoren verändert:

- Bau von Regenrückhaltebecken und Hochwasserrückhaltebecken, wenn Platz zur Verfügung steht, der zur Dämpfung der Hochwasserwelle führt.
- Entflechtung der Mischwasserabflüsse aus dem Gewässer ins Kanalnetz, somit ist weniger Wasser im Gewässer, auch bei Hochwasser.
- Ökologische Verbesserung der Gewässer, die entsprechend der Struktur des Gewässers und seiner Aue durch Retention die Hochwasserwelle verzögern und abflachen kann.

Um die Veränderung der Abflusscharakteristik durch den Emscherumbau zu untersuchen, werden die Hochwasserabflüsse der Emscher-Nebenläufe (Abbildung 4) an der Mündung in die Emscher analysiert. Den Effekt der Entflechtung und der Retention durch die in Kapitel 1 beschriebene Gewässerumgestaltung auf den Ablauf der Hochwasser zeigt Abbildung 5 am

Beispiel einer 2-jährlichen Hochwasserwelle der Berne. Zum einen ist der Tagesgang der Mischwassereinleitungen ins Gewässer im technisch ausgebauten Zustand zu sehen. Zum anderen die Verzögerung der Hochwasserwelle durch die Gewässerumgestaltung. Der Hochwasserscheitel verringert sich von 41,5 m³/s auf 31,5 m³/s, also um rund 25 %.

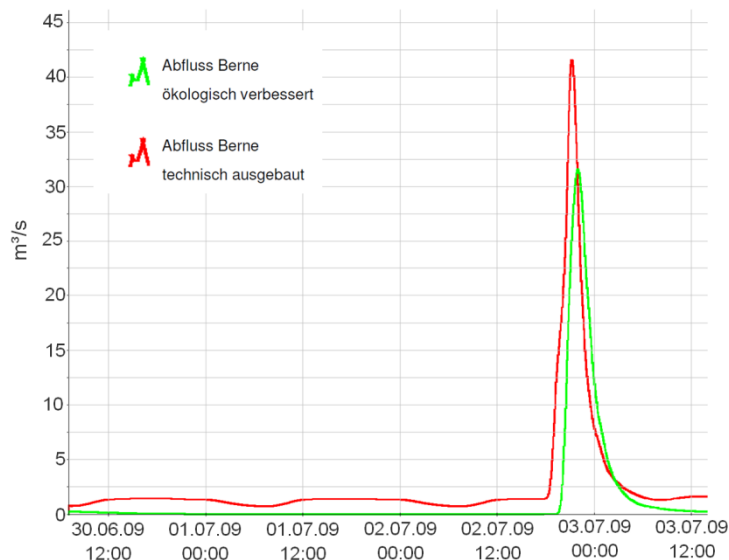


Abbildung 5: Simulierte Hochwasserganglinien der Berne

4 Methodik der Niederschlag-Abfluss-Simulation und Ermittlung der Hochwasserabflüsse

Die Aufstellung eines HGM erfordert eine Untergliederung des Einzugsgebietes in einzelne Teileinzugsgebiete, die miteinander zum Gesamtmodell vernetzt werden. Zudem sind die Teileinzugsgebiete als hydrologisch homogene Einheiten festzulegen.

Das verwendete HGM „NASIM“ (Hydrotec) unterscheidet natürliche und versiegelte Teilgebietsanteile. Für beide Teilgebietsanteile werden Abflüsse getrennt simuliert. Die einzelnen Abflusskomponenten eines Teileinzugsgebietes können unterschiedlichen Gerinneelementen zugeleitet werden. Natürliche Abflüsse sowie der Grundwasserstrom werden entsprechend dem natürlichen Gefälle in unterhalb liegende Teileinzugsgebiete weitergeleitet oder erreichen direkt das Gewässer. Damit können die unterschiedlichen Abflusswege im Modell nachvollzogen werden. Den Transportsammlern fließen lediglich Abflüsse der befestigten Teilflächen aus städtischen Teileinzugsgebieten zu.

Das HGM berücksichtigt die Abflussanteile von natürlichen und versiegelten Oberflächen, der oberen Bodenzone und der tiefen Bodenzone, Grundwasserabfluss und den Wassertransport in Kanälen und natürlichen Gerinnen. Durch unterschiedliche Konzentrationszeiten ergibt sich eine zeitlich differenzierte Überlagerung dieser Abflussanteile, so dass eine realistische Simulation der natürlichen und urban geprägten Abflusswellen möglich ist. Die Simulation des Bodenspeichers basiert auf bodenphysikalischen Kennwerten, die eine räumlich gegliederte Simulation von Infiltrations- und Exfiltrationsprozessen sowie des Bodenspeichervermögens erlauben. Zur Simulation der Abflüsse werden im HGM die Niederschlags- und Klimadaten benötigt.

Für das Einzugsgebiet der Emscher lagen zurzeit der Berechnung 22 kontinuierliche Niederschlagszeitreihen für den Zeitraum 1.1.1950 bis 1.1.2010 (60 Jahre) vor, die für die Langfristsimulation verwendet wurden.

Die Geometrie der Gerinne und damit der Transport des Abflusses im Gerinne und die Dämpfung von Hochwasserscheiteln gingen durch die Erfassung repräsentativer Beziehungen zwischen Abflussmenge, Wasserspiegelbreite und Abflusstiefe (Q/b/h-Beziehung) ins Modell ein. Diesen Berechnungen liegen die geometrischen Daten aller Querprofile zugrunde. Die Q/b/h Beziehungen wurden mithilfe stationär-ungleichförmiger Berechnungen bei schrittweise steigenden Wassermengen gewonnen. Durch dieses Verfahren können im hydrologischen Gebietsmodell auch mögliche Retentionswirkungen eingestauter Bauwerke oder überfluteter Vorländer berücksichtigt werden. Die Fließwiderstände in den Gewässerabschnitten wurden nach den Verfahren „Darcy-Weisbach“ (Wandrauheiten) und „Mertens“ (Bewuchs) berechnet.

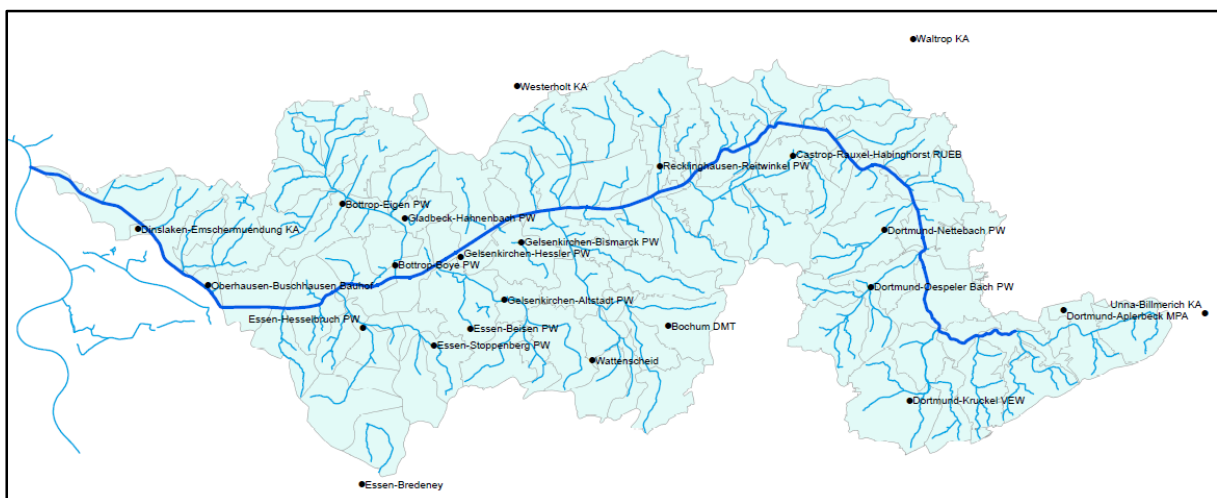


Abbildung 6: Übersicht der N-Stationen im Emschergebiet zur Langfristsimulation

Die Teilgebietsparameter werden überwiegend aus den digital im GIS verfügbaren Grundlagendaten zur Topografie, Nutzung und Boden abgeleitet.

Hierzu wurden alle Daten in GIS zusammengestellt und verwaltet. Die Modellparameter werden direkt an NASIM übergeben. Die wichtigsten Parameter bei Erstellung eines HGM sind:

- Flächengröße und Versiegelungsgrad,
- Bodenkennwerte (z. B. max. Infiltrationsrate, Feldkapazität, GPV),
- Gerinneparameter (z. B. Länge, Gefälle),
- Speicherelemente (z. B. Volumen, Drossel).

Die Berechnung von Hochwasserabflüssen erfolgte über eine Langzeitsimulation mit statistischer Auswertung. Für Hochwasserabflüsse bis zu einem HQ_5 wird zur Auswertung die partielle Serie als Stichprobenumfang bevorzugt verwendet. Außerdem wird in diesem Bereich keine Verteilungsfunktion angepasst, sondern auf die empirische Verteilung zurückgegriffen. Für Abflüsse größer als HQ_5 hingegen erfolgt die extremwertstatistische Auswertung auf Basis einer jährlichen Serie. Als Verteilungsfunktion wird die Funktion gewählt, die visuell die beste Anpassung an die empirischen Werte liefert.

5 Auswirkung der ökologischen Verbesserung der Emscher und ihrer Nebenläufe auf die Hochwasserabflüsse

Die Auswirkung der ökologischen Verbesserung auf die Hochwasserabflüsse ist bei Betrachtung der Simulationsergebnisse evident.

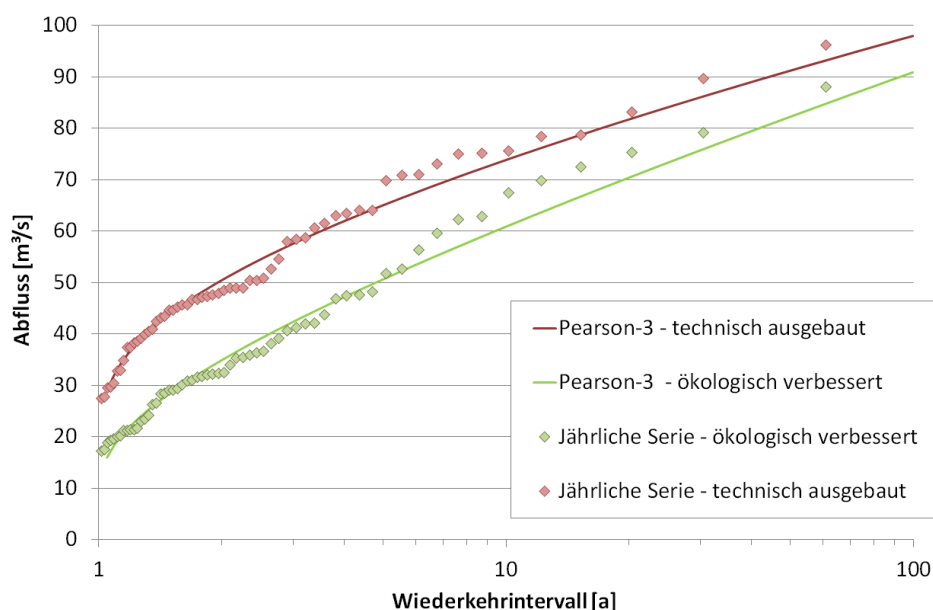


Abbildung 7: Vergleich der Abfluss-Statistik der Berne für den technisch ausgebauten und den ökologisch verbesserten Zustand

In Abbildung 7 werden die Hochwasserabflüsse von den technisch ausgebauten und den ökologisch verbesserten Zustand für die Berne verglichen. Die Hochwasserabflüsse im ökologisch verbesserten Zustand sind deutlich geringer. Dies zeigt auch Abbildung 8, in der für alle Emscher-Nebenläufe die HQ₂- und HQ₁₀₀-Abflüsse des ökologisch verbesserten dem technisch ausgebauten Zustand gegenübergestellt werden.

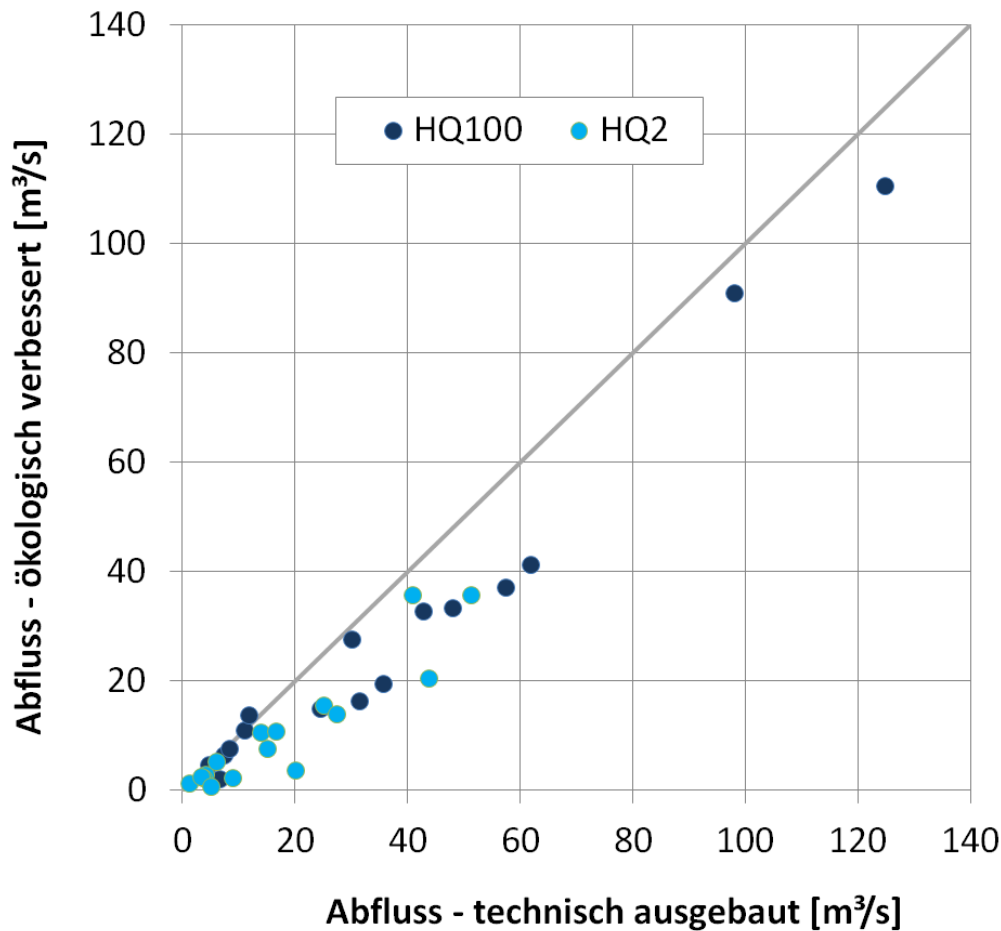


Abbildung 8: Vergleich der Hochwasserabflüsse der Emscher-Nebenläufe für HQ₂ und HQ₁₀₀ für technisch ausgebauten (X-Achse) und ökologisch verbesserten Zustand (Y-Achse)

Die Abbildung 9 zeigt die prozentale Abflussminderung des ökologisch verbesserten gegenüber dem technisch ausgebauten Zustands für HQ₂ und HQ₁₀₀. Der Mittelwert der Abflussreduzierung liegt für HQ₂ bei 41 % und für HQ₁₀₀ bei 22 %. Selbst bei großen HQ₁₀₀-Abflüssen Berne (97 m³/s) und Emscher-Oberlauf (124 m³/s) erfolgt eine Abflussreduktion um rund 10 %.

Vereinzelt zeigen sich auch Fälle, in denen Abflüsse durch die ökologische Verbesserung erhöht werden, oder in denen Abflussminderungen kaum feststellbar sind. Hier wurden Brücken und Durchlässe aufgrund des

Hochwasserschutzes in ihrer Leistungsfähigkeit vergrößert. Somit ergibt sich ein kleineres Hochwasserrisiko im Oberwasser der Bauwerke, jedoch an der Mündung in die Emscher höhere Abflüsse.

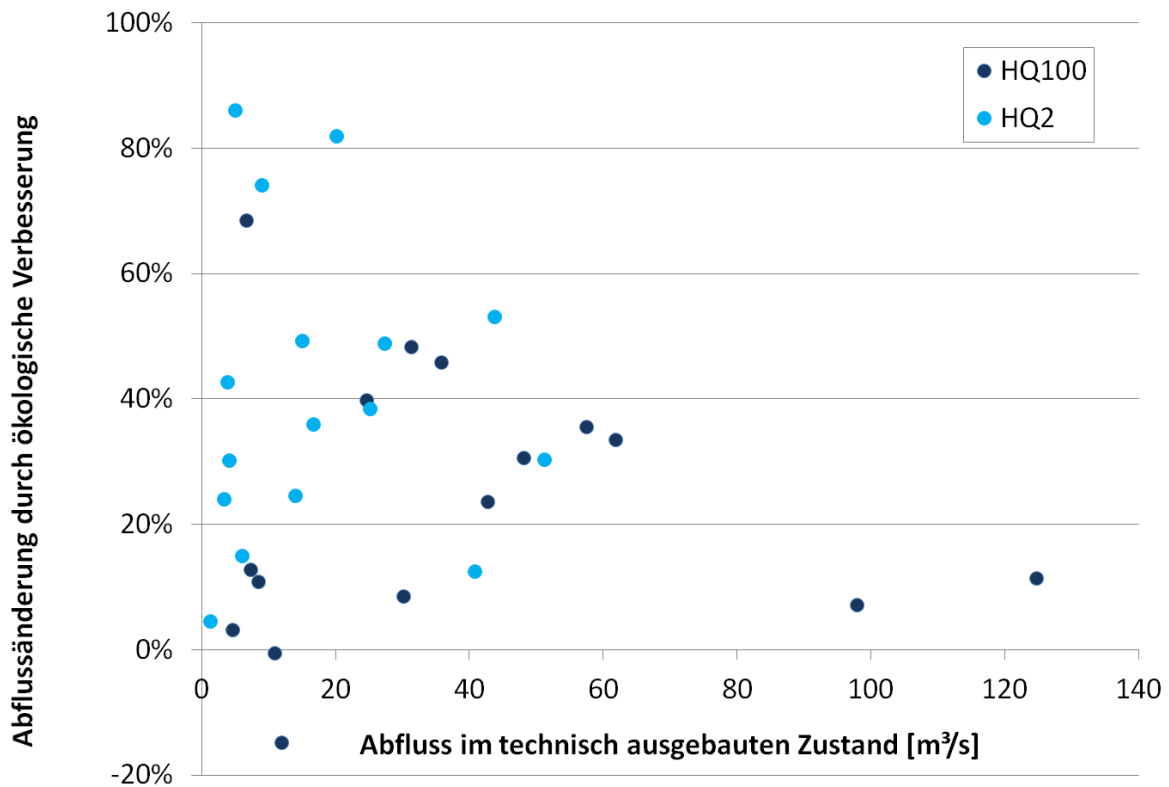


Abbildung 9: Änderung der Hochwasserabflüsse der Emscher-Nebenläufe für HQ₂ und HQ₁₀₀ durch die ökologische Verbesserung in Bezug auf den technisch ausgebauten Zustand

6 Fazit und Ausblick

Die hohe Retentionswirkung des ökologisch verbesserten Zustands ergibt sich aus einer Kombination der Schaffung von natürlichem Wasserrückhalt (Gewässerumgestaltung) mit technischem Hochwasserschutz in Form von Regenrückhaltebecken (RRB) und Hochwasserrückhaltebecken (HRB). Dabei wirken die RRB zielgerichtet auf die Gewässerverträglichkeit der Einleitungen aus Mischwasserbehandlungsanlagen, die HRB stellen die zentralen Elemente des technischen Hochwasserschutzes für seltene Hochwässer dar. Einige Nebenläufe der Emscher zeigen, dass auch ohne zusätzlichen technischen Hochwasserschutz eine große Retentionswirkung im Vergleich zum technisch ausgebauten Zustand erreicht werden kann.

Die Erfahrungen des Emscherumbaus zeigen, dass das Zusammenspiel verschiedener Einflussgrößen auf die Retentionswirkung die wesentliche Rolle im planerischen Prozess spielt. In den bestehenden räumlichen Möglichkeiten eines Einzugsgebiets kann mit einem Portfolio an unterschiedlichen dezentralen und zentralen Maßnahmen die bestmögliche Retentionswirkung erreicht werden. Welche Retentionswirkung welcher Maßnahme genau zuzuordnen ist, wurde nicht untersucht. Dies könnte mit Variantenrechnungen näher betrachtet werden.

Die Wasserspiegellage im Gewässer sinkt trotz der niedrigeren Abflüsse nicht direkt, weil durch die höheren Bewuchsanteile im Gewässer die Fließgeschwindigkeiten zurückgehen. Planungsziel ist es, den für den technisch aufgebauten Zustand hohen Hochwasserschutz nicht zu verringern. An vielen Stellen gelingt es, mit der ökologischen Verbesserung des Emschersystems den Hochwasserschutz zu verbessern (*Grün et al., 2014*).

7 Literatur

- EMSCHERGENOSSENSCHAFT (2006): Masterplan Emscher-Zukunft. Das Neue Emschertal. Essen
- E. Grün, G. Johann & A. Pfister (2014): Hochwassersicherheit im urbanen Raum. In: Tagungsband Essener Tagung
- Johann, G., Heiser, T., Schumacher, R. (2015): Wirksame Steuerungsgrößen im integrierten Hochwassermanagement - wie können sie gefunden werden? In: Tag der Hydrologie 2015 (Hrsg.: M. Evers), Bonn

Autoren:

Dipl.-Hydrologe Georg Johann

M. A. Geograph Hans-Gerd Frings

Emschergenossenschaft
Kronprinzenstrasse 28
45128 Essen

Emschergenossenschaft
Kronprinzenstrasse 28
45128 Essen

Tel.: +49 201 104 2249
E-Mail: johann.georg@eglv.de

Tel.: +49 201 104 2739
E-Mail: frings.hans@eglv.de

Von der hydrologischen zur risikobasierten Hochwasservorhersage

Daniel Bachmann, Dirk Eilander
Annemargreet de Leeuw, Joost Beckers
Ferdinand Diermanse, Peter Gijssbers

Hochwasservorhersage, -warnung und Katastrophenschutz sind wichtige Bestandteile des Hochwasserrisikomanagements. Diese Maßnahmen tragen wesentlich dazu bei, das vorhandene Restrisiko im Hochwasserfall zu reduzieren.

Die vorhergesagten Informationen über Abflüsse oder Wasserstände berücksichtigen oft nur hydrologische oder hydraulische Aspekte des Systems. Relevante Informationen über die Zuverlässigkeit der Hochwasserschutzlinie, das Ausbreitungsverhalten einer Überflutung im Gebiet selbst und die dort vorhandenen Sachwerte und Infrastrukturen werden im operativen Einsatz nicht in einem System genutzt.

In Zusammenarbeit von Deltares (NL) und HR Wallingford (UK) werden deshalb Ansätze, Methoden und Werkzeuge mit dem Ziel entwickelt, bestehende hydrologisch basierte Hochwasservorhersagesysteme mit Elementen der strategischen Hochwasserrisikoanalyse, wie der Zuverlässigkeitsanalyse, der Analyse der Überflutungsausbreitung und der Hochwasserkonsequenzen, zu erweitern.

Stichworte: Hochwasserrisiko, Hochwasservorhersage, Katastrophenschutz

1 Einleitung

Die drei Säulen eines modernen Hochwasserrisikomanagements sind: Vermeidung, Schutz und Vorsorge. Wichtige Maßnahmen im Bereich der Vorsorge sind die Hochwasservorhersage, -warnung und der Katastrophenschutz (EU, 2007). Diese Maßnahmen dienen der Reduktion des Restrisikos durch eine frühzeitige und effektive Warnung.

Innerhalb des Katastrophenschutzes werden spezifische Warnungen in spezifische Notfallmaßnahmen umgesetzt (Verkade & Werner, 2011). Angepasste Steuerung von Hochwasserrückhalteräumen, Verstärkung vorhandener technischer Hochwasserschutzmaßnahmen durch Sandsäcke, notfallmäßige Errichtung eines zeitlich begrenzten Hochwasserschutzes sowie die horizontale oder vertikale Evakuierung von Personen sind Beispiele von Notfallmaßnahmen, die im Rahmen des Katastrophenschutzes zur Verfügung stehen.

Die derzeit eingesetzten modell-basierten Hochwasservorhersagesysteme berücksichtigen in der Regel folgende Prozesse: meteorologische Modelle dienen der Vorhersage der räumlichen und zeitlichen Verteilung von Niederschlag, Wind und Temperatur; daran anschließend transformiert ein hydrologisches Modell die meteorologischen Eingangsdaten in hydrologische Daten, wie beispielsweise Abflüsse im Fluss (vgl. Abbildung 1).

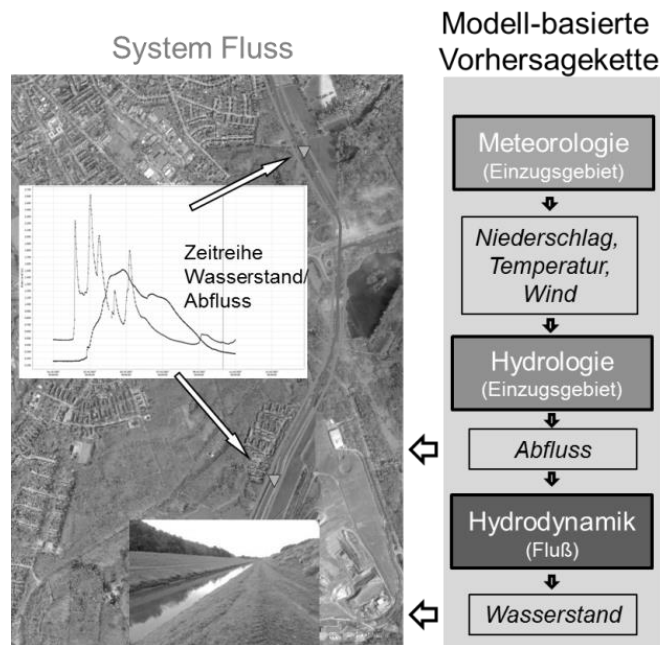


Abbildung 1: Status-quo einer modell-basierten Hochwasservorhersage: von der meteorologischen zur hydrologischen Vorhersage

Diese Informationen helfen jedoch nur teilweise relevante Fragen des Katastrophenschutzes zu beantworten:

- Wo und wann ist ein Versagen der Hochwasserschutzlinie möglich?
- Wo und wann muss die Hochwasserschutzlinie durch temporäre Maßnahmen verstärkt werden?
- Was sind die Konsequenzen des Überströmens oder Versagens der Hochwasserschutzlinie im Hinterland?
- Welche Maßnahmen können effizient diese Konsequenzen verhindern oder reduzieren?

Diese Fragen werden derzeit im Hochwasserfall weitestgehend mit Hilfe von Expertenwissen oder vorberechneten Informationen (z. B. Überflutungsflächen) beantwortet. Vor- und Nachteile der erwähnten Ansätze im Rahmen einer operativen Anwendung können wie folgt zusammengefasst werden:

- Vorteile Expertenwissen: schneller Zugriff; basierend auf langjährigen Erfahrungen; Anpassung an vorhergesagte Zustände möglich;
- Nachteile Expertenwissen: Intuitive und subjektive Einschätzung der Situation möglich; Verfügbarkeit des Experten;
- Vorteile vorberechneter Informationen: schneller Zugang zu geprüften und objektiven Informationen;
- Nachteile vorberechneter Informationen: Verfügbarkeit der Informationen; Anpassung an vorhergesagte Zustände nicht immer möglich.

Das in diesem Artikel vorgestellte Konzept erweitert die derzeit angewendeten modell-basierten Vorhersagesysteme (vgl. Abbildung 1) durch Ansätze, welche schon seit einigen Jahren in der strategischen Hochwasserrisikoanalyse angewendet werden. Methoden, wie die probabilistische Zuverlässigkeitsanalyse, die 2-dimensionale Modellierung der Überflutungsausbreitung und die Analyse der Konsequenzen, werden so angepasst, um dem Entscheidungsträger auch im operativen Bereich folgende zusätzliche Informationen zur Verfügung zu stellen:

- Ort, Zeit und Wahrscheinlichkeit eines Versagens in der Hochwasserschutzlinie,
- Überflutungsausbreitung und hydraulische Größen im Hinterland im Fall eines Versagens der Hochwasserschutzlinie,
- Konsequenzen der Überflutung im Hinterland, wie betroffene oder gefährdete Personen und Schäden an kritischen Infrastrukturen.

Diese zusätzlich vorhergesagten Informationen erweitern die bereits vorhandenen Informationen (Expertenwissen, vorberechnete Daten). Dadurch kann die Auswahl von Notfallmaßnahmen effizienter unterstützt (z. B. Ort, Zeit und Typ) und deren Bereitstellungszeit wesentlich verringert werden.

2 Erweiterung 1: Von dem meteorologischen Ereignis zur Versagenswahrscheinlichkeit

Erweiterung 1 berücksichtigt die Zuverlässigkeit der Hochwasserschutzlinie in der Hochwasservorhersage (vgl. Abbildung 2). Dazu wird die Hochwasserschutzlinie in quasi-homogene Sektionen (nach Typ, Geometrie und geotechnische Parameter etc.) eingeteilt. Die Zuverlässigkeit pro Sektion wird unter Berücksichtigung von geotechnischen und hydraulischen Aspekten in der sogenannten Einwirkungs-Versagensfunktion zusammengefasst.

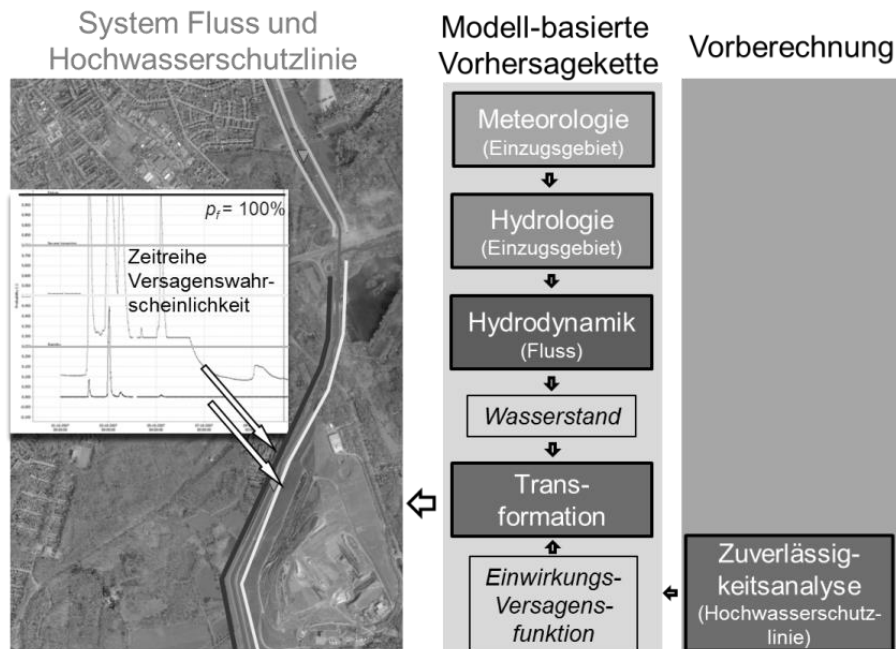


Abbildung 2: Integration einer probabilistischen Zuverlässigkeitsanalyse in die Vorhersagekette durch Erweiterung 1 zur Berücksichtigung der Zuverlässigkeit der Hochwasserschutzlinie

Die Einwirkungs-Versagensfunktion $Frc(x)$ fasst die Zuverlässigkeit eines Bauwerkes in Abhängigkeit einer definierten Einwirkungsgröße zusammen (Hall et al., 2003). Im gegebenen Kontext wird der Wasserstand h_w im Gewässer am Bauwerk als einwirkende Größe definiert. Die Funktion stellt die bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit eines Versagensereignisses $P(\text{Versagen}|\text{Einwirkung})$ [-] auf der Ordinate in Abhängigkeit des Wasserstandes h_w [m] auf der Abszisse (vgl. Abbildung 3) dar. Die Ermittlung der Einwirkungs-Versagensfunktion findet in der Regel durch Expertenwissen oder eine probabilistische modellbasierte Analyse statt (Bachmann et al., 2013).

Die Einwirkungs-Versagensfunktion wird bisher vorwiegend in der strategischen Hochwasserrisikoanalyse angewendet (Bachmann & Schüttrumpf, 2014). In letzter Zeit zeigt sich jedoch der Bedarf, diese Funktion auch im operativen Bereich einzusetzen (Schultz et al., 2010). So verwenden beispielsweise Bachmann et al. (2013) Einwirkungs-Versagensfunktionen für 60 Deichsektionen entlang der Emscher, um probabilistische Aspekte in eine operative Hochwasservorhersage zu integrieren.

Die Einwirkungs-Versagensfunktion wird pro Sektion vor einer operativen Anwendung ermittelt. Es gilt die Annahme, dass relevante Eingangsparameter während eines Hochwasserereignisses konstant sind. Eine Aktualisierung wird dann notwendig, wenn gemessene (z. B. Sensordaten) oder beobachtete Daten (z. B. durch Deichinspektion) zur Verfügung stehen.

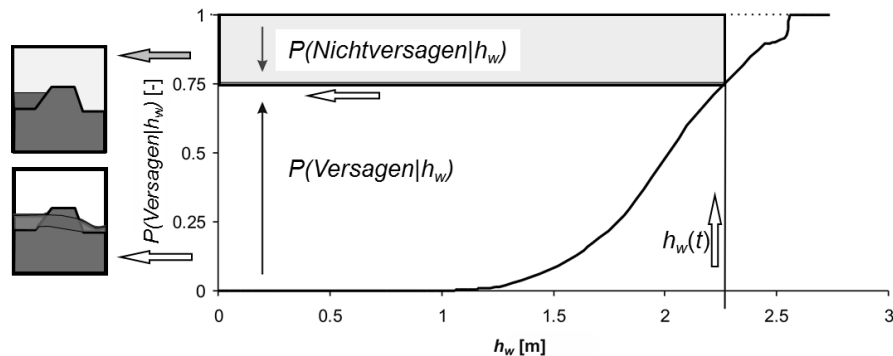


Abbildung 3: Konzept der Einwirkungs-Versagensfunktion; Transformation des Wasserstandes h_w in eine Versagenswahrscheinlichkeit $P(\text{Versagen}|h_w)$

In der operativen Anwendung werden dann die vorhergesagten Wasserstände mit Hilfe der Einwirkungs-Versagensfunktion in vorhergesagte Zeitreihen der Versagenswahrscheinlichkeit pro Sektion transformiert (vgl. Abbildung 2 und Abbildung 3). Diese Transformation vom Wasserstand zur Versagenswahrscheinlichkeit kann sehr schnell und effizient durchgeführt werden.

Somit stehen dem Entscheidungsträger Informationen über die Zuverlässigkeit der Hochwasserschutzlinie zur Verfügung. Maßnahmen wie eine Erhöhung der Inspektionsintervalle oder eine notfallmäßige Verstärkung der Hochwasserschutzlinie können zeitnah organisiert und geplant werden.

3 Erweiterung 2: Vom Versagensereignis zur Konsequenz

Die Erweiterung 2 zielt auf die modell-basierte Vorhersage möglicher Auswirkungen und Schäden im Hinterland durch ein Versagensereignis (Überströmen oder Bresche), wie in Abbildung 4 dargestellt, ab.

Das Ziel der hydrodynamischen Analyse ist es, die vorhergesagten hydrologischen Randbedingungen in hydraulische Größen, wie Wasserstände und Fließgeschwindigkeiten, zu transformieren. Dabei werden sowohl die morphologischen Verhältnisse im Fluss und im Hinterland, als auch der Zustand der Hochwasserschutzlinie (Versagens- und Nichtversagensereignisse) berücksichtigt.

In der Analyse der Breschenentwicklung wird die Aufweitung einer Bresche modelliert. Diese hängt wesentlich von den geotechnischen und geometrischen Parametern der Hochwasserschutzsektion sowie vom Potentialunterschied zwischen Flusswasserstand und Wasserstand im Hinterland als treibende Kraft ab.

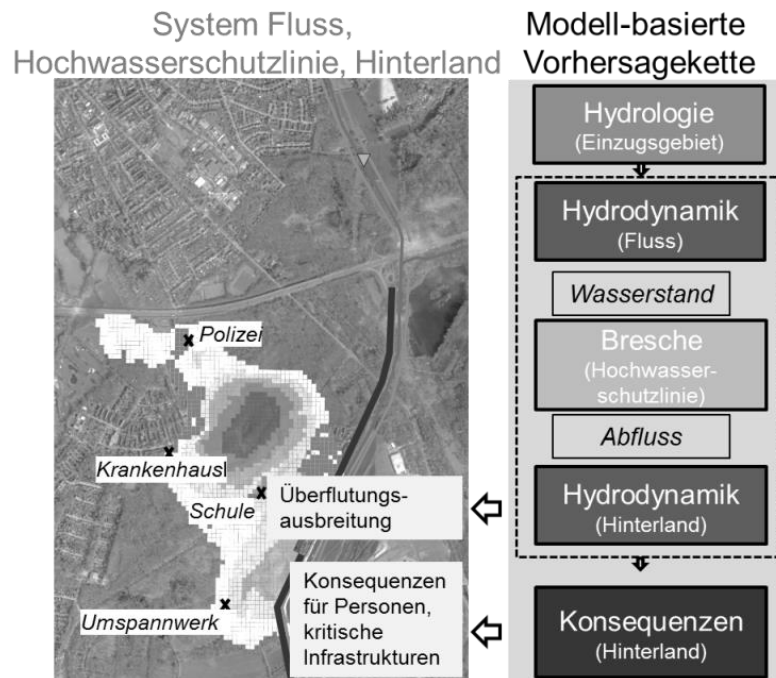


Abbildung 4: Integration der Breschenentwicklung, der Überflutungsausbreitung und möglicher Konsequenzen in die Vorhersagekette durch Erweiterung 2, um modell-basierte Informationen über die Auswirkungen einer Überflutung bereitzustellen

Die Analyse der Konsequenzen hat zum Ziel, die hydraulischen Größen in Konsequenzen für Personen, Wirtschaft und Umwelt zu transformieren. In einer operativen Anwendung ist eine rein qualitative Einschätzung der Konsequenzen oft ausreichend. Im Gegensatz zu einer quantitativen Analyse, oft angewendet in einer strategischen Hochwasserrisikoanalyse, wird bei einer qualitativen Einschätzung die Überflutungsausbreitung mit räumlichen Informationen über Landnutzungen, Bevölkerungsdichten oder kritischen Infrastrukturen verschnitten. Eine rein visuelle Aufbereitung dient dann einer qualitativen Einschätzung der Konsequenzen.

4 Prototypanwendung Rotterdam

4.1 Einleitung

Das Gebiet der Stadt Rotterdam liegt im westlichen Teil der Niederlande (vgl. Abbildung 5) am Delta von Maas und Rhein ca. 35 km von der Nordsee entfernt. Es ist mit einer durchschnittlichen Einwohnerdichte von 3000 Einwohner/km² dicht besiedelt. Die Landnutzung wird durch Wohnbebauung, Industrie und Landwirtschaft geprägt.

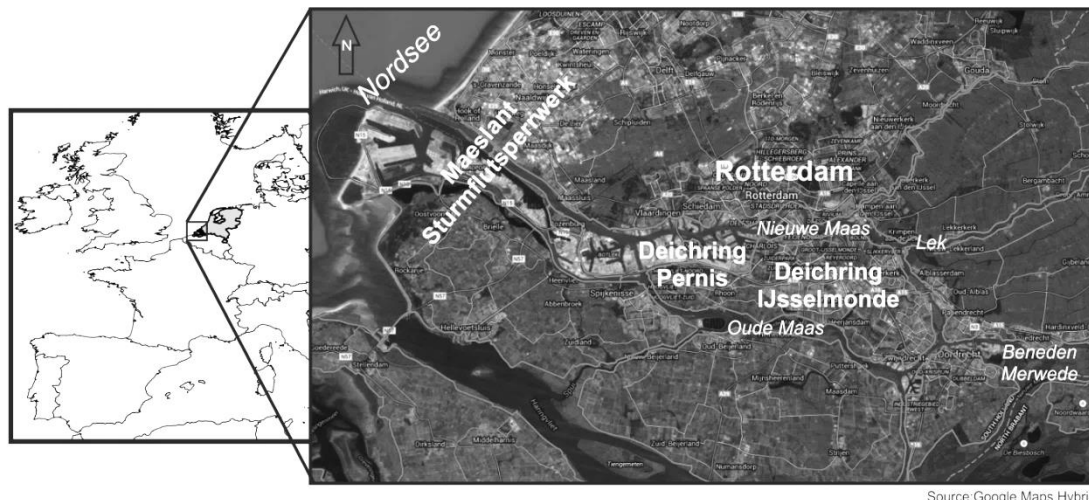


Abbildung 5: Übersicht Prototypanwendung Rotterdam

Die durchschnittliche Höhenlage von 0 m NAP (Normal Amsterdamer Pegel) und das vorhandene hohe Schadenspotential führt zu einem sehr hohen Hochwasserrisiko im Gebiet. Dieses hohe Hochwasserrisiko – sowohl von See- als auch von Binnenseite – wird durch technische Hochwasserschutzmaßnahmen, wie das Maeslant Sturmflutsperwerk und durch Eindeichung des Gebietes mit einem hohen Schutzstandard (bis einem zu 10.000-jährlichen Ereignis) minimiert.

Ziel dieser Prototypanwendung ist es, die Möglichkeiten und den zusätzlichen Nutzen einer erweiterten Vorhersage für Entscheidungsträger des Katastrophenschutzes zu demonstrieren. Sie dient nicht dazu, das Hochwasserrisiko im Gebiet zu bewerten. Deshalb werden an verschiedenen Stellen Veränderungen des realen Systems vorgenommen (z. B. Maeslant Sturmflutsperre schließt nicht, Verringerung der Deichzuverlässigkeiten), da ansonsten – aufgrund des hohen vorhandenen Schutzstandards – eine Demonstration des Verfahrens nicht möglich wäre.

4.2 Modellaufbau

Im Modellgebiet liegen die Deichringe Pernis und IJsselmonde, welche im südlichen Bereich von Rotterdam liegen (vgl. Abbildung 5).

Zuverlässigkeitsanalyse

14 Deichsektionen im Deichring IJsselmonde und eine Sektion im Deichring Pernis werden als potentielle Bruchstellen im Modell berücksichtigt (vgl. Abbildung 6). Für diese Sektionen liegen vorberechnete Einwirkungs-Versagensfunktionen vor (*van der Meij*, 2013), welche sich aus den Versagenswahrscheinlichkeiten der Fehlermechanismen Überströmen, Piping und Makrostabilität zusammensetzen.

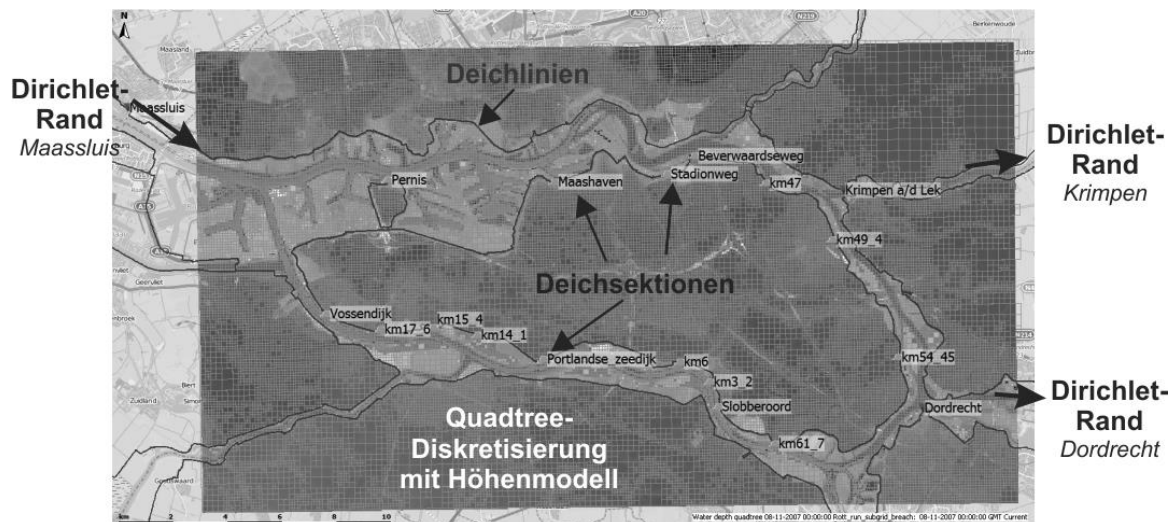


Abbildung 6: Berücksichtigte Deichsektionen und Modellaufbau zur hydrodynamischen Analyse

Hydrodynamische Analyse

Zur hydrodynamischen Analyse wird die von Deltares, Delft University of Technology und Neelen & Schuurmans entwickelte Modellierungssoftware 3Di angewendet. Sie basiert auf der Lösung der 2-dimensionalen ST.-VENANT Gleichung auf einem *Quadtree*-Raster. Für jedes *Quadtree*-Element sind sogenannte *Subgrid*-Elemente definiert, um eine höhere Auflösung des Geländes zu erreichen (Stelling, 2012).

Insgesamt werden ca. 500 km² im hydrodynamischen Modell durch ca. 40.000 *Quadtree*-Elemente abgedeckt (vgl. Abbildung 6). Die Größe der Elemente liegt dabei zwischen 100 x 100 m bis 400 x 400 m. Die den *Quadtree*-Elementen zugrunde liegenden *Subgrid*-Elemente weisen eine Größe von 25 x 25 m auf. Die Deichlinien der Deichringe werden durch 1-dimensionale Elemente im Modell repräsentiert. Das Modell umfasst sowohl die Deichringe als auch die umgebenden Flüsse (vgl. Abbildung 6), um mögliche Rückstauwirkungen zwischen Fluss und Hinterland im Modell zu berücksichtigen.

Als Randbedingungen werden DIRICHLET-Randbedingungen (Wasserstände) an den Pegelstationen Maassluis, Krimpen und Dordrecht (vgl. Abbildung 6) angesetzt. Diese Zeitreihen basieren in der Prototypanwendung auf historisch gemessenen Wasserständen, können aber entsprechend für die operative Anwendung auf vorhergesagte Daten umgestellt werden. Die Berechnungsdauer des 2-dimensionalen Modells beträgt ca. 45 min auf einem handelsüblichen Laptop für einen Vorhersagezeitraum von 50 Stunden.

Analyse der Konsequenzen

Die Analyse der Konsequenzen basiert auf einem rein qualitativen Ansatz. Als Grundlage dazu dient die räumliche Verteilung der Einwohnerdichten, sowie räumliche Informationen über kritische Infrastrukturen, wie öffentliche Gebäude (z. B. Feuerwehr, Polizei etc.), kulturell bedeutende Orte (z. B. Museen etc.) oder Gebäude mit besonders gefährdeten Personen (z. B. Krankenhaus, Kindergarten etc.).

4.3 Ergebnisse

Erweiterung 1

Abbildung 7 (links) zeigt die berechneten Zeitreihen der Wasserstände an den 15 Deichsektionen vom 08.11.2007 0:00 Uhr bis 09.11.2007 23:00 Uhr, in Abhängigkeit der historischen/vorhergesagten Randbedingungen. Die mit Hilfe der Einwirkungs-Versagensfunktionen transformierten Zeitreihen der Versagenswahrscheinlichkeiten sind in Abbildung 7 (rechts) gezeigt. Ein starker Anstieg der Versagenswahrscheinlichkeit der Deichsektion km14 und km47 zum Zeitpunkt 09.11.2007 um 1:00 Uhr wird deutlich. Dabei werden mehrere definierte Grenzwerte überschritten, was beispielsweise eine Erhöhung der Inspektionsintervalle in diesen Deichsektionen oder eine Vorbereitung notfallmäßiger Deichverstärkungen zur Folge hätte.

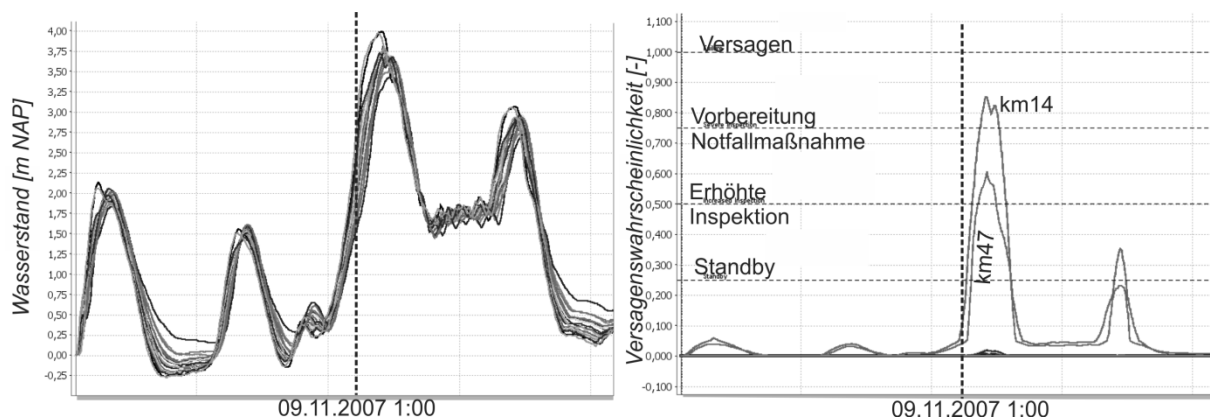


Abbildung 7: Berechnete Zeitreihen der Wasserstände (links); transformierte Zeitreihen der Versagenswahrscheinlichkeiten und Grenzwerte (rechts)

Erweiterung 2

Eine Übersicht des instationären Verhaltens der Überflutungsausbreitung im Fall eines Versagens von Deichsektion km14 und km47 gibt Abbildung 8 (schwarze Gebiete) für die Zeitpunkte 09.11.2007 00:00 (oben links) bis 10.11.2007 00:00 (unten rechts). Abbildung 8 (oben rechts) zeigt die Situation ca. 2 h nach Beginn

der Deichbrüche in den Deichsektionen (Zeitpunkt 09.11.2007 5:00). Erste Überflutungen in dicht besiedelten Gegenden (dunkel graue Bereiche in Abbildung 8) werden deutlich. Die darauffolgenden Zeitpunkte (ca. 9 h und 21 h nach Breschenstart; Abbildungen 8 unten) zeigen fortschreitende Überflutungen im westlichen Teil des Deichrings in dicht besiedelten Gebieten.

Der Nutzen der zusätzlichen Informationen für den Katastrophenschutz wird in Abbildung 8 deutlich, wenn die Überflutungsausbreitung mit entsprechenden Informationen über Bevölkerungsdichten oder kritischen Infrastrukturen in einer qualitativen Konsequenzenanalyse verschnitten werden. Informationen über die Auswirkungen (welche Bereiche sind wann betroffen?) eines vorhergesagten hydrologischen Ereignisses stehen dem Entscheidungsträger so zur Verfügung. Entsprechende Maßnahmen können zeitnah im Vorfeld geplant und organisiert werden.

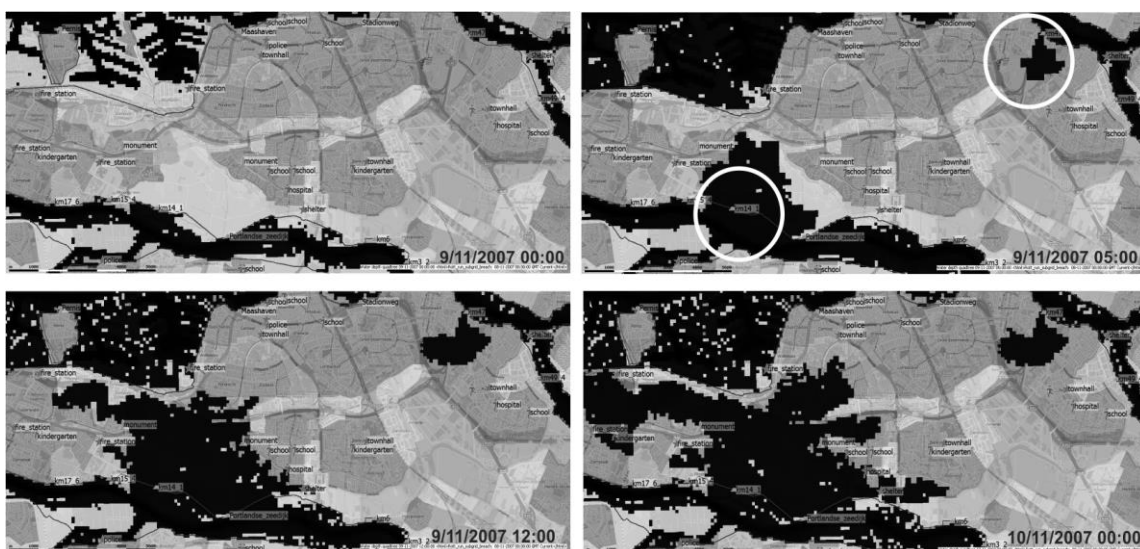


Abbildung 8: Übersicht über die Überflutungsausbreitung und qualitative Konsequenzenanalyse

5 Zusammenfassung

Hochwasservorhersage, -warnung und Katastrophenschutz sind wichtige Bestandteile eines modernen Hochwasserrisikomanagements. Um Entscheidungsträgern des Katastrophenschutzes zusätzliche modell-basierte vorhergesagte Informationen über die Zuverlässigkeit der Hochwasserschutzlinie, die Überflutungsausbreitung und mögliche Konsequenzen bereitzustellen, wird eine erweiterte Vorhersagekette für den operativen Bereich entwickelt. Dadurch kann die Auswahl von Notfallmaßnahmen effizienter unterstützt (z. B. Ort, Zeit und Typ)

und deren Einsatzzeit wesentlich verringert werden, wie es anhand der Prototypenanwendung Rotterdam gezeigt wurde.

6 Literatur

- Bachmann, D., Johann, G., Huber, N.P., Schüttrumpf, H. (2013): Fragility curves in operational dike reliability assessment. – In: Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards, 7:1, pp. 49-60.- ISSN 1749-9518.
- Bachmann, D. & Schüttrumpf, H. (2014): Integration der Zuverlässigkeit von Hochwasserschutzbauwerken in die einzugsgebietsbasierte Hochwasserrisikoanalyse. In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Vol. 58, No. 3, pp. 168-177. - ISSN 1439-1783.
- EU (2007): Directive of the European Parliament and of the Council on the assessment and management of flood risks (2007/60/EG); Brüssel: Kommission der Europäischen Union.
- Hall, J., Dawson, R., Sayers, P., Rosu, C., Chatterton, J. U., Deakin, R. (2003): A methodology for national-scale flood risk assessment. In: Water & Maritime Engineering, Vol. 156, No. WM3, pp. 235-247. - ISSN 1472-4561.
- Schultz, M., Gouldby, B., Simm, J., Wibowo, J. (2010): Beyond the Factor of Safety: Developing Fragility Curves to Characterize System Reliability. ERDC SR 10 1. G. a. S. Laboratory, USACE.
- Stelling, G. S. (2012): Quadtree flood simulations with subgrid digital elevation models. In: Water Management, Vol. 165, Issue WM10, pp. 567-580. - ISSN 1751-7729.
- van der Meij, R. (2013): Overhoogte in Rijnmond-Drechtsteden. Bericht Deltares 1207828-003.
- Verkade, J. S. & Werner M. (2011): Estimating the benefits of single value and probability forecasting for flood warning. In: Hydrology and Earth System Science, Vol. 15, pp. 3751-3765. - ISSN 1027-5606.

Autoren:

Daniel Bachmann

Deltares,
Boussinesqweg 1,
2629 HV Delft
Niederlande

Tel.: +31 88 3357520

Fax: +31 88 3358582

E-Mail: daniel.bachmann@deltares.nl

Dirk Eilander,

Annemargreet de Leeuw,

Joost Beckers,

Ferdinand Diermanse, Peter Gijsbers

Deltares,

Boussinesqweg 1,

2629 HV Delft

Niederlande

VDE

VERLAG

Technik. Wissen.
Weiterwissen.



NEU

Auf Technikwissen bauen: Der Klassiker zur Wasserkraftnutzung!

Das zunehmende Umweltbewusstsein lässt das Interesse an der Nutzung der Wasserkraft wieder steigen. Dieser Fachbuch-Klassiker konzentriert sich auf die Darstellung der Grundlagen, Hintergründe und Zusammenhänge bei Konzeption, Planung, Bau und Betrieb von Wasserkraftanlagen.

6. Auflage 2016
289 Seiten
55,- € (Buch/E-Book)
77,- € (Kombi)

e-Book

Preisänderungen und Irrtümer vorbehalten. Das Kombiangebot bestehend aus Buch und E-Book ist ausschließlich auf www.vde-verlag.de erhältlich.

Bestellen Sie jetzt: (030) 34 80 01-222 oder www.vde-verlag.de/160283



Auswertung des Deichbruchs Breitenhagen (Juni 2013) anhand von UAS-basierten Videoaufnahmen

Jens Brauneck
Robert Jüpner
Reinhard Pohl
Frank Friedrich

Bei großen Hochwasserereignissen stehen den Katastrophenschutzkräften aktuell nur vereinzelt geeignete Techniken zur Verfügung, um unmittelbar nach einem Deichbruch zeitnah eine angemessene Informationsbasis zur Einschätzung der konkreten Gefahrensituation geben zu können.

Zu Beginn des Deichbruchs im Juni 2013 in Breitenhagen an der Saale kurz vor der Mündung in die Elbe wurde ein Multikopter zur Erstellung von Videoaufnahmen eingesetzt. Mittels neuer Auswerteverfahren der digitalen Photogrammetrie, die als „structure from motion“ oder auch als „dense image matching“ bekannt sind, können aus diesen Aufnahmen topographische Informationen in Form von digitalen Oberflächenmodellen abgeleitet werden. Insgesamt sind bei der Auswertung vier Modelle entstanden, welche die Entwicklung der Breschenbreite des Deichbruchs von 9 bis 40 Metern erfasst haben.

Anhand dieser Information wurden weiterführende Berechnungen innerhalb eines hydrodynamischen Modells durchgeführt. Diese Daten eignen sich darüber hinaus als Modellierungsgrundlage von Szenarien, die im Katastrophenfall genutzt werden können.

Stichworte: Deichbruch, Bresche, Kartierung, Unbemannte Flugsysteme, Fernerkundung, Hochwasserrisikomanagement

Keywords: Levee failure, breach, mapping, remotely piloted aircraft systems, remote sensing, Flood Risk Management

1 Einleitung

Ein Monitoring von gefährdeten Infrastrukturen ist über Satelliten sowie von Boden aus häufig nur begrenzt möglich. Als potentielle Schnittstelle zwischen satelliten- und bodenbasiert erhobenen Daten können unbemannte Systeme zur fluggestützten Fernerkundung (engl. unmanned aerial system, kurz: UAS), i.d.R. Multikopter oder Flächenflieger, dienen. So eignen sich diese Systeme besonders

zur schnellen Erstellung von Oberflächen- und Geländemodellen um diese Information im Katastrophenfall nutzen zu können. Unbemannte Systeme zur fluggestützten Fernerkundung, auch als remotely piloted aircraft systems (RPAS) bezeichnet, i.d.R. Multikopter oder Flächenflieger, finden zunehmend Verwendung als luftgestützte Aufnahmeplattform in zivilen Projekten, und eignen sich in besonderer Weise zur schnellen Erstellung von Oberflächen- und Geländemodellen im Katastrophenfall (*Choi et al.*, 2009). Diese Systeme bieten die Möglichkeit, mit wenig zeitlichem und finanziellem Aufwand Luftbildkartierungen eines gefährdeten Gebietes oder gefährdeter Infrastrukturen durchzuführen. Insbesondere sind solche UAS geeignet, um Infrastrukturzustände in Arealen zu erfassen, die temporär oder auch dauerhaft nicht zugänglich sind, wie es beispielsweise bei Überflutungen der Fall ist. Ein solches zeitlich wie räumlich hochauflösendes Monitoring ist über Satelliten sowie von Boden aus kaum möglich.

Durch zahlreiche technische Verbesserungen hinsichtlich Flugzeiten und Automatisierung finden diese Systeme in den letzten Jahren immer weitere Verbreitung. UAS-basierte Luftbilder können durch Ihre hohe Auflösung als Datengrundlage für eine Reihe von digitalen Produkten dienen, z. B. Höhen- und Oberflächenmodelle, Gebäudemodelle sowie Gefahrenkarten (*Xu*, 2014).

1.1 Photogrammetrische Auswertung

Eine immer häufiger eingesetzte Anwendung ist die Erstellung dreidimensionaler digitaler Gelände- und Oberflächenmodelle anhand von digitalen Bild- und Videoaufnahmen. Dazu wird aus einer Vielzahl von sich zum Teil überlagernden Luftbildaufnahmen durch spezifische Algorithmen ein Bildverbund erstellt, welcher entweder durch Einmessen von Bodenkontrollpunkten oder durch Lageerfassung mithilfe von GNSS-/GPS-Systemen auf ein übergeordnetes Koordinatensystem umgerechnet werden kann. Sind diese Informationen nicht verfügbar, können auch markante Geländepunkte nachträglich in den Aufnahmen identifiziert und zur Georeferenzierung benutzt werden. Dieses Verfahren zur 3D-Oberflächenberechnung ist im Englischen als structure from motion oder auch dense image matching bekannt.

Zwar können die so erstellten Modelle auch mit Hilfe der klassischen Vermessung in Kombination mit terrestrischen Laserscannern ermittelt werden, allerdings ist neben einer potentiellen Gefährdung insbesondere der Zeitaufwand für flächenhafte Untersuchungen im Katastrophenfall meist zu hoch. Diese Daten sind jedoch unabdingbar, um aussagekräftige Prozessmodellierung betreiben zu können.

Besondere Vorteile gegenüber flugzeuggestützten Aufnahmen und klassischen Vermessungsmethoden bestehen neben der erhöhten Auflösung, in der kosteneffizienten und flexiblen Anwendung, die nur geringer Vorarbeit bedarf. Durch die

digitale Speicherung der Bilder können nahezu beliebig viele Aufnahmen erstellt werden, um beispielsweise im Rahmen einer ereignisbezogenen Datenerhebung in kurzen zeitlichen Intervallen strukturelle Veränderungen zu registrieren und die Dynamik eines Schadensprozesses zu dokumentieren. Der digitale Charakter der Daten ermöglicht die verlustfreie Weiterverarbeitung und Analyse der Ergebnisse in geographischen Informationssystemen sowie die Verbindung mit anderen flächenhaft erhobenen Daten, z. B. aus der Satellitenfernerkundung.

2 Modellierung des Deichbruchs Breitenhagen

2.1 Datengrundlage

Am 8. Juni 2013 wurde während des Deichbruches an der Saale-Mündung bei Breitenhagen im Auftrag des Landesbetriebes für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (LHW) ein Multikopter zur Lagebeurteilung eingesetzt. Das Ergebnis liegt in Form von fünf Videoaufnahmen zwischen 1:28 und 10:35 Minuten Länge mit einer Auflösung von 1280*720 Pixel und 50 Frames pro Sekunde vor. Eine erste Auswertung der Aufnahmen fand an der TU Kaiserslautern statt (*Weber, 2015*). Trotz gewisser technischer Schwierigkeiten konnte die grundsätzliche Eignung der Daten zur Modellierung gezeigt werden.

2.2 3d-Modellierung

Aufgrund der geringen Fluggeschwindigkeit des Aufnahmesystems wurde aus den Videos jeweils ein Foto pro Sekunde erstellt. Da große Teile der Aufnahmen nicht den eigentlichen Bruch fokussierten, mussten zunächst passende Sequenzen zusammengestellt werden. Insgesamt wurden vier Abschnitte in den Videos als Grundlage für die Modelle benutzt. Die Verarbeitung der selektierten Aufnahmen erfolgte mit der Software Photoscan von Agisoft. Aufgrund der geringen Auflösung wurden grundsätzlich die höchsten Qualitäts- und Genauigkeitsstufen benutzt.

Zusätzlich wurden markante Bodenpunkte anhand von digitalen Orthofotos mit 20*20 cm Bodenauflösung identifiziert und zur Registrierung der Modelle benutzt. Die Höheninformation der Punkte wurde aus einem DGM 1 extrahiert.

Zur Verbesserung der Lagegenauigkeit wurden die Sequenzen für Modell 02 und Modell 04 um Aufnahmen aus dem ersten Modell erweitert. Dabei wurden die dynamischen Bereiche des Bruchs ausmaskiert und nur die statischen Bildausschnitte beibehalten.

Durch die unterschiedliche Anzahl passender Frames zeigen die Modelle entsprechende Unterschiede hinsichtlich der Genauigkeit. Die erzielte Bodenauflösung der texturierten Modelle liegt zwischen 3,5 (Modell03) und 8,7 cm (Modell01).

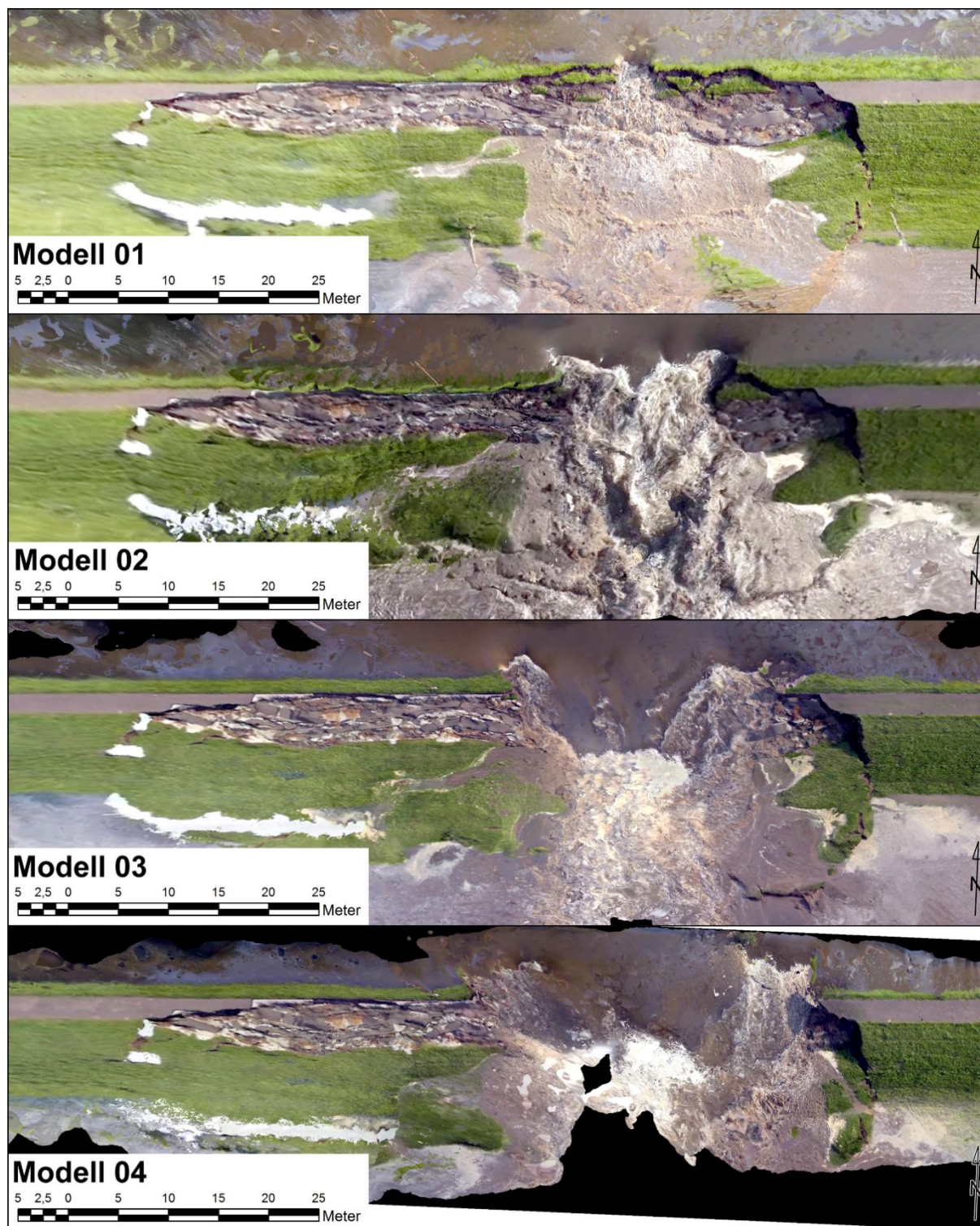


Abbildung 1: Deichbruch Breitenhagen 2013: Orthofotos der Modelle 01 bis 04 (Software: ArcGIS, Quelle der Videoaufnahme: LAW Sachsen-Anhalt)

Die durchschnittliche Höhenungenauigkeit im Bruchbereich variiert zwischen 8 und maximal 15 cm, was als sehr gutes Ergebnis eingeschätzt werden kann. Die Modelle 03 und 04 zeigen insgesamt aufgrund der günstigeren Aufnahmepositionen deutlich höhere Genauigkeiten als die Modelle 01 und 02.

Neben Orthofotos (Abbildung 1) wurde für jedes Modell ein digitales Oberflächenmodell mit 10*10 cm Auflösung generiert. Über dem Bruchbereich wurden im Abstand von 1m parallel zum Deich verlaufende Linien konstruiert und in 10 cm-Abständen die Höheninformation abgetragen. Die resultierenden Profillinien wurden zusätzlich zur Ermittlung der Wasserspiegelbreiten und -stände in der Bresche ausgewertet.

3 Hydrodynamische Modellierung

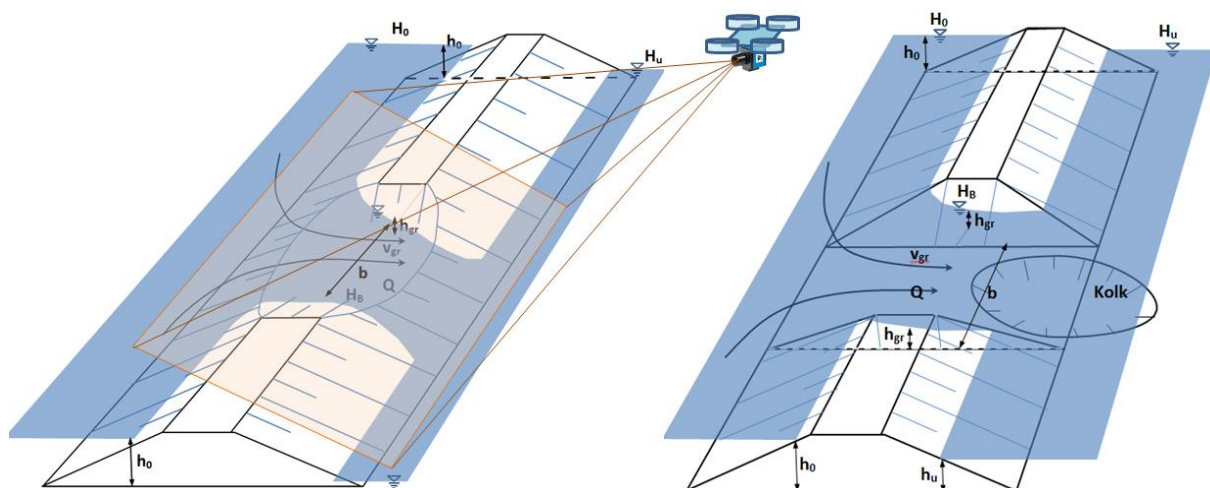


Abbildung 2: Beobachtungen der Deichüberströmung mittels Drohne (UAS). Links: kleinere Bresche zu Beginn des Vorganges, rechts: mit großer Bresche und Kolk sowie höherem Binnenwasserstand nach längerer Durchströmung

Nach einem Deichbruch muss für Katastrophenschutzmaßnahmen die Überflutungsdynamik im Hinterland möglichst präzise prognostiziert werden. Dabei sind lokale Fließgeschwindigkeiten und Abflüsse besonders wichtige Größen. Mit diesen Werten können bei bekannten Geländehöhenverhältnissen im Hinterland der Breschendurchfluss, die Ausbreitung des Wassers und die Wasserstände abgeschätzt werden, wenn außerdem noch die sich während des Ereignisses ändernden Abmessungen der Bresche und die Abflussverhältnisse im Oberwasser (Fluss, See, Meer) sowie im Unterwasser (Polder, Hinterland, ggf. mit Entlastungsmöglichkeiten, Siel, Schöpfwerk) bekannt sind.

Schwieriger ist die Berechnung während eines Ereignisses, wenn direkte Messungen der Wasserstände, Geschwindigkeiten und Geländepunkte im Nahbereich der

Bresche nicht möglich sind. In diesem Fall kann versucht werden, mit Hilfe von Luftbildern Geländedaten photogrammetrisch zu ermitteln, um eine Durchflussberechnung durchführen zu können. Erschwerend wirkt dabei, dass Bereiche unterhalb des Wasserspiegels im Moment des Ereignisses nicht abgebildet werden können. Deshalb bedarf es einiger Zusatzannahmen, um die Berechnung durchführen zu können: So z. B. a) Vernachlässigung der Fließgeschwindigkeiten in genügender Entfernung von der Bresche auf der Oberwasserseite (Vorland) und im Hinterland, b) Vernachlässigung der Umlenkungseffekte bei Änderung der Fließrichtung (Streichwehr), c) Annahme eines breitkronigen Überfalls oder eines Venturigerinnes mit der Grenztiefe und der Grenzgeschwindigkeit in der Engstelle (Bresche), d) rückgestauter Überfall, wenn das Unterwasser auf mehr als ungefähr drei Viertel der Oberwassertiefe ansteigt, e) kein Fließwechsel, wenn die unterwasserseitige Energiehöhe die minimale Energiehöhe in der Engstelle übersteigt, falls noch ein Restdeich in der Bresche vorhanden ist, wirkt dieser wie eine (positive) Sohlschwelle, f) die Breschengeometrie kann näherungsweise als Trapez angenommen werden, g) die mitunter beobachteten sehr steilen Bruchränder rechtfertigen die Annahme eines Rechteckprofils, wodurch sich Erleichterungen bei der Berechnung ergeben, h) Auskolkungen sind während des Hochwassers nicht einzusehen und können daher nur näherungsweise angenommen werden.

Der Durchfluss ergibt sich als Produkt aus (mittlerer) Geschwindigkeit und Fließfläche zu

$$Q = v \cdot A \quad (1)$$

(s.a. Abb. 2 und *Bollrich, 2013*) und liefert bei Annahme der Grenztiefe wegen $Fr = v/\sqrt{g \cdot h_{gr}} = 1$ für eine (nahezu) rechteckige Bresche $Q = \sqrt{g} \cdot b \cdot h_{gr}^{3/2}$.

Mit der Mindestenergiehöhe $h_{E \min} = 1,5 \cdot h_{gr} = h_{gr} + \frac{v_{gr}^2}{2g}$ kann der Durchfluss bei vernachlässigbarer Anströmgeschwindigkeit allein aus dem Wasserspiegelunterschied zwischen Oberwasser (H_O) und Bresche (H_B)

$$\Delta h = H_O - H_B = \frac{h_{gr}}{2} + \zeta \cdot \frac{v_{gr}^2}{2g} = \frac{h_{gr}}{2} + \zeta \cdot \frac{h_{gr}}{2} = (1 + \zeta) \cdot \frac{h_{gr}}{2} \quad (2)$$

$$\text{mit } h_{gr} = \frac{2 \cdot \Delta h}{(1 + \zeta)} \quad (3)$$

$$\text{zu } Q = \left(\frac{1}{1 + \zeta} \right)^{3/2} \cdot \sqrt{g} \cdot b \cdot (2 \cdot \Delta h)^{3/2} = C \cdot \sqrt{g} \cdot b \cdot (2 \cdot \Delta h)^{3/2} \quad (4)$$

abgeschätzt werden, wobei $C < 1$ einen Verlustbeiwert infolge Reibung und lokaler Verluste darstellt oder durch den Einlaufverlust ζ ausgedrückt werden kann,

welcher zwischen $\zeta = 0,5$ (scharfkantiger Brescheneinlauf) und $\zeta \geq 0$ liegt. Die während des Breschendurchflusses unbekannte Sohle liegt auf der Höhe

$$H_S = H_B - h_{gr} = H_B - \frac{2 \cdot \Delta h}{(1 + \zeta)}. \quad (5)$$

Wenn eine trapezförmige Bresche (Index T) mit der Überfallbreite b und den Flankenneigungen $1 : m_1$ und $1 : m_2$ als breitkroniger Überfall betrachtet wird, können die nachfolgenden Gleichungen Anwendung finden:

$$Q_{gr} = v_{grT} \cdot A_{grT} = v_{gr} \cdot \left(b \cdot h_{grT} + \frac{1}{2} (m_1 + m_2) \cdot h_{grT}^2 \right) \quad (6)$$

mit
$$v_{grT} = \sqrt{g \cdot h_{grT} \cdot \frac{1 + \frac{h_{grT}}{b'}}{1 + \frac{2 \cdot h_{grT}}{b'}}}$$
 und
$$b' = \frac{2 \cdot b}{m_1 + m_2} . \quad (7)$$

Bei rückgestautem Durchfluss ohne Fließwechsel wird zusätzlich zum Oberwasserstand und den Verlusten noch der Unterwasserstand als Eingangsgröße benötigt. Dann kann mit Hilfe des Energieerhaltungssatzes der Durchfluss berechnet werden.

Je nach Bedienungsaufwand kann eine schnelle Durchflussberechnung auch mittels einer numerischen Berechnung erfolgen. Allerdings muss dann die Querschnittsgeometrie bekannt sein oder mit Hilfe der o. g. Vorbemessung abgeschätzt werden.

4 Auswertung am Beispiel Breitenhagen

Mit den o. a. Gleichungen wurden näherungsweise der Durchfluss und die Breschenparameter ermittelt. Wegen gewisser Unschärfen bei den Eingangswerten wurden deren Streubreiten als gleichverteilte Variablen in eine Monte-Carlo-Berechnung (Methode der statistischen Versuche) eingeführt. Die daraus ermittelten Bereiche für die Konfidenz von 90 % und 33 % sowie der Medianwert sind in Abbildung 3 dargestellt.

In einem früheren Beitrag (*Jüpner, Brauneck, Pohl, 2015*) wurde schon a. a. O. auf die Möglichkeit der Nachrechnung mit Hilfe von hydronumerischen Modellen hingewiesen.

Die Ergebnisse der hydronumerischen 1-D-Berechnung für das Modell 3 (27 min) liegen in der gleichen Größenordnung bzw. im Intervall der Handrechnung und sind für eine Momentaufnahme der sich entwickelnden Deichbresche ermittelt

worden. Abbildung 5 zeigt die analoge Untersuchung in einem zweidimensionalen Modell. Mit $Q = 244 \text{ m}^3/\text{s}$ liegt der (Momentan-) Durchfluss im erwarteten Bereich.

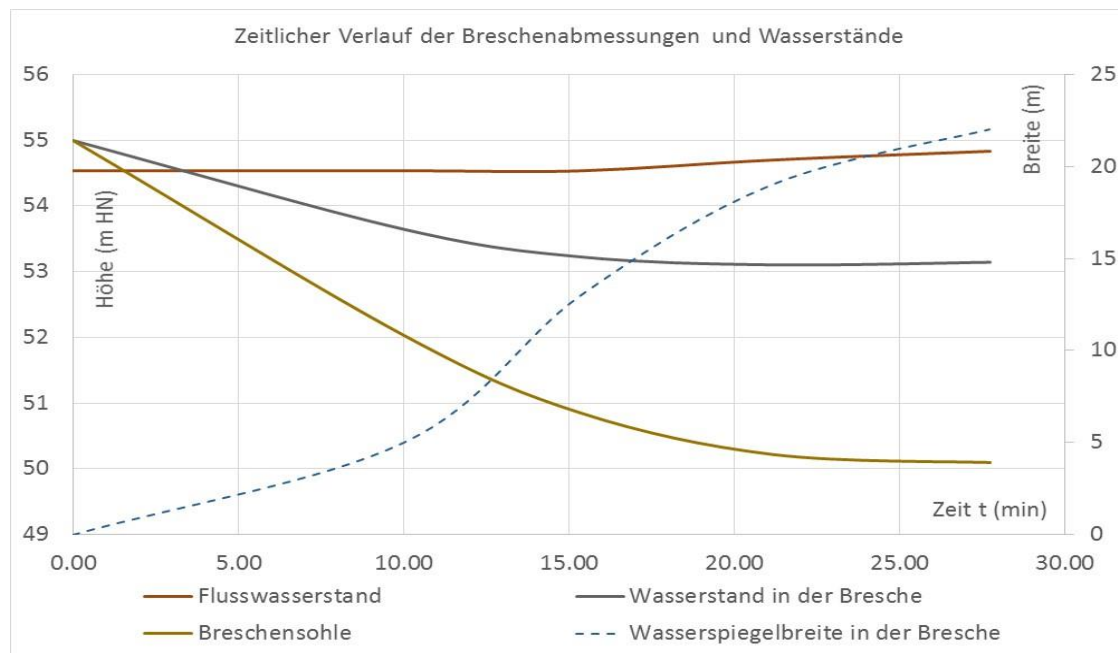
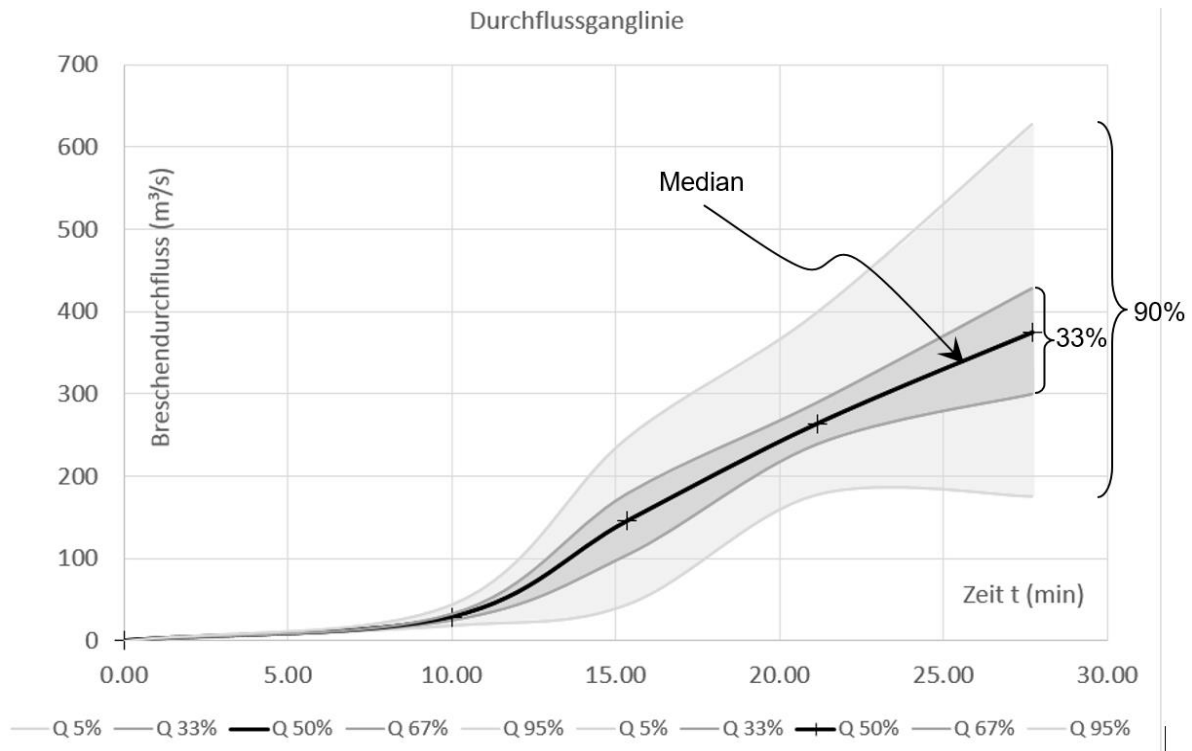


Abbildung 3: Ganglinien des Breschendurchflusses mit Streubereichen, des Flusswasserstandes, des Wasserstandes in der Bresche und der Breschensohle im Bereich des wasserseitigen Deichschulter, sowie der Wasserspiegelbreite in der Bresche.

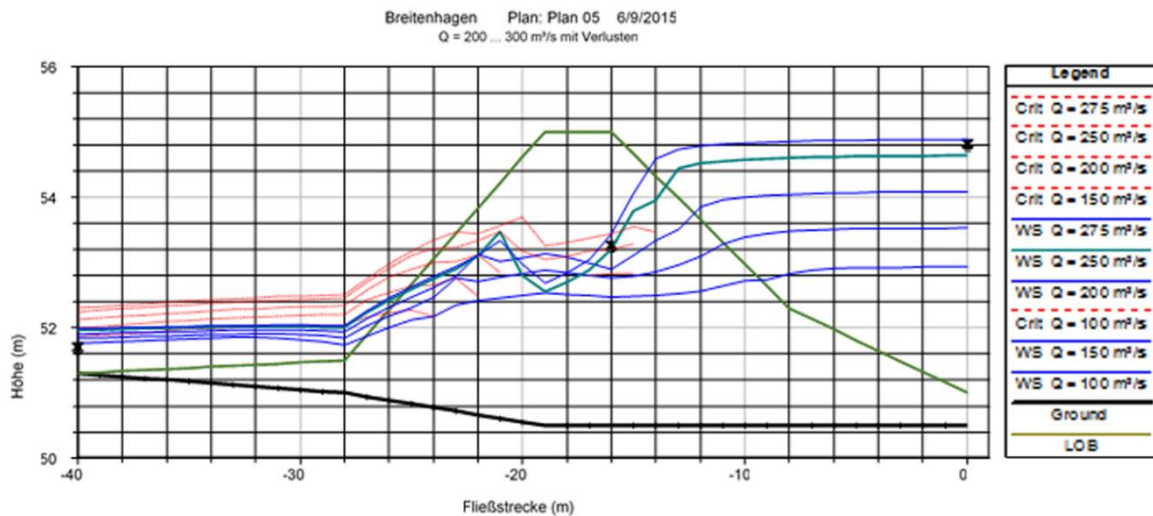


Abbildung 4: 1-D Hydraulischer Längsschnitt der Deichbreschendurchströmung (HEC-RAS)

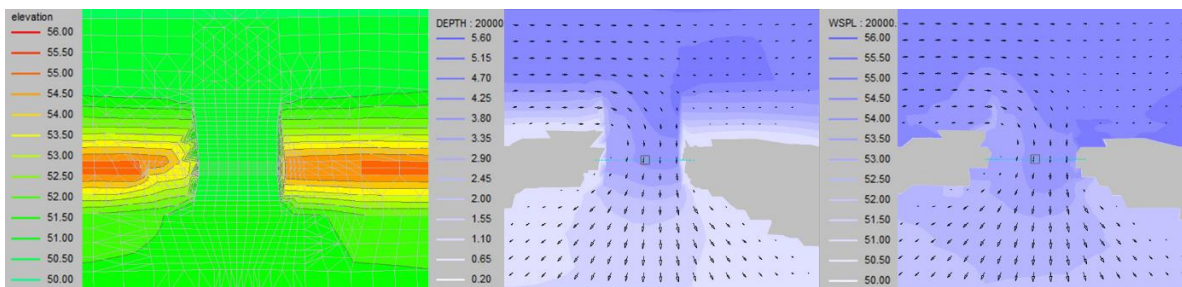


Abbildung 5: 2-D Wasserspiegellagen während der in Abb. 4 dargestellten Deichbreschendurchströmung (Hydro_AS-2D), v.l.n.r.: Gelände, Wassertiefe, Wasserspiegel

5 Fazit

Die Auswertung der Videoaufnahmen zeigt deutlich das Potential UAS-gestützter Untersuchungen während eines Deichbruchs. Allerdings folgt die Überwachung von Gefährdungsstellen bisher keinem einheitlichen Verfahren. Verlässliche und während oder unmittelbar nach einem Katastrophenfall erhobene Informationen sind jedoch die Grundvoraussetzung für Gefährdungsabschätzungen und Modellierungen von Szenarien, die im Katastrophenfall genutzt werden können (vgl. Jüpner *et al.*, 2014). Ferner sollte die Wechselwirkung der Genauigkeit hydrodynamischer Modelle und der Eingangsparameter – u. a. der Bruchstelle - Gegenstand vertiefter Betrachtung sein.

Ein Ziel künftiger Untersuchungen wird die Entwicklung einer Strategie zur Nutzung der UAS-Technologie im operativen Hochwassereinsatz sein. Dabei sollte insbesondere untersucht werden, in welcher Form Multikopter im Hochwasserfall eingesetzt werden können, um relevante Informationen für die zuständigen Einsatzstäbe zu erheben, in welcher Form und Systematik die Auswertungen erfolgen

sowie eine Nutzung dieser Informationen (z. B. in Hochwassermanagementsystemen) umgesetzt werden kann.

Ein weiteres potentielles Forschungsfeld im Zusammenhang mit UAS-Einsätzen ist die zielgerichtete Dokumentation der Auswirkungen von Hochwasserereignissen (z. B. Überschwemmungsausbreitung und –dynamik) und der Vergleich dieser Daten mit bestehenden Modellierungen und kartographischen Darstellungen.

6 Literatur

- Bollrich, G.: Technische Hydromechanik. 7. A. Berlin: Beuth-Verlag, 2013.
- Jüpner, R., Brauneck, J., Pohl, R. (2015): Einsatz von Drohnen im Hochwasserfall – Erfahrungen und Ideen.- In: Wasserwirtschaft 105(2015)9, S. 49-54, ISSN 0043-0978
- Jüpner, R.: Erfahrungen aus dem Hochwasser - Katastropheneinsatz im Juni 2013 an der Elbe. In: Verband Region Rhein-Neckar (Hrsg.): Das Junihochwasser 2013 - Erfahrungen und Konsequenzen. Schriftenreihe des Verbandes Region Rhein-Neckar (2014), Heft 13, S. 1-5.
- Jüpner, R.; Assmann, A.; Weichel, T.; Ettmer, B.; Müller, S. (2014): Abschätzung von Überflutungssituationen infolge von großen Deichbrüchen unter Berücksichtigung der Erfahrungen im Juni-Hochwasser 2013 an der Elbe. In: Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen (2014), Heft 50.
- Jüpner, R.: Juni-Hochwasser 2013 an der Elbe – neue Fragestellungen. In: WasserWirtschaft 105 (2015), Heft 3, S. 38-41.
- Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (Hrsg.): Bericht über das Hochwasser im Juni 2013 in Sachsen-Anhalt, Entstehung, Ablauf, Management und statistische Einordnung. Magdeburg, 2014.
- Kersten, T.; Lindstaedt, M.: Automatic 3D Object Reconstruction from Multiple Images for Architectural, Cultural Heritage and Archaeological Applications Using Open-Source Software and Web Services. In: Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation, (2012), Heft 6, S. 727-740.
- Weber, C.: Photogrammetrische Modellierung des Deichbruches bei Breitenhagen. Studie an der TU Kaiserslautern, 2015 (unveröffentlicht).

Autoren:

Dr. Jens Brauneck, Prof. Dr. Robert Jüpner

Prof. Dr.-Ing. habil. Reinhard Pohl

TU Kaiserslautern, Paul-Ehrlich-Straße 14
67663 Kaiserslautern

TU Dresden
01062 Dresden

Tel.: +49 631 205-3110 /-3805
E-Mail: jens.brauneck@bauing.uni-kl.de
robert.juepner@bauing.uni-kl.de

Tel.: +49 351 46335693
E-Mail: reinhard.pohl@tu-dresden.de

Dipl.-Ing. Frank Friedrich

Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt
Otto von Guericke Straße 5, 39104 Magdeburg

Tel.: +49 3455484302
E-Mail: frank.friedrich@lhw.mlu.sachsen-anhalt.de

Risiken kennen, Ideen prüfen und die Wirkungsweise von Planungsmaßnahmen schon vor dem Bau bestätigen

Gerald Angermair

Um gemeinsame Planungen bei der Siedlungsentwässerung anzugehen und dabei auch noch Effizient zu arbeiten, wird unter anderem ein Werkzeug benötigt, um die städtischen Fließ- und Abflusswege in Ihrer Gesamtheit zu betrachten, sichtbar zu machen und allen Beteiligten vor Augen zu führen, dass es sich um eine Gemeinschaftsaufgabe handelt. Es soll hier dargestellt werden, welche Möglichkeiten und Methoden zur Einbindung von Simulationsverfahren der detaillierten Oberflächenabflüsse, in die Führung des Überflutungsnachweises sowohl im Kanalsystem, wie auch für Fließgewässer und Sturzfluten, vorhanden sind. Die Ausführungen beruhen auf den Ergebnissen des von der Bayerischen Forschungsförderung geförderten Projektes „GeoCPM – Geowissenschaftliche Simulation städtischer Abflussvorgänge“ [2]. Das Projekt wurde von den Partnern tandler.com GmbH, der Universität der Bundeswehr – Professur für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik, der Dr. Pecher und Partner GmbH, den Stadtwerken Landshut und der Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg durchgeführt.



Abbildung 1: Wasseraustritt aus Regeneinlauf

Ein rechnerischer Überflutungsnachweis, bei dem die Ausdehnung, Wasserstände, Geschwindigkeiten und Fließwege des, auf der Oberfläche ablaufenden Wassers, ausgetretenen Regen- aber auch Abwassers ermittelt werden, ist eine wichtige Stütze zur realistischen Abschätzung der Gefährdungssituation und ei-

ne maßgebliche Hilfe bei der örtlichen Überflutungsprüfung. Zudem trägt dieser zur Objektivierung bei und erhöht die Rechtsicherheit für alle Beteiligten. Unablässig ist hierzu eine zeitsynchron gekoppelte Betrachtung der Systeme Kanal, Fließgewässer und urbane Oberflächen. Eine Integration der Ein- und Austrittsverluste an den Austauschpunkten (Schächte, Regeneinläufe, Gewässergrenzen) kann zu neuen Erkenntnissen über das Verhalten des gesamten Ableitungssystems führen.

Die Wirksamkeit von Maßnahmen sowohl im Kanal, im Fließgewässer als auch an der Oberfläche können ohne großen Aufwand und bauliche Risiken geprüft und bewertet werden. Verkehrs- und Freiflächen, welche eine schadlose Ableitung oder Speicherung des Wassers ermöglichen, sind in die Betrachtungen mit einzubeziehen. Deshalb wird zukünftig den baulichen Gegebenheiten und baulich-konstruktiven Maßnahmen an der Oberfläche mehr Bedeutung zur Vermeidung von Schädigungen und/oder Funktionsstörungen durch Überflutungen beigemessen werden müssen.

1 Vorgehensmodell

GeoCPM erlaubt ein völlig neues Vorgehen [4] bei der Einbindung von Überflutungsberechnungen in den Prozess des Überflutungsnachweises. Dabei ist es unerheblich, ob einzelne, bereits bekannte Schadensfälle überprüft und saniert oder ein gesamtes Entsorgungsnetz auf mögliche Gefahrenstellen hin untersucht werden soll. Durch das modulare Vorgehen kann die Anzahl der zu untersuchenden Bereiche sowohl zeitlich als auch örtlich eingengt werden und so das Augenmerk auf die Untersuchung der kritischen Bereiche reduziert werden.

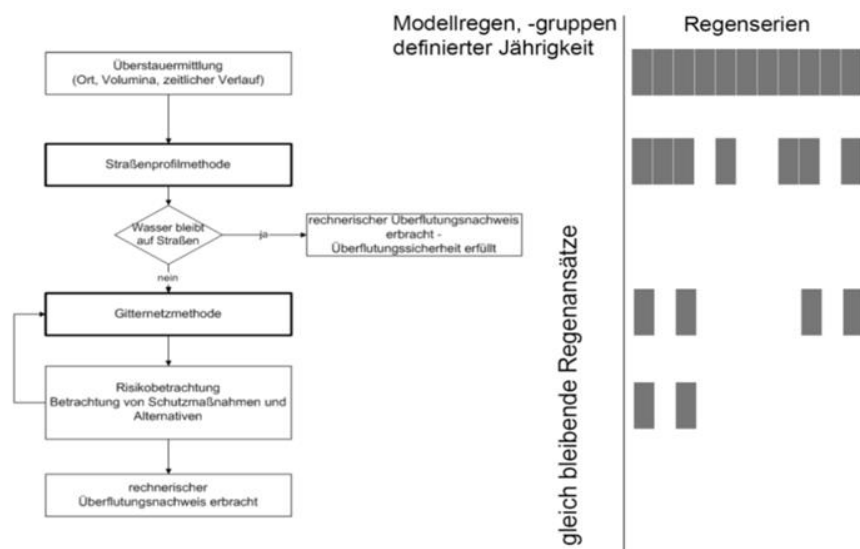


Abbildung 2: Vorgehensmodell –räumliche & zeitliche Eingrenzung

Für die Berechnung der Überflutungen sind zwei prinzipiell unterschiedliche Vorgehen zu differenzieren, das sogenannte Lastfallprinzip und die Langzeitsimulation. Berechnungen mit gemessenen Regenserien eines möglichst langen Zeitraums werden bevorzugt.

Neben der örtlichen Eingrenzung des betrachteten Gebietes muss für eine Berechnung mit Starkregenserien über eine lange Aufzeichnungsdauer auch eine zeitliche Eingrenzung der zu betrachtenden Niederschlagsereignisse, mit der zunehmenden Detaillierung der Oberflächenabbildung im Modell einhergehen.

1.1 STADT – 1D Kanalnetzberechnung

In vielen Fällen basiert noch heute die Abschätzung des Überflutungsrisikos auf einer 1D-hydrodynamischen Kanalnetzberechnung. Diese Berechnungen bilden das Verhalten des Wassers im Kanalsystem sehr gut nach. Deshalb bildet die hydrodynamische Kanalnetzberechnung die erste Säule der integrierten Betrachtung. Leider erreicht Sie aber sehr schnell Ihre Grenzen, wenn es um folgende Fragestellungen geht:

- Kommt denn das Regenwasser überhaupt ins Kanalsystem?
- Was passiert mit dem Wasser, wenn das Kanalsystem überlastet ist?

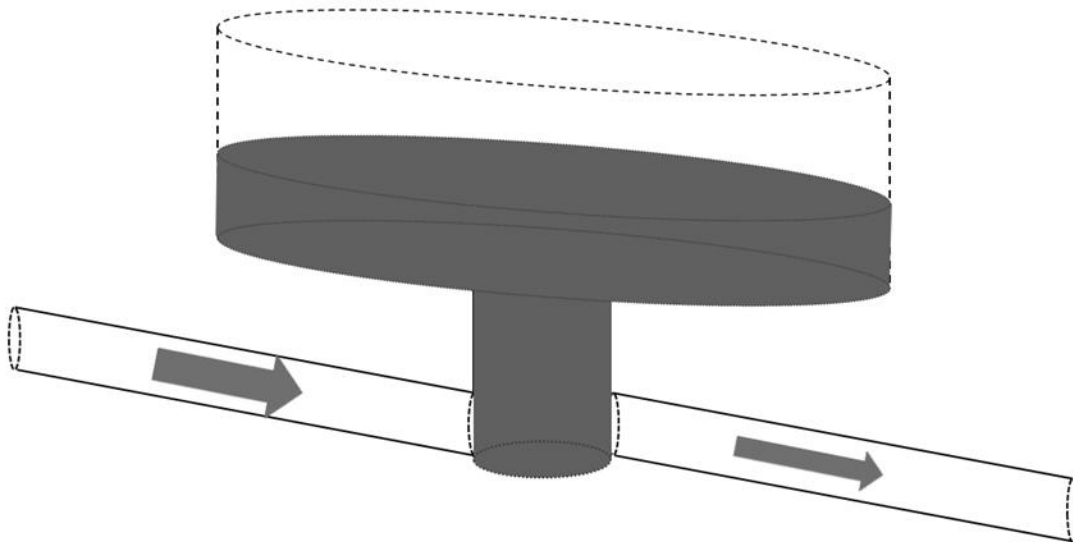


Abbildung 3: Modellierung einer Überflutung in einer klassischen Kanalnetzberechnung

Diese Fragen können von der reinen, klassischen Kanalnetzberechnung nur unzureichend beantwortet werden, da hier sehr stark vereinfachte Annahmen, „das ganze Regenwasser kommt in den Kanal“ und „das austretende Wasser wird in virtuellen Behältern über den Schächten vorgehalten“, getroffen werden müssen.

Dies Fragen können aber von der zweiten Säule, dem LAND, beantwortet werden

1.2 LAND – 2D Oberflächenabflussberechnung

Zur Ermittlung der detaillierten oberflächlichen Abflüsse wird die Gitternetzmethode verwendet. Bei der Gitternetzmethode werden zusätzlich zum Kanalnetz die detaillierten Oberflächenstrukturen berücksichtigt. Die Modellierung dieser erfolgt durch ein Netz von Dreiecken, welches aus einer Menge von 3-dimensionalen Vermessungspunkten generiert wird. Die hierfür notwendige hohe Punktdichte kann heute durch Daten aus Laserscanbefliegungen problemlos und ohne großen Kostenaufwand erzielt werden.



Abbildung 4: Überflutungsdarstellung in Gitternetzmethode

Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass scharfkantige, linienförmige Objekte wie z. B. Bordsteinkanten teilweise unzureichend durch die Laserscandaten abgebildet werden. Diese, für den Oberflächenabfluss, entscheidenden Objekte (im weiteren Verlauf als Bruchkanten bezeichnet) können auf einfache, automatisierte Weise oder auch individuell durch Digitalisieren in das Modell aufgenommen werden. Als Grundlage hierfür bieten sich Straßen- und Flurkarten an.

Auf Basis dieser Berechnung kann dann eine Bewertung der Überflutungssicherheit und eine Risikobetrachtung angestellt werden. Ferner können Alternativgestaltungen und Anpassungsmaßnahmen im Kanal oder/und Oberfläche untersucht werden und die Auswirkung auf das Überflutungsverhalten überprüft werden.

1.3 FLUSS - Modellierung von urban geprägten Fließgewässern

Zusätzlich zum Kanalsystem und zur Oberfläche, müssen auch die urban geprägten Fließgewässer in die Modellierung und Berechnung mit eingebunden werden. Der Detailgrad der Modellierung hängt dabei von den verfügbaren Daten und dem möglichen Modellierungsaufwand ab. Die Modellierungsmöglichkeiten beginnen bei einem eindimensionalen, profilbasierten Ansatz und enden bei einer vollständigen dreidimensionalen Modellierung des detaillierten Gewässerbettes inklusive der Vorländer.

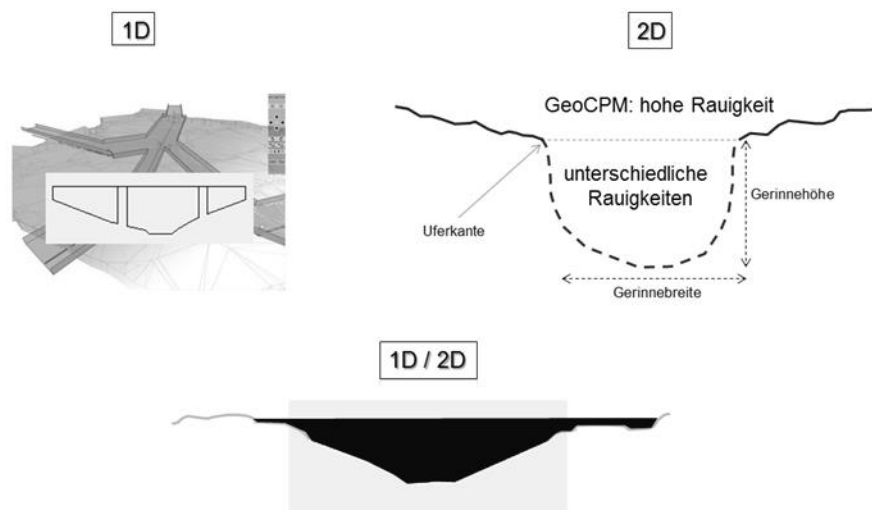


Abbildung 5: Modellierung von Fließgewässern

In der Praxis hat sich herausgestellt, dass eine Mischform zwischen 1D und 3D meist den besten Kompromiss zwischen Datenverfügbarkeit und Aufwand bildet. Dabei wird der zentrale Gewässerverlauf eindimensional über Profile definiert und die Vorländer werden über eine 2D Oberflächenmodellierung bidirektional an den Gewässerschlauch angeschlossen.



Abbildung 6: Überflutungsbereiche eines Fließgewässers

2 Kopplung von Oberfläche, Kanalsystem und Fließgewässer

Für die Überflutungsprüfung dürfen die drei Teilbereiche Oberflächenabfluss, Fließgewässer und Abfluss im Kanal nicht getrennt berechnet werden, sondern müssen als ein zusammenhängendes System untersucht werden, bei dem ein ständiger Wasseraustausch zwischen dem eindimensional berechneten Kanalabfluss und dem zweidimensional berechneten Oberflächenabfluss und die Fließgewässer über Schachtdeckel und Sinkkästen möglich ist. Dieses in GeoCPM umgesetzte Verfahren wird als vollständige bidirektionale Kopplung bezeichnet.

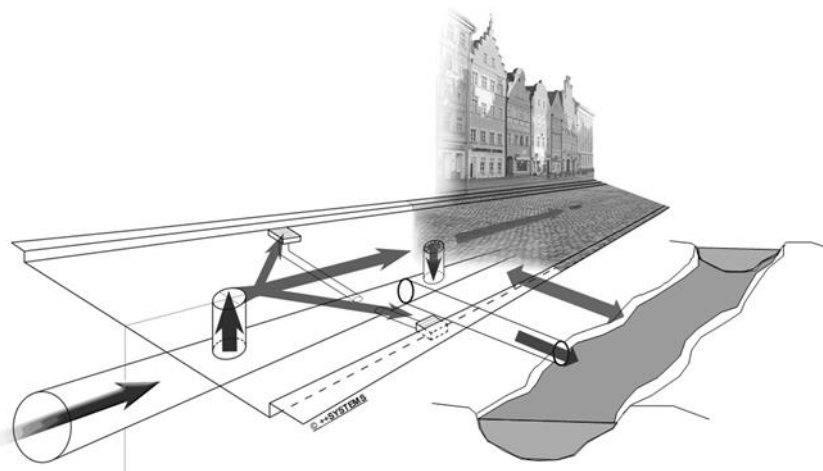


Abbildung 7: Multi-direktionale Kopplung

Bisherige Verfahren gingen immer von einem freien und verlustlosen Aus- bzw. Einlauf aus bzw. in das Kanalsystem aus, was aber der Erfahrung widerspricht. So stellt zum Beispiel beim Wasseraustritt aus dem Kanal der Kanaldeckel einen Widerstand für das Wasser dar. Und beim Wassereintritt ist das Eintrittsvolumen von der Größe und Lage der Einlaufquerschnitte, von der Neigung des Geländes, von der Geschwindigkeit und dem Höhenstand des Wassers auf der Oberfläche abhängig.

2.1 Verlustansätze

Das vorgestellte Verfahren verfügt über Verlustansätze bei der Berechnung des Wasseraustausches zwischen Fließgewässer, Kanal und Oberfläche (z. B. bei Überflutungen).

Folgendes Beispiel zeigt den Einfluss der Verlustansätze auf die Überflutungsberechnung. Es wurden drei verschiedenen Ansätzen betrachtet: mit der klassischen hydrodynamischen Kanalnetzberechnung, mit bi-direktionaler Kopplung zur hydrodynamischen Oberflächenabflussberechnung mit freiem Ein- und Auslauf, und mit den Verlustansätzen nach der Überfall- und Energieformel.

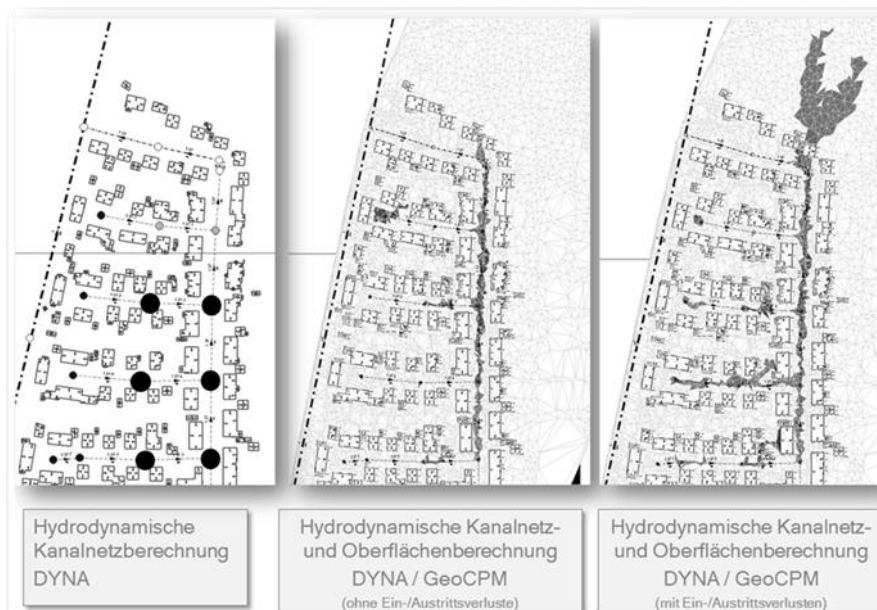


Abbildung 8: Vergleich klassische Kanalnetz- und gekoppelte Systemberechnung

Die Ergebnisse zeigen, dass nach dem klassischen Ansatz lediglich die Schächte im Südosten des Gebietes überstauen (markierte Schächte links). Bei der erweiterten Betrachtung mit gekoppeltem Oberflächenabfluss und freiem Ein- und Auslauf zeigt sich schon ein stark verändertes Überflutungsgebiet. Durch den freien Wassereintritt und das verfügbare Kanalvolumen am nördlichen Schacht wird fast das komplette Oberflächenwasser an dieser Stelle wieder in den Kanal eingeleitet. In der verlustbehafteten Betrachtung tritt Wasser wegen dem reduzierten Ein- und Auslaufvermögen in das nördliche Grundstück ein und erreicht schadensrelevante Wasserstände im Bereich der dort liegenden Gebäude. Außerdem verändert sich die Anzahl und Position von überstauenden Schächten signifikant.

2.2 Sturzfluten und hydrodynamische Fließweganalyse

Bedingt durch den Klimawandel kommt es besonders in den Sommermonaten vermehrt zu Starkregenereignissen mit kurzzeitigen sehr hohen Intensitäten. Besonders in Hanglagen kommt es daher verstärkt zu Sturzfluten. Diese entstehen, da das Niederschlagswasser nicht in den Kanal, welcher oftmals kaum belastet ist, eindringen kann. GeoCPM erlaubt für diesen Fall die direkte Berechnung des detaillierten Oberflächenmodells und den damit verbundenen hydrodynamischen Oberflächenabfluss.

2.3 Effiziente Umsetzung

Durch die Nutzung moderner Methoden der Multiprozessortechnologie und die weitgehend automatisierte Erstellung des Geländemodells erhalten Sie in praktischen Zeiten die Ergebnisse der Oberflächenabflussberechnung. GeoCPM er-

laubt auch die Nutzung beliebiger kleinräumiger, geographischer und meteorologischer Daten.

3 Ergebnisse

Das Verfahren unterstützt die Auswertung der Ergebnisse durch unterschiedliche Ergebnisdarstellungen:

- Wasserstand auf Oberflächenelement,
- Geschwindigkeit auf Oberflächenelement,
- Austauschgeschwindigkeit an den Austauschkanten,
- Durchfluss an den Austauschkanten.

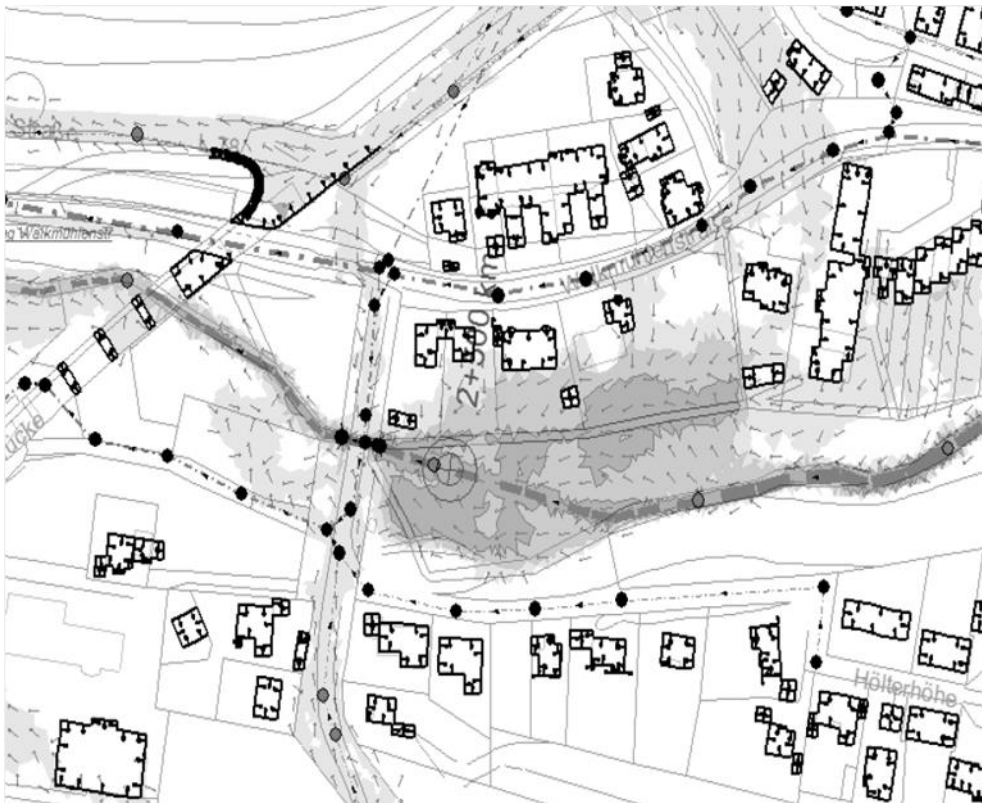


Abbildung 9: integrierte Überflutungsberechnung (Wasserstände und Fließrichtungen)

Für eine gezielte Nachverfolgung und Analyse der tatsächlichen Fließwege reicht eine statische Darstellung nicht aus. Die Wasserstände auf den Oberflächenelementen müssen hierfür zu jedem Zeitpunkt der Berechnung darstellbar sein. GeoCPM gibt dem Anwender die Möglichkeit, die Zeitpunkte und die Darstellungsdauer individuell zu steuern und auch als Video auszuspielen.

4 Literatur

- [1] Flyer zur Veranstaltung „Umgang mit Starkregen als Bestandteil des Generationenvertrags?“, Lünen (NRW); Technische Akademie Hannover e.V.; 22. Januar 2015
- [2] Projektteam, vertreten durch den Antragsteller tandler.com GmbH (2010): Abschlussbericht – GeoCPM „Geowissenschaftliche Simulation städtischer Abflussvorgänge“; Gefördert durch die Bayerische Forschungstiftung; AZ-708-06; März 2010
- [3] DIN EN 752 (2008): DIN EN 752:2008-04 Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden; April 2008
- [4] Angermair G.; Braunschmidt S.; Obermayer A. (2012): Entwicklung eines Vorgehensmodells zur Führung eines Überflutungsnachweises in urbanen Gebieten; KA – Abwasser, Abfall (59. Jahrgang); Heft 5; Seite 414-425; Mai 2012
- [5] DWA Arbeitsgruppe ES-2.6 (2013): Methoden der Überflutungsberechnung – Arbeitsbericht der DWA-Arbeitsgruppe ES-2.6 „Abfluss- und Schmutzfrachtsimulation“; KA – Abwasser, Abfall (60. Jahrgang); Heft 6, Seite 506-511; Juni 2013

Autor:

Dipl.-Inf. Gerald Angermair

Head of Department Research & Development
tandler.com - Gesellschaft für Umweltinformatik mbH
Am Griesberg 25-27
84172 Buch am Erlbach

Tel.: +49 8709 94041
Fax.: +49 8709 94048
E-Mail: gerald.angermair@tandler.com



WEBAC – alles, was abdichtet.

WEBAC ist Erfahrung, Kompetenz
und Innovation in Sachen Bauwerks-
abdichtung.

Seit über 35 Jahren entwickeln wir
leistungsfähige und nachhaltige
Produkte zur Erhaltung und zum
Schutz von Bausubstanz.

Unsere Formel – Ihre Lösung.

WEBAC®

www.webac.de

Hochwasserrisikomanagement und Gewässerentwicklung in der Regelwerksarbeit der DWA

Klaus Piroth
Michael Weyand
Robert Jüpner

Die Umsetzung der zwei maßgebenden EU-Richtlinien zum Hochwasserrisikomanagement (Hochwasserrisikomanagementrichtlinie) und zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (Wasserrahmenrichtlinie) stellen die DWA vor neue Herausforderungen. Auch wenn beide Richtlinien vom Grundsatz her unterschiedliche Ansätze aufweisen, scheint es doch angeraten, sie hinsichtlich der Erreichung ihrer jeweiligen Ziele synergistisch zu kombinieren. Potenzielle Synergien sind häufiger als allgemein gedacht vorhanden, vor allem hinsichtlich des gemeinsamen Zeitmanagements wie auch der notwendigen Maßnahmenabstimmung. Ein erster Schritt hierzu kann die Ermittlung von Elementen als die Schnittmenge sein, die den Grundstock eines gemeinsamen Plans von Wasserrahmenrichtlinie und Hochwasserrisikomanagementrichtlinie bilden sollten. Dazu erscheint es jedoch notwendig, das Gedankengut beider Richtlinien stärker in den verschiedenen DWA-Gremien zu verankern und vor allem in das eigene Handeln zu integrieren. Im Vortrag werden der aktuelle Stand der Regelwerksarbeit der DWA in Bezug auf die zwei Richtlinien vorgestellt und die Synergieansätze aber auch die Hindernisse und Schwierigkeiten bei der gemeinsamen Betrachtung diskutiert.

Keywords: Gemeinsame Betrachtung EG-WRRL und EG-HWRMRL, Synergien, Konfliktpotenzial, Umsetzung in der DWA Regelwerksarbeit,

1 Einführung

Im Umweltbericht der Bundesregierung vom Oktober 2015 (*Bundesregierung, 2015*) werden die Bewirtschaftung der Binnengewässer und der Hochwasserschutz im Kapitel zum „Schutz der natürlichen Lebensgrundlagen“ explizit als wesentliche Themen mit Bezug auf die Gewässer aufgeführt. Entsprechend dem Wasserhaushaltsgesetz (WHG) muss die Bewirtschaftung der Gewässer so erfolgen, dass sie sowohl dem Gemeinwohl als auch dem Nutzen einzelner dient und die ökologische Funktion der Gewässer nicht beeinträchtigt wird. Damit ist in sehr komprimierter Form der Handlungsrahmen beschrieben, in dem sich die für die Gewässer Zuständigen bewegen. Ordnungsrechtlich bilden die Richtlinie

der Europäischen Union zur Bewertung und für das Management von Hochwasserrisiken (HWRM-RL) und die Richtlinie zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen im Bereich der Wasserpolitik – Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) den europäischen Rahmen, der in der Bundesrepublik Deutschland über das Wasserhaushaltsgesetz des Bundes und die Wassergesetze und Verordnungen der Länder umgesetzt wird. Die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) liefert seit vielen Jahrzehnten von den und für die in der Praxis Tätigen notwendige technische Umsetzungshilfen in Form von Merkblättern, Leitfäden, Themenheften usw. Im Ergebnis einer Zusammenarbeit von Experten werden in 381 Fachausschüssen und Arbeitsgruppen die Erfahrungen und die bestmöglichen Ansätze zusammengetragen. Damit werden in vielen Bereichen die allgemein anerkannten Regeln der Technik definiert, die die Grundlage einer verlässlichen Planung bilden. Mit der Wasserrahmenrichtlinie befasst sich ein eigener Fachausschuss mit einer Arbeitsgruppe, mit dem Hochwasserrisikomanagement ein Fachausschuss mit neun Arbeitsgruppen. Auch wenn beide Richtlinien vom Grundsatz her unterschiedliche Ansätze aufweisen, scheint es angeraten, sie hinsichtlich der Erreichung ihrer jeweiligen Ziele synergistisch zu kombinieren. Hier treten in der praktischen Umsetzung aber auch in der Regelwerksarbeit Schwierigkeiten auf, die teilweise auf den konkurrierenden Zielen der beiden Richtlinien beruhen, teilweise in traditionellen, sektoralen Verwaltungszuständigkeiten, aber auch in sektoralen Bearbeitungen in der Organisation und der Regelwerksarbeit der DWA begründet sind. Dabei sind potenzielle Synergien häufiger vorhanden als allgemein gedacht, vor allen hinsichtlich des gemeinsamen Zeitmanagements und der Maßnahmenabstimmung. In diesem Beitrag werden Synergien, mögliche und bereits eingeleitete Maßnahmen für eine gemeinsame Betrachtung von Wasserrahmenrichtlinie und Hochwasserrisikomanagementrichtlinie vorgestellt und diskutiert.

2 Grundsätzliche Anforderungen aus den beiden Richtlinie

Ein erster Schritt kann die Ermittlung von Elementen als die Schnittmenge sein, die den Grundstock für eine gemeinsame Betrachtung der beiden Richtlinien bildet. Dazu sind nachfolgend die wesentlichen Anforderungen aus beiden Richtlinien zusammengestellt und darauf basierend wurden gemeinsame Elemente abgeleitet.

2.1 Wasserrahmenrichtlinie

- Ziel der Wasserrahmenrichtlinie ist der Schutz der aquatischen und der damit verbundenen Ökosysteme mit Blick auf eine nachhaltige Entwicklung der

Umwelt. Um dieses Ziel erreichen zu können, sind in dieser Richtlinie einige Leitforderungen verankert, die im Folgenden kurz umrissen werden.

- Denken in flussgebietsbezogenen Einheiten
Ein Gewässer soll von der Quelle bis zur Mündung als Ganzes betrachtet und seine Rolle als Bestandteil des Naturhaushaltes berücksichtigt werden. Zudem soll das wasserwirtschaftliche Handeln nicht allein auf die Wirkung einer Maßnahme direkt vor Ort abzielen, sondern die funktionalen Wirkmechanismen im gesamten Gewässerverlauf in Betracht ziehen.
- Integrale Betrachtung von Grundwasser und Oberflächengewässer
Dieser Aspekt trägt der Tatsache Rechnung, dass alle Teile des irdischen Wasserkreislaufs in irgendeiner Form räumlich miteinander verbunden sind und sich somit auch gegenseitig beeinflussen können.
- Erreichung eines guten Zustands oder guten Potenzials
Zielgrößen für das Grundwasser sind ein guter mengenmäßiger und ein guter chemischer Zustand. Oberflächengewässer sollen sich durch einen guten chemischen Zustand und einen guten ökologischen Zustand auszeichnen. Letztgenannte Zielgröße ist für die als erheblich verändert ausgewiesenen Wasserkörper das gute ökologische Potenzial. Damit sind Grundwasser, Flüsse und Bäche sowie die Übergangs- und Küstengewässer so zu erhalten bzw. wiederherzustellen, dass sie ein wesentliches Element unserer natürlichen Ressourcen und damit auch unserer Lebensgrundlagen bilden. Dies wird konkretisiert in Form einer Bewertung mehrerer biologischer Qualitätskomponenten, die sich an den verschiedenen in Deutschland vorkommenden Gewässertypen orientiert. Der gute chemische Zustand stützt sich bei den Oberflächengewässern auf eine Analyse der prioritären und prioritär gefährlichen Stoffe, die vom Europäischen Parlament und vom Rat der Europäischen Union in einer separaten Tochterrichtlinie über Umweltqualitätsnormen festgelegt sind. Für das Grundwasser erstreckt sich dieser auf die Einhaltung von Qualitätsnormen für verschiedene Stoffe, die in der Tochterrichtlinie Grundwasser aufgeführt sind.
- Erstellung eines Bewirtschaftungsplans für Flussgebietseinheiten
Der Bewirtschaftungsplan als ein zentraler Aspekt der Wasserrahmenrichtlinie wurde Ende 2015 zum zweiten Mal für einen sechsjährigen Gültigkeitszeitraum erstellt. Er analysiert den aktuellen Zustand von Grundwasser und Oberflächengewässern, ermittelt und beschreibt die darauf einwirkenden Belastungen, formuliert die Ziele des daraus resultierenden wasserwirtschaftlichen Handelns und stellt die wirtschaftlichen Rahmen- und Randbedingungen dar.

- Information und Anhörung der Öffentlichkeit
Gemäß Artikel 14 der Wasserrahmenrichtlinie ist allen Bürgerinnen und Bürger die Einsichtnahme in den Bewirtschaftungsplan und die ihm zugrunde liegenden Dokumente einzuräumen. Damit soll erreicht werden, dass Entscheidungen, die sich mit Blick auf die Erreichung der Ziele der Richtlinie ergeben, der Öffentlichkeit bekannt gemacht, von ihr diskutiert und kommentiert sowie letztlich möglichst auch von ihr mitgetragen werden.

2.2 Hochwasserrisikomanagementrichtlinie

Das Hauptziel der HWRM-RL besteht darin, die nachteiligen Folgen des Hochwassers für die menschliche Gesundheit, die Umwelt, Kulturgüter und wirtschaftliche Tätigkeiten zu verringern. Die Umsetzung ist dabei in drei Phasen geplant:

- Vorläufige Bewertung des Hochwasserrisikos
Dabei wurden bis Ende 2011 Gebiete mit signifikantem Hochwasserrisiko identifiziert und kartographisch dargestellt. Als Signifikanzkriterien wurden die Betroffenheit der Bevölkerung, der Umwelt, Kulturgüter und auch monetäre Schwellenwerte verwendet.
- Erstellung von Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten
In den Gebieten mit ausgewiesenem signifikantem Hochwasserrisiko wurden für drei verschiedene Hochwasserszenarien (hoher, mittlerer und niedriger Eintrittswahrscheinlichkeit) die räumliche Ausdehnung des Hochwassers sowie die jeweiligen Wassertiefen in Hochwassergefahrenkarten abgebildet. In Gebieten mit großen Strömungsintensitäten wurden zusätzlich die Fließgeschwindigkeiten mit aufgenommen. In den Hochwasserrisikokarten erfolgte eine Verschneidung der hydrologischen Gefährdung mit den Nutzungen in den betroffenen Gebieten. Diese Phase wurde Ende 2013 abgeschlossen.
- Erarbeitung der Hochwasserrisikomanagementpläne
Aufbauend auf den Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten erfolgte bis Ende 2015 die Erstellung der Hochwasserrisikomanagementpläne, die für (Teil-) Einzugsgebiete festgelegte Ziele der Hochwasservorsorge definieren und Maßnahmen für die Zielerreichung festschreiben. Dabei sind klare Prioritäten in der Umsetzung definiert.

Der Prozess der Umsetzung der Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie soll ebenso wie der Umsetzungsprozess der WRRL alle 6 Jahre überprüft und aktualisiert werden.

2.3 Gemeinsame Betrachtung beider Richtlinien

Die HWRM-RL legt die Koordinierung der Maßnahmen aus beiden Richtlinien zwingend fest. In Art. 9 werden Schwerpunkte

- auf die Möglichkeiten zur Verbesserung der Effizienz und des Informationsaustauschs sowie
- zur Erzielung von Synergien und gemeinsamen Vorteilen im Hinblick auf die Umsetzung der Umweltziele des Art. 4 der WRRL

gelegt. Die Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) hat Empfehlungen zur koordinierten Anwendung der HWRMRL und WRRL gegeben (LAWA, 2013) und Müller (2011) hat die zu erwartenden Synergieeffekte und gemeinsamen Vorteile bei der Umsetzung beider Richtlinien für Sachsen beschrieben. Grundsätzlich lassen sich die Maßnahmen in 3 Kategorien hinsichtlich der Zielerreichung einteilen (Müller, 2015).

- Kategorie 1: Maßnahmen, die sich positiv auf die Zielerreichung beider Richtlinien auswirken (z. B. Maßnahmen der Flächenvorsorge in Auenbereichen oder des verstärkten Wasserrückhalts in der Fläche).
- Kategorie 2: Maßnahmen, die sich neutral verhalten und die Zielerreichung der jeweils anderen Richtlinie weder positiv noch negativ beeinflussen (z. B. Hochwasservorsorgemaßnahmen oder Reduzierung von Stoffeinträgen aus der Landwirtschaft).
- Kategorie 3: Maßnahmen, die konkurrierend zu den Zielen der jeweils anderen Richtlinie stehen oder die zumindest Konfliktpotential beinhalten (z. B. Technische Hochwasserschutzmaßnahmen in Ortslagen versus naturnaher Gewässergestaltung).

3 DWA-Regelwerksarbeit: Grundsätze und Konkretes Vorgehen

Die DWA-Regelwerksarbeit findet in Arbeitsgruppen und Fachausschüssen statt, die über Hauptausschüsse fachlich gegliedert sind. Dadurch gibt es zu praktisch jedem relevanten Thema in Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall eine Arbeitsgruppe mit Experten aus Wissenschaft, Verwaltung und Praxis, die Standardregelwerke erstellen und regelmäßig aktualisieren. Diese Standards sind deutschlandweit anerkannt und wurden/werden auch von vielen anderen Ländern übernommen. Bei neu auftretenden Aufgaben kann so schnell eine Arbeitsgruppe gebildet werden, die sich der Bearbeitung annimmt. Die Regelwerksarbeit wird ehrenamtlich durchgeführt. Diese Vorgehensweise liefert sehr fundierte Arbeitspapiere für die praktische Umsetzung, hat aber den Nachteil, dass sie

- sehr kurzfristige Anforderungen aufgrund des Konsensprozesses zur Abstimmung der Papiere und der beschränkten Zeitverfügbarkeit der ehrenamtlich Tätigen nicht erfüllen kann und
- für die Behandlung übergreifender Themen und/oder für den Fall, dass zwei bereits themenübergreifende Richtlinien gemeinsam betrachtet werden -wie in diesem Fall-, organisatorisch nicht aufgestellt ist.

Da die Anforderungen der Kurzfristigkeit und der sektorübergreifenden Betrachtungen immer mehr an Bedeutung gewinnen, wird von seitens der DWA folgende Strategie verfolgt:

- a) Gründung von Koordinierungsgruppen, die Querschnittsthemen behandeln, indem sie hauptausschussübergreifend die Arbeitsgruppen, die sich mit den jeweiligen Themen beschäftigen, bündeln und koordinieren (aber selbst keine Regelwerksarbeit durchführen). Als Beispiele seien hier die Koordinierungsgruppen „Hochwasser“, „Klimawandel“ oder „Energie“ genannt.
- b) Bildung von Fachausschüssen, die sich diesen Querschnittsthemen annehmen. Z. B. der Fachausschuss GB-10 „Wasserrahmenrichtlinie“
- c) Zusammenarbeit mit anderen Verbänden, um die beschränkten ehrenamtlichen Ressourcen zu bündeln und zeitnah ein Merkblatt/Themenheft/Leitfaden zu erstellen. Beispielhaft sei hier die gemeinsame DWA/BWK-Arbeitsgruppe zum Thema „Starkregen und urbane Sturzfluten“ genannt.
- d) Stärkere Vernetzung von aktuellen Forschungsvorhaben (z. B. REWAM) über die DWA-Stabsstelle „Forschung und Innovation“

D. h. in der DWA-Regelwerksarbeit müssen beide Richtlinien präsent sein und müssen gemeinsam betrachtet werden und es muss eine engere Verzahnung mit den Maßnahmen, die von den Ländern und Gewässerverantwortlichen umgesetzt werden, erfolgen.

4 Zwei Richtlinien, ein Gewässer, konkrete Ansätze

Im vorliegenden Fall der beiden Gewässerbezogenen EU-Richtlinien ist es für die Umsetzung in der Regelwerksarbeit notwendig, das Gedankengut beider Richtlinien stärker in den verschiedenen DWA-Gremien zu verankern und vor allen in das eigene Handeln zu integrieren. Dazu wurde am 2. Dezember 2013 in Hennef ein Forum zum Thema Hochwasserrisikomanagementrichtlinie und Wasserrahmenrichtlinie abgehalten. Ziel dieser Veranstaltung war es aufzuzei-

gen und zu vermitteln, wo Synergien bestehen und bei welchen Aspekten es möglicherweise Konflikte gibt. Diese Erörterung stand unter dem generellen Leitgedanken, einen guten Gewässerzustand und ein nachhaltiges Hochwasserrisikomanagement mit effizienten Mitteln zu erreichen.

Vor allem im Rahmen der Entwicklung, Ausgestaltung und Priorisierung von Maßnahmen sahen die Teilnehmer Synergiepotentiale. Diese Potentiale tatsächlich auch heben zu können, ist mitunter jedoch vor dem Hintergrund der Frage schwierig, wie Maßnahmen so in Einklang gebracht werden können, dass die Ziele beider Richtlinie auch umgesetzt werden. Im Einzelfall kann aufgrund divergierender Zielvorstellungen dann auch eine Konfliktsituation entstehen. Eine Schwierigkeit aus praktischer Sicht wurde in den unterschiedlichen Maßstabsebenen von Wasserrahmenrichtlinie und Hochwasserrisikomanagementrichtlinie sowie verwaltungstechnische Aspekte gesehen. Denn die Managementplanung der Hochwasserrisikomanagementrichtlinie und die daraus resultierende Maßnahmendiskussion zielen im Gegensatz zur Wasserrahmenrichtlinie weniger auf eine Einzelmaßnahmenbetrachtung ab. Dies unterstreicht somit den eher großräumig und generell flussgebietsbezogenen Gedanken, der dem Umsetzungsprozess der Hochwasserrisikomanagementrichtlinie zugrunde liegt. Erreicht die Diskussion dann jedoch die lokale Ebene, werden hingegen oftmals kleinräumige Konzepte erörtert und verfolgt. Dies wiederum könnte nach Auffassung der Teilnehmer des Forums eine gemeinsame, auf die Ziele beider Richtlinien ausgerichtete Maßnahmenplanung erschweren.

Am Beispiel des Integrierten Donauprogramms des Landes Baden-Württemberg wurde die mögliche Verknüpfung beider Richtlinien in praktischer Form an technischen Bauwerken dargelegt. Die Diskussion dieser Beispiele machte aber auch klar, welchen Wert die Reaktivierung von Auen als ökologisch wirksame Maßnahmen der Wasserrahmenrichtlinie insbesondere für kleine und mittlere Hochwässer mit Blick auf einen flächenhaften Rückhalt von Hochwasser und somit für die Umsetzung der Hochwasserrisikomanagementrichtlinie hat. Als Resümee dieser Veranstaltung konnte festgehalten werden, dass die koordinierte Anwendung beider Richtlinien mehr denn je die Chance zu einer integrativen Flussgebietsbewirtschaftung bietet. Der Prozess der Umsetzung solle jedoch möglichst einfach belassen, schrittweise weiterentwickelt und möglichst auch auf eine einheitlich finanzielle Basis gestellt werden (Weyand, 2015).

Die Umsetzung beider Richtlinien obliegt den Ländern, die diese gemeinsam mit den für die Gewässerunterhaltung Pflichtigen durchführen. Hierbei ist die gemeinsame Datenhaltung und das Datenmanagement eine wesentliche Grundlage für abgestimmte, kohärente Planungen an den Gewässern.

Darauf basierend ist die Öffentlichkeitsbeteiligung zu organisieren, die in beiden Richtlinien explizit vorgeschrieben wird. Zu diesem Thema liegen umfangreiche Erfahrungen vor (z. B. Runde Tische zur WRRL, Risikokommunikation aus den Hochwassererfahrungen, Öffentlichkeitsveranstaltungen zu den Hochwasserrisikomanagementplänen). Die DWA wird diese Erfahrungen in einer neuen, derzeit in Gründung befindlichen Arbeitsgruppe HW4-1 „Risikokommunikation und Öffentlichkeitsarbeit“ (im Hauptausschuss Hydrologie und Wasserwirtschaft, Fachausschuss Hochwasserrisikomanagement) zusammentragen, bündeln und in geeigneter Form veröffentlichen.

Die Anwendung numerischer Modelle zu Prognose- und Bemessungszwecken ist bei der Umsetzung beider Richtlinien erforderlich. Mit der Modellierung von Hydraulik, Feststofftransport, Morphodynamik und Gewässergüte befassen sich mehrere Arbeitsgruppen. Auch wenn diese keinen direkten Bezug zu den beiden Richtlinien haben, werden hier wichtige Grundlagen für die Anwendung bei der Umsetzung beider Richtlinien gelegt.

Mit Blick auf eine möglichst effiziente Reduzierung von Hochwasserauswirkungen ist ohne Frage der natürliche Wasserrückhalt in der Fläche stets zu bevorzugen. Somit ist er im aktuell erschienenen DWA Merkblatt M 550 „Dezentrale Maßnahmen zur Hochwasserminderung“ (DWA, 2015) auch als eine zentrale Handlungsoption aufgeführt. Gerade der natürliche Wasserrückhalt ist zudem ein Beispiel, das die mögliche und sinnvolle Verbindung von hochwassermindernden Maßnahmen und naturnaher Gewässerentwicklung im Sinne der WRRL belegt, die daraus resultierenden Vorteile aufzeigt und dem Gesamtziel beider Richtlinie, einem integrierten Flussgebietsmanagement sehr nahe kommt.

5 Schlussfolgerungen

Wie kann die DWA die Thematik der Umsetzung beider Richtlinien in ihrer Regelwerksarbeit aufgreifen und umsetzen? Die DWA erscheint als bundesweit tätiger Fachverband eine geeignete Institution, um einerseits das fachliche Wissen systematisch in Form von Regelwerken zu sammeln und der breiten Fachöffentlichkeit für die Anwendung zur Verfügung zu stellen und andererseits den Prozess des Erfahrungsaustausches unter Experten in verschiedenster Form zu fördern. Dabei bietet sich insbesondere eine enge Zusammenarbeit mit den Wasserwirtschaftsverwaltungen der Bundesländer – hierbei vor allem der LAWA – an. In einigen Bundesländern, wie z.B. in Rheinland-Pfalz, werden die bestehenden Förderinstrumente bereits stark an der gemeinsamen Berücksichtigung von WRRL und HWRM-RL ausgerichtet (Eiden & Jüpner, 2015); entsprechen-

de Projektergebnisse und Praxiserfahrungen sind bisher noch nicht Gegenstand systematischer Betrachtung.

Der praktische Umsetzungsprozess beider Richtlinien wird in den nächsten Jahren eine Fülle von Erfahrungen bringen, die sinnvollerweise in Form von „best practise-Beispielen“ gesammelt, systematisch analysiert und bewertet werden sollten. Dazu bieten sich die verfügbaren Instrumente der DWA, wie z. B. spezielle Themenhefte an, aber auch „klassische“ DWA-Merkblätter sind denkbar.

Normen und Regelwerke haben grundsätzlich empfehlenden Charakter und bieten damit bewusst Freiräume für die individuelle und regionale Projektumsetzung. Das wird vor allem in den Bereichen auch notwendig sein, wo eine klare und eindeutige Ergebnisbetrachtung schwierig ist, ja sogar Konflikte vorprogrammiert sind, wie in den sogenannten „Kategorie 3-Maßnahmen“ (siehe Abschnitt 2.3). Diese Erfahrungen zu sammeln sowie systematisch und wissenschaftlich fundiert aufzubereiten wird ein laufender Prozess werden. Die DWA als Fachverband hat hier die große Chance, moderierend diesen Erfahrungsaustausch zu gestalten und entsprechende Plattformen anzubieten. Denkbar wäre die Weiterführung bereits existierender und bundesweit bekannter Profile, wie z. B. der „Erfurter Gespräche zur Wasserrahmenrichtlinie“, oder auch die Schaffung neuer Gesprächsforen. Hierbei sollte unbedingt die flankierende Möglichkeit des internetbasierten Austausches, z. B. zu konkreten Praxisbeispielen, stärker als bisher genutzt werden.

6 Literatur

- Bundesregierung (2015): Umweltbericht der Bundesregierung, Berlin, 23.10.2015.
- DWA (2015): Merkblatt DWA-M 550 „Dezentrale Maßnahmen zur Hochwasserminderung“, Hennef, November 2015.
- Eiden, M. und Jüpner, R. (2015): Wasserrahmenrichtlinie und Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie – Synergien und Konflikte, Wasserwirtschaft 105, Springer-Vieweg-Verlag, Wiesbaden, 12/2015.
- LAWA (2013): „Empfehlungen zur koordinierten Anwendung der EG-HWRML und EG-WRRL – Potenzielle Synergien bei Maßnahmen, Datenmanagement und Öffentlichkeitsbeteiligung. Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (Hrsg.), Tangermünde, 26./27. September 2013.
- Müller, U. (2015): Zwischenstand und weitere Aufgaben bei der Umsetzung der Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie, Wasserwirtschaft 105, Springer-Vieweg-Verlag, Wiesbaden 9/2015.
- Müller, U. (2011): Umsetzung der Europäischen Wasserrahmen- und der Europäischen Hochwasserrisikomanagementrichtlinie – Widerspruch oder Chance in der Flussgebietsbewirtschaftung?, Korrespondenz Wasserwirtschaft 4, Hennef 3/2011.

Weyand, M. (2015): Viertes DWA-Wasserrahmenrichtlinienforum zum Zusammenspiel von Wasserrahmenrichtlinie und Hochwasserrisikomanagementrichtlinie, Korrespondenz Wasserwirtschaft 8, Heft 1/2015, Seite 14 bis 17.

Autoren:

Dr.-Ing Klaus Piroth

CDM Smith Consult GmbH
Neue Bergstraße 13
64665 Alsbach

Tel.: +49 6257 504 440
Fax: +49 6257 504 494
E-Mail: klaus.piroth@cdmsmith.com

Dr.-Ing. Michael Weyand

Ruhrverband
Abteilung Flussgebietsmanagement
Kronprinzenstraße 37
45128 Essen

Tel.: +49 201 178-2330
Fax: +49 201 178-2303
E-Mail: mwy@ruhrverband.de

Prof. Dr. Robert Jüpner

Technische Universität Kaiserslautern
Fachbereich Bauingenieurwesen
Paul-Ehrlich-Straße 14
67663 Kaiserslautern

Tel.: +49 0631 205-3805
Fax: +49 0631 205 3904
E-Mail: robert.juepner@bauing.uni-kl.de

EG-WRRL - Darf es etwas mehr Emotion sein?

Detlef Sönnichsen

Trotz guter Voraussetzungen sind die Fortschritte zum Guten Gewässerzustand gering. Es geht sehr langsam. Ein Blick zurück auf großartige Maßnahmen des Kulturbaus an Gewässern führt zwangsläufig zu der Frage, warum unseren Vorgängern solche Leistungen gelungen sind. Es könnte an den Motiven gelegen haben, die in Hunger nach Lebensmitteln, nach Wohlstand und Macht zu finden sind. Sehr menschliche Motive wirkten scheinbar als gute Motoren. Kann man sich die Wirkung einer sehr menschlichen Motivation auch heute zunutze machen? Könnten nicht Spaß und Vergnügen am und im Gewässer eine solche Motivation, ein solcher Motor sein?

Stichworte: Motivation, Bürgerfreundlichkeit, Flussbaden, Gewässerspielplatz, Gemeindegebrauch

1 EG-WRRL: Trotz guter Voraussetzungen geht es zu langsam

Ein Blick in die Umsetzungspraxis zeigt, dass es mit der Umsetzung meist zu langsam vorangeht. Politische Entscheidungen, Grunderwerb, Planungen und Genehmigungsverfahren benötigen viel mehr Zeit als in den Vorgaben aus Brüssel eingeplant war (Abbildung 1). Nüchtern betrachtet eigentlich auch viel mehr Zeit als nötig ist.



Abbildung 1: Vorplanungen 2006 zur Umgestaltung, 2016 keine Umsetzung in Sicht

Ein Blick in den Alltag der Umsetzung zeigt auch: Die EG-WRRL ist für Politik und Bürger wenig interessant (was gleichermaßen für die HWRM-RL gilt). Sie ist für den Unbedarften unverständlich, ja selbst die Beteiligten haben nicht immer den Überblick.

Dennoch ist die EG-WRRL ein perfekt formuliertes Ziel um unsere Gewässer hin zum Guten Zustand zu entwickeln. Und die Fleißarbeit der vergangenen Jahre hat ja Wirkung gezeigt. Wir haben zur Umsetzung der Richtlinie einen gut gefüllten Werkzeugkasten (Abbildung 2).



Abbildung 2: Werkzeugkasten Bewirtschaftungsinstrumente

Unsere Bewirtschaftungsinstrumente, angefangen vom Wasserhaushaltsgesetz bis zu den Gewässerentwicklungskonzepten und Maßnahmenfahrplänen sind vorhanden. Politisch wird mehr Geld bereitgestellt, als an der Basis umgesetzt werden kann. Mit den modernen Medien der Datenbanken und des Internets sind großartige Informationen vorhanden und deren Verbreitung ist ideal möglich. Es sind die Umsetzungsverantwortlichen benannt. Auf großen Flächenanteilen gibt es Wasserverbände.

In den Flurbereinigungsbehörden sind die Fähigkeiten des großformatigen Grunderwerbs vorhanden. Was könnte noch besser laufen?

2 Rationale Effizienzsteigerung

Aus rationaler Sicht kann man klare Vorstellungen von einer Steigerung der Effizienz in der Umsetzung haben. Das betrifft z. B. die Professionalisierung des Grunderwerbs. Kommunen als Maßnahmenträger können mit größerem Grunderwerb überfordert sein, das gilt auch für kleinere Wasserverbände. In NRW

bewirkte die Politik die Integration der Flurbereinigungsbehörden, die in der Vergangenheit in großem Umfange Flächen für Gewässerbaumaßnahmen bereitgestellt hat, in die Bezirksregierungen. Die Flurbereinigungsbehörde ist in dem wichtigen Geschäft des Grunderwerbs routiniert. Sie arbeitet professionell und genießt das Vertrauen der Landwirtschaft. Sie ist nach wie vor bei Gewässerbaumaßnahmen in der Flächenbereitstellung durch Bodenordnung tätig und kann ein wertvolles Instrument zum Grunderwerb als unabdingbare Voraussetzung von Gewässermaßnahmen sein.

Es gibt aus den Zeiten des Kulturbaus eine Vielzahl von landwirtschaftlichen Wasserverbänden. Sie sind die Hüter vieler Kilometer Gewässerstrecken und damit auch ideale Umsetzungsverantwortliche. Wenn auch die technischen Geschäftsführer gerne den Forderungen der Richtlinie nachkommen würden: Weder ist die landwirtschaftlich geprägte Verbandsversammlung einverstanden, noch passt die Satzung und die Finanzierung zur Aufgabe. Hier besteht Anpassungsbedarf.

Kann man für die Maßnahmen zum Erreichen des Guten Gewässerzustandes möglicherweise die Genehmigungspraxis in Frage stellen? Müssen die Verfahren so lange dauern, müssen vorbehaltlos alle Arbeitsschritte zum Stichwort Eingriff so vollständig und so umfangreich abgearbeitet werden? Die Erfahrung an der Basis zeigt, dass in den Behörden ein enormer Ermessensspielraum zur Beschleunigung vorhanden zu sein scheint und dass seine Ausnutzung mit dem Mut und der Souveränität der Handelnden zu tun hat, also dem Zufall überlassen bleibt. Es wäre schön, wenn alle dazu ermutigt würden, den möglichen Ermessensspielraum auch auszunutzen.

Wie sieht es mit der Taktik des Vorgehens aus? Der verantwortliche Dezernent der Bezirksregierung Arnsberg (NRW) stellte mir in einem Gespräch die Frage: „Ist unser planerisches Vorgehen noch zeitgemäß?“. Eine berechtigte Frage bei dem vielen Protest, der einem bei manchen Projekten schon mal entgegenschlägt. Die britische Wasserwirtschaftsverwaltung Environment Agency verordnet den Beteiligten mehrtägige Seminare zum Umgang mit Stakeholdern. Wer es mal versucht hat, wird feststellen: Wenn man keine Angst vor den Beteiligten hat, sie sogar frühzeitig beteiligt und zur Mitarbeit ermuntert, wird das Ergebnis besser und der Widerstand schmilzt.

3 Wasserbauliche Maßnahmen der Vergangenheit

Gerade bei der Erarbeitung von Konzepten oder bei der Planung an stark deformierten Gewässern führen die Vorarbeiten zwangsläufig dazu, sich mit der Entstehung des naturfernen Zustandes zu beschäftigen.



Abbildung 3: Vechte (Google Earth); Vechteausbau um 1960 (Quelle: Sönnichsen&Partner)

Und das verleitet vor dem Hintergrund heutiger Schwierigkeiten schnell zu der Frage, wie es vor 50, 70, oder 100 Jahren gelang, solche weitreichenden, aufwändigen und schwierigen Vorhaben mit deutlich primitiveren Mitteln in vergleichsweise kurzer Zeit umzusetzen (Abbildung 3). Was – abgesehen von der Maschinenteknik – die Voraussetzungen betraf, waren verglichen mit heute die Bedingungen doch sehr ähnlich: Politischer Wille, gesetzliche Vorgaben, Geldmittel und das nötige Ingenieurwissen sowie die Fähigkeit zur praktischen Umsetzung waren vorhanden.

Worin mag dann der Unterschied zu heute bestanden haben? Kann es an den Motiven gelegen haben? Welche Motive trieben unsere Vorfahren an? Waren nicht urmenschliche Motive wie Macht und Hunger die Motoren? Politische Macht, geknüpft an Transportmöglichkeiten auf Wasserstraßen und Hunger nach Lebensmitteln aus gesteigerter landwirtschaftlicher Produktion? Waren diese Motive nicht offensichtlich sehr starke Motoren, die zu solchen Leistungen antrieben?

In den Unterlagen zu Maßnahmen des Reichsarbeitsdienstes und zu Regulierungsmaßnahmen der Nachkriegszeit kommt immer wieder zum Ausdruck, dass Hunger nach Arbeit, nach Nahrungsmitteln die Gründe für solche Arbeiten waren (Abbildung 4).

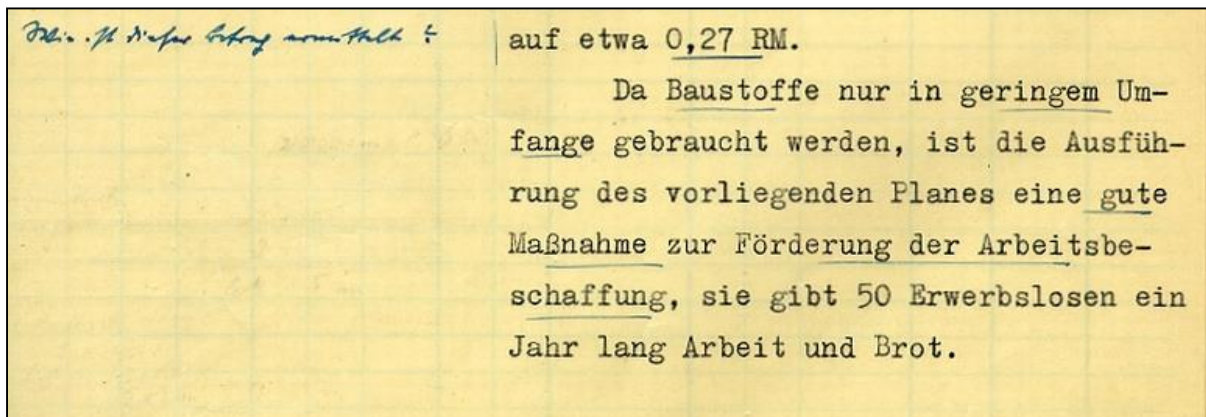


Abbildung 4: Auszug aus Erläuterungsbericht zu einer Gewässerregulierungsmaßnahme

Der konsequente und aus heutiger Sicht übertriebene Ausbau der Weser (Hartmann et al., 2013) beruhte auf machtpolitischen Überlegungen für einen Transportweg von Bremerhaven nach Passau, die noch bis in die 70er Jahre des vorigen Jahrhunderts galten (Abbildung 5).



Abbildung 5: Weser als Wasserstraße (Quelle: Sönnichsen&Partner)

4 Irrationale Effizienzsteigerung: Spaß am Wasser - schöner Fluss

Wie ist es heute mit unseren Motiven bestellt? Hat man das Ansinnen der EG-WRRL einmal verstanden und zu Zielen aggregiert, ist die Aufgabe ja eigentlich einfach: Wir haben drei Aspekte zu verfolgen, Herstellen der Durchgängigkeit, Verbesserung der Strukturgüte und Minderung der Einträge (Abbildung 6).

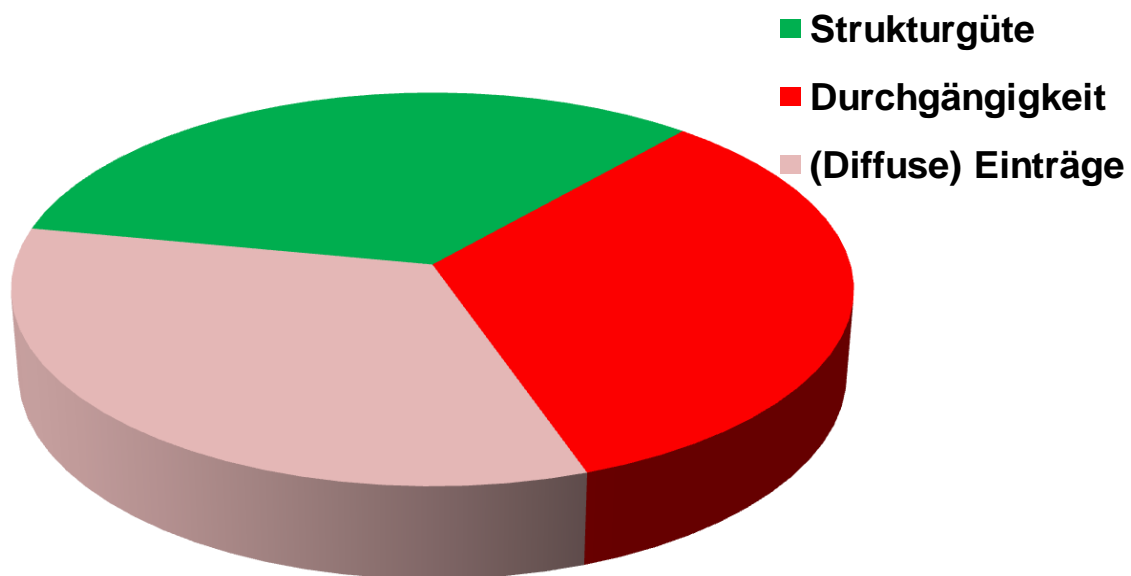


Abbildung 6: Arbeitsfelder zum Guten Gewässerzustand (Grafik: Sönnichsen&Partner)

Was für den Planer jetzt einfach scheint ist es für Politiker und Bürger noch lange nicht. Was aber für alle Beteiligten gemeinsam gilt: Es sind nüchterne Ziele, sie folgen nüchternen, verstandesmäßigen Überlegungen zum Erreichen eines besseren Zustandes unserer Umwelt. Im Vergleich zum oben beschriebenen Szenario wasserbaulicher Maßnahmen der Vergangenheit haben sie nichts an sich, was Politiker, Bürger, Planer und letztlich auch die Ausführenden zu besonderen Anstrengungen veranlasst (außer Strafzahlungen aus Brüssel zu entgehen).

Es sind praktische Erfahrungen, die zu nachfolgenden Ausführungen veranlassen (Loges und Sönnichsen, 2016). Was wäre, wenn man versucht, den nüchternen Zielen der EG-WRRL dem Menschen näher stehende Dinge beizupacken? Um damit, um im Bild zu bleiben, letztlich stärkere Motoren für die Umsetzung zu liefern? Und könnte diese Anreicherung nicht am wirkungsvollsten im Vergnügen bestehen, im Spaß, den Menschen in Verbindung mit Gewässern erleben können?

Einen Hinweis auf die Faszination Fließgewässer gibt der Begriff "Gemeingebrauch". Etwas, das die Preußen 1913 mit ihrem Wassergesetz eingeführt haben und das heute noch in allen Landeswassergesetzen mehr oder weniger im Wortlaut enthalten ist. Die Regelungen zum Gemeingebrauch verbürgen das Recht der Bürger in öffentlichen Gewässern (...) zu baden, zu waschen, Vieh zu tränken... usf. Fließgewässer spielten früher im Alltagsleben der Menschen eine viel größere Rolle und gerade das Baden, das sich im Fluss aufhalten hatte eine große vergnügliche, hygienische und auch spirituelle Bedeutung (Abbildung 7).



Abbildung 7: Alte Badestelle an der Weser (Quelle: Sönnichsen&Partner)

Menschen, die sich an Gewässern aufhalten, fangen zu spielen an, vergnügen sich im ursprünglichen Sinne. Diesem Drang haben die Preußen mit dem Begriff Gemeingebrauch eine gesetzliche Geltung verschafft, die glücklicherweise heute noch gilt (§ 25 Pr. WG 1913). Sie ist nur durch die Einführung der Schwemmkanalisation seit zwei, drei Generationen aus dem Blick geraten. Wer gerade heute seinem Instinkt folgend, sei es auf Planerseite oder Auftraggeberseite, die spielerische Art der Gewässernutzung bei konkreten Maßnahmen aufgreift, wird vom Erfolg erst überrascht und dann in seinem Handeln bestätigt (Abbildung 8). Um in der Folge festzustellen, dass für weitere Maßnahmen zum Guten Gewässerzustand alles leichter fällt und es schneller geht.



Abbildung 8: Neue Flussbadestelle an der Emmer (Quelle: Sönnichsen&Partner)

In Flussbaumaßnahmen zum Guten Gewässerzustand lassen sich fast immer auch Maßnahmen integrieren, die neben dem ökologischen Ziel auch dem Vergnügen der Menschen dienen.

Um Planungen in diese Richtung begrifflich zu erweitern, wird der Begriff "Spaß am Wasser - Schöner Fluss" eingeführt. Wasser fasziniert, fließendes Wasser besonders. Diese Faszination und emotionale Bindung sollte man sich wirkungsvoll zu Nutze machen, um politische und gesellschaftliche Zustimmung zu Maßnahmen des Guten Gewässerzustandes zu erreichen und sie zu befördern. Dazu gehören kleine Bausteine wie Gewässerzugänge, Waschplätze, Trittsteinfurten ebenso wie die Herstellung von Flussbadestellen. Begeisterte Menschen, positive Presse, selbstvergessen spielende Kinder zeigen das Potenzial solcher Bausteine als Motoren (Abbildung 9).



Abbildung 9: Huckleberry Finn

5 Literatur

- A. Hartmann, J. Tack, D. Sönnichsen, W. Meyer (2013): Verwaiste Schifffahrwege - Chance und Herausforderung. Wasserwirtschaft, Heft 7/8 2013.
G. Loges, D. Sönnichsen, (2016): Schöner Fluss - Emmerauenpark Lügde. DWA Gewässer-Info, Heft 1/16.
Preußisches Wassergesetz (7. April 1913).

Autor:

Dipl.-Ing. Detlef Sönnichsen

Sönnichsen&Partner
Schwarzer Weg 8
32423 Minden

Tel.: +49 571 45226
E-Mail: detlef.soennichsen@soe-ing.de
Web: <http://www.soe-ing.de/>



Dyrhoff Ltd

is the European agent for the Obermeyer Hydro pneumatically-operated spillway gate system. Dyrhoff also specialises in the design and supply of inflatable rubber dams.

Over the last 25 years, Dyrhoff has been involved in the design and supply of over 100 rubber dams and pneumatically-operated gates for applications such as water supply, hydropower, flood control and management, irrigation, recreation, in-line sewage retention and diversion and tidal water control. Whatever your project, we will offer the best solution.



DYRHOFF

Dyrhoff Limited

Unit 9 The Glenmore Centre
Shearway Business Park
Folkestone
Kent CT19 4RJ
United Kingdom

office@dyrhoff.co.uk
Tel. +44 1303 275900
www.dyrhoff.com

Vereinbarkeit von Hochwasserrisikomanagement, Gewässerentwicklung und Siedlungswasserwirtschaft im engen urbanen Raum

Marc Scheibel
Alexander Löcke

Im engen urbanen Raum sind die unterschiedlichen Zielrichtungen der Raum- und Wassernutzung oft mit Konfliktpotenzial versehen. Dieses gilt es durch gegenseitiges Prozessverständnis und Effektabschätzung in einer offenen Kommunikation zu beseitigen. Als Ergebnis sind jedoch nicht immer zwangsweise Kompromisse notwendig, sondern bei einer frühzeitigen Abstimmung im hohen Maße auch Synergien möglich.

Stichworte: Hochwasserrisikomanagement, naturnah Fließgewässerentwicklung, Einleitungsbedingungen, Entscheidungshilfen, Priorisierung, Gewässerunterhaltung

1 Einleitung

Die Gewässer im urbanen Umfeld sind geprägt durch den Grad der anthropogenen Beeinflussung. Die intensive Nutzung der Gewässer und deren Einzugsgebiete, schon seit vielen Jahrzehnten bis Jahrhunderten, hat den Wasserhaushalt und die morphologische Ausgestaltung über lange Zeiträume beeinflusst und in der Wechselwirkung zwischen Ursache (Beispiel: Versiegelung) und Wirkung (des Beispiels: erhöhte Abflussspitzen und reduziertes Grundwasser) entsprechende Maßnahmen (ausgebautes Gewässer mit technischem Hochwasserschutz) notwendig gemacht.

Die Beeinflussung der Gewässer findet jedoch nicht nur auf wassermengenwirtschaftlicher und morphologischer Seite, sondern auch aus Gewässergütesicht statt (siehe Abbildung 1). Kann unter diesen Randbedingungen wieder eine naturnahe Gewässerentwicklung stattfinden? Können die Ansprüche aus Siedlungswasserwirtschaft, Hochwasservorsorge und Ökologie konfliktfrei erfüllt werden? Gibt es Wege zu einer gemeinsamen integralen Planung? Im Folgenden werden die Konflikte, aber auch die Chancen und Möglichkeiten beleuchtet.

Viele Hinweise und Hilfestellung bietet hier auch das Merkblatt DWA-M 609-1 „Entwicklung urbaner Fließgewässer“ (DWA, 2009).



Abbildung 1: Anthropogene Einflüsse auf die Gewässer

2 Konfliktpotenzial Ökologie, Hochwasservorsorge und Stadtentwässerung

Die Stadtentwässerung hat die Aufgabe Teile des anfallenden Regenwassers zu sammeln aus den besiedelten Gebieten abzuleiten und klärflichtige Anteile zu behandeln. Dies geschieht bis zu einem bestimmten, definierten Bemessungsregen - extremere Regenmengen können weder über die Fallrohre und Hausanschlüsse, noch über die Strasseneinläufe ins Netz gelangen, oder über dieses abtransportiert werden. Trotz einer solchen Begrenzung der abzuleitenden Niederschlagsmengen durch die Leistungsfähigkeit des Entwässerungssystems, finden die Einleitungen in die Gewässer konzentriert und punktuell an Überläufen, oder bei Trennsystemen auch direkt aus dem Kanal statt. An diesen Einleitungsstellen können, je nach örtlicher Leistungsfähigkeit des Gewässers nachhaltige Störungen der Biozönose, sowie Verschlechterung der Hochwassersituation die Folge sein. Durch die aus dem Entwässerungsnetz kommenden Wassermengen können – je nach Verhältnis zu den örtlichen naturnahen Abflüssen – Erosionsbereiche,

Ausspülung der Biozönose („Katastrophendrift“), Veränderungen der Gewässergüte und erhöhte Abflussspitzen die Folge sein.



Abbildung 2: Intensive“ Nutzungen an Gewässern

Durch die intensive Nutzung der Flächen bis nah an das Gewässer – sei es im urbanen Raum oder den landwirtschaftlich geprägten Gebieten (siehe Abbildung 2) – wurde zum Schutze der, aufgrund der Nähe zum Gewässer, nun stark gefährdeten Werte technischer Hochwasserschutz notwendig. Die Gewässer mussten teilweise massiv ausgebaut werden. Dies bedeutet eine Begradigung (optimale Ausnutzung der Fläche entlang des Gewässers) mit entsprechend steilerem Gefälle – gemäß dem lange vorherrschenden Prinzip des Wassertransportes schnell und schadfrei aus einem zu schützenden Gebiet nach unterhalb („**Vorflut**“) – ein dafür notwendiges gesichertes massives Profil mit möglichst hoher Leistungsfähigkeit (siehe Abbildung 3), welches aufgrund des Platzmangels nur mittels Höhe erreicht werden konnte. Natürliche Ausuferungen sollten und wurden damit verhindert und ein naturnahes „Breiter-als-Tief-Verhältnis“ der Profile wurde von eingetieften Gewässern abgelöst.



Abbildung 3: technischer Gewässerausbau

Dies führt zu Profilen, die „bordvoll“ (bis zur Ausuferung) teilweise bis zu einem Hochwasserereignis seltener als einmal in 100 Jahren abführen können.

Durch das gleichmäßige, befestigte Profil können sich auch keine Niedrigwasserbereiche mit entsprechender Fließgeschwindigkeit ausbilden, was aufgrund des fehlenden Basisabflusses bereits zu Defiziten führt. All dies war und ist die Ursache dafür, dass der potenzielle Lebensraum für eine gewässertypenspezifische Biozönose nachhaltig gestört oder sogar die Besiedelung nicht mehr möglich und vorhanden ist. Eine notwendige morphologische Vielfalt von Strukturen und Fließbereichen mit dem entsprechenden Wasserhaushalt sind somit Voraussetzung für eine Erreichung der ökologischen Zielsetzungen auch gemäß der WRRL. Die einzelnen Zielsetzungen scheinen sich im ersten – zumindest traditionellen - Ansatz also teilweise zu widersprechen (siehe Abbildung 4).

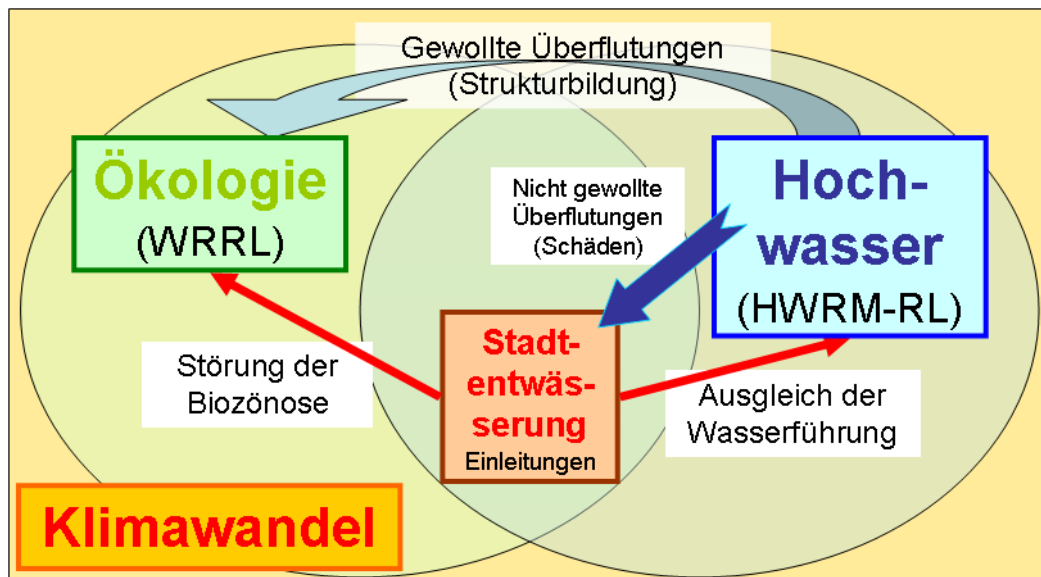


Abbildung 4: Wechselwirkung zwischen den Aufgaben

In diesem Kontext sind auch weitere Randbedingungen wie der demographische Wandel oder Klimawandel zu betrachten. Gerade im Vorfeld der Planung von Maßnahmen und der Beständigkeit, zumindest für die nächste Zukunft, sind die Unsicherheiten von Veränderungen mit einzubeziehen um Handlungsspielräume offen zu lassen. Somit wird das Thema „Unsicherheiten“ von Entscheidungsgrundlagen zu nehmend wichtiger.

3 Zielrichtungen Hochwasserschutz und Gewässerentwicklung: ein Spannungsfeld?

Nimmt man die Zielsetzungen und Randbedingungen der beiden Themenfelder Hochwasserschutz und Gewässerentwicklung ergibt sich folgendes Bild (siehe

Abbildung 5): Während für den Hochwasserschutz das Nutzungsumfeld die Zielrichtung vorgibt (je intensiver die Nutzung, je höher das Schutzgut, je höher der angestrebte Schutzgrad), ist es für die naturnahe Gewässerentwicklung eine Restriktion (je intensiver die Nutzung, je weniger Entwicklungsmöglichkeit). Während für die naturnahe Gewässerentwicklung lokale Erosion und Ausuferung ein notwendiges Element ist, ist dieses aus Gründen des technischen Hochwasserschutzes unerwünscht. Mit dem Argument, dass Totholz und Gehölz im Abflussquerschnitt zu einer Verklauung an Bauwerken oder einer Anhebung des Wasserspiegels durch erhöhte Rauheit führen und damit die „Vorflut“ nicht gesichert ist, sind schnell die Möglichkeiten für eine naturnahe Gewässerentwicklung vom Tisch. Dies aber pauschal als Argument anzuführen, ohne die örtlichen Verhältnisse und Möglichkeiten zu prüfen, vergibt viele Chancen, die der naturnahe Gewässerausbau auch für den Hochwasserrückhalt bietet.

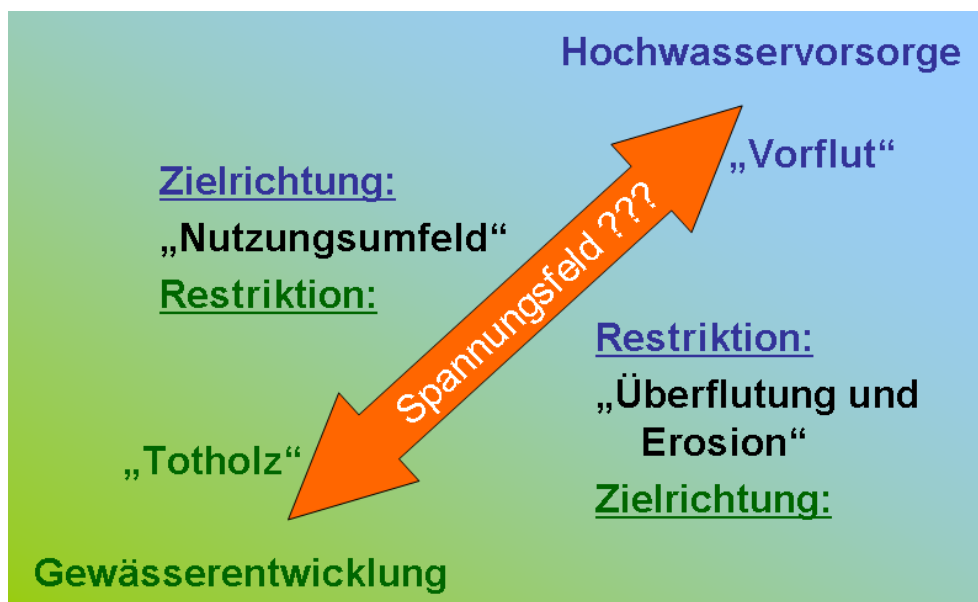


Abbildung 5: Zielrichtungen und Restriktionen im Spannungsfeld

Begrenzt man die Hochwasservorsorge auf den rein technischen Hochwasserschutz mit der Philosophie das Wasser schnell und konzentriert ohne Schaden bis zu einem Bemessungsabfluss aus dem betreffenden Gebiet „abzutransportieren“ mögen die Argumente ihre Begründung haben, dies entspricht aber schon lange nicht mehr den Erkenntnissen über eine effiziente Hochwasservorsorge. Neben dem technischen Hochwasserschutz hat spätestens seit dem LAWA Papier von 1995 auch der Wasserrückhalt in der Fläche eine zunehmende Bedeutung gewonnen: „Jeder Kubikmeter Wasser, der durch die Wiedergewinnung von Überschwemmungsgebieten, durch Gewässerrenaturierung, Entsiegelung, Versickerung und durch standortgerechte Land- und Forstbewirtschaftung sowie durch Erhalt und Förderung von Kleinstrukturen zur Wasserrückhaltung in

der Landschaft zurückgehalten wird, ist ein Gewinn für den Naturhaushalt und entlastet uns beim Hochwasser., (LAWA, 1995). Hierdurch treffen sich die Ziele sowohl der Gewässerrenaturierung als auch der Hochwasservorsorge und finden ein gemeinsames Element. Ein naturnaher Wasserhaushalt kommt nicht nur der Kappung von Hochwasserspitzen zu Gute, sondern dient auch der Grundwasserneubildung und somit der Aufhöhung von Niedrigwasser (siehe Abbildung 6).

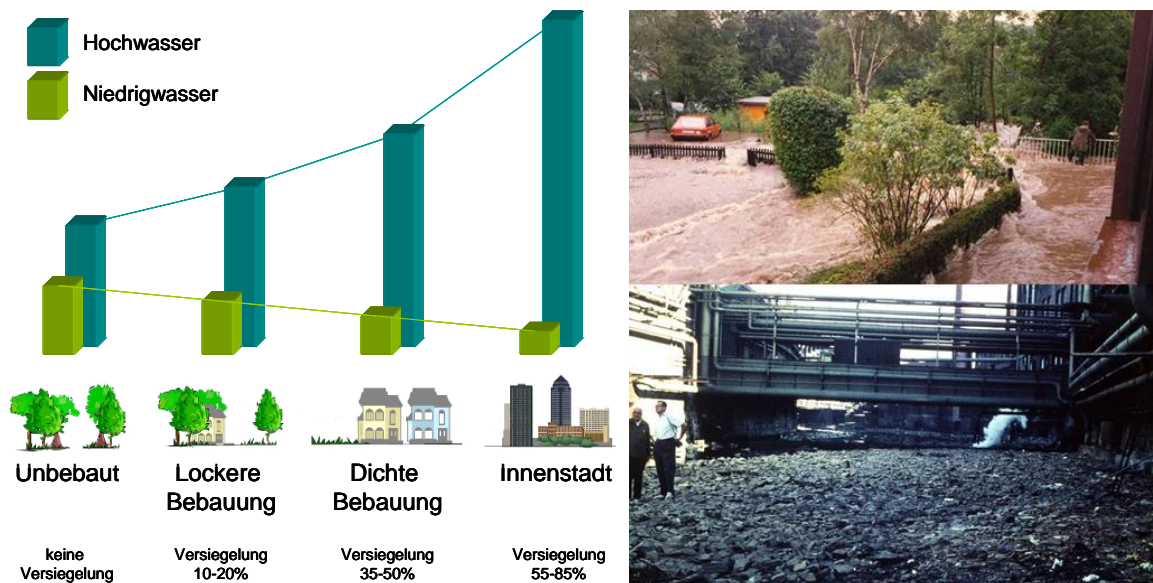


Abbildung 6: Relative Zunahme des Hochwasser-Abflusses und Rückgang der Niedrigwasserführung mit veränderter Flächennutzung (aus DWA, 2009) – Photos: Wupperverband

4 Vereinbarkeit von HWRM-RL (Hochwasservorsorge), WRRL (Gewässerentwicklung) und Stadtentwässerung

Mit der gemeinsamen Zielsetzung eines naturnahen Wasserhaushaltes und dem natürlichen Rückhalt von Abfluss gibt es eine gemeinsame Ausrichtung der beiden Aufgaben. Innerhalb der beiden EU-Richtlinien (HWRM-RL und WRRL), auch wenn diese zeitversetzt in Kraft getreten sind, werden die Ziele der jeweils anderen Richtlinie gegenseitig erwähnt. Durch die zukünftige Harmonisierung in der zeitlichen Umsetzung (ab 2016) entstehen neue Chancen für eine Harmonisierung auch der Maßnahmen. Ein Risiko besteht nur darin, dass nicht gemeinsam geplante und abgestimmte Maßnahmen umgesetzt werden und man nachträglich feststellt, dass Ziele der anderen Richtlinie verletzt werden. Daher sollte es oberstes Gebot sein, die Grundlagen, Planungen und Umsetzungen abgestimmt anzugehen. Die Stadtplanung und -entwässerung spielt bei der Umsetzung beider Richtlinien eine wichtige Rolle (siehe Kapitel 2). Eine möglichst

frühe Abstimmung und gemeinsame Grundlagenermittlung ist daher anzustreben. So können die konkreten Ziele und Maßnahmen abgeglichen und in ihrer gegenseitigen Wechselwirkung beurteilt werden. Hierbei müssen die unterschiedlichen zeitlichen und räumlichen Prioritäten (vor Allem bei der Umsetzung von Maßnahmen) berücksichtigt werden und notwendige Kompromisse zur Vereinbarkeit der unterschiedlichen Zeitpläne (z. B. auslaufende Genehmigungen, ABK, Bewirtschaftungsplan, Hochwassermanagementplan) auch von den Aufsichtsbehörden mitgetragen werden. Die Frage ist es, wie man zu einer gemeinsamen Priorisierung gelangen kann und wie diese nachvollziehbar dokumentiert werden kann – dazu wird im Folgenden ein Lösungsansatz präsentiert.

5 Priorisierung von zu entwickelnden Gewässern

Sowohl bei der Wasserrahmenrichtlinie (Wasserkörper), als auch bei der Hochwasserrisikomanagementrichtlinie (potentiell signifikante Risikogewässer) werden in erster Priorität nicht alle Gewässer betrachtet. Wenn auch die Zielvorgaben für die prioritären Gewässer vorgenommen werden, ist die Einzugsgebietsweise Betrachtung aber zu ergänzen, da sich auch und gerade an Nebengewässern Einleitungssituationen und Entwicklungspotenziale ergeben, welche im hohen Maße Einfluss auf die Hauptgewässer nehmen können. Im Wasserrechtlichen Vollzug sind weiterhin an den Nebengewässern oftmals die konkreten Verfahren vorzufinden, die einer Lösung bedürfen. Der Wupperverband geht daher den Weg:

- Betrachtung aller Gewässer:
 - *Meldepflichtige nach Wasserrahmenrichtlinie*
 - *Risikogewässer nach Hochwasserrisikomanagementrichtlinie*
 - **Und die übrigen Gewässer**
- Priorisierung:
Betrachtung der Gewässer nach abgestimmten Prioritäten
- Maßnahmenkonzepte aus unterschiedlichen Sichtweisen
- Zusammenführen der Maßnahmen
- Prioritäten bei der Zielsetzung.

Als Beispiel für die Einzugsgebietsweise Betrachtung sieht man in Abbildung 7 das mit einem potenziell signifikanten Hochwasserrisiko ausgewiesene Gewässer in rot dargestellt, die roten Kästchen auch an den Nebengewässern weisen dort Objekte mit potenziellem Hochwasserrisiko aus. Das Bild rechts zeigt die Abflusskonzentration in den Gewässern im Vergleich zum naturnahen Zustand auf. Somit ergibt sich eine Kenntnis in dem gesamten Einzugsgebiet – auch wenn Einleitungsfragen oder Fragen zu Gewässermaßnahmen an Nebengewässern zu beantworten sind.

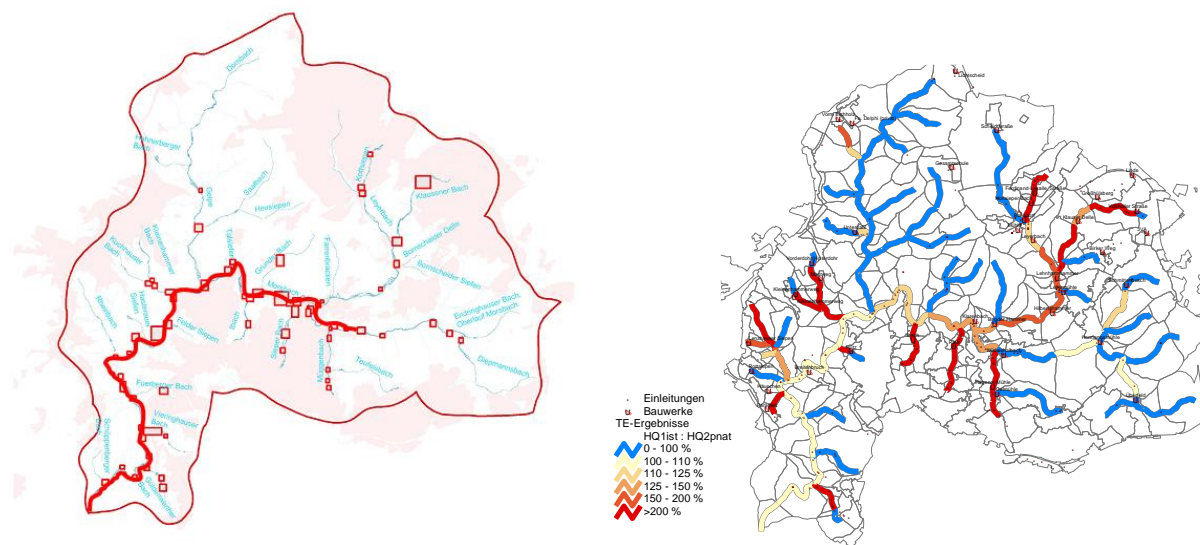


Abbildung 7: Einzugsgebietsweise Betrachtung der Fragestellungen

Nach der Grundlagenerhebung und Anwendung von Modelltechnik, sowie der vorhandenen Ortskenntnisse und Betriebserfahrungen, lässt sich so eine gemeinsame Priorisierung von Stadtentwässerung, Ökologie und Hochwasservorsorge aufstellen und abstimmen. Nach einer Gewässervorauswahl aus einer Entwicklungspotenzialabschätzung erfolgt eine Priorisierung nach definierten Kriterien und Darstellung der Einzelergebnisse. Hierbei wird im ersten Schritt unterschieden in Gewässerunterhaltung / Gewässerökologie, WRRL und Hochwasservorsorge aus dem eine Priorisierungsliste als Vorschlag des Wupperverbandes resultiert. Die Kommune ergänzt Ihre Kriterien (Landschafts- & Naturschutz, Stadtentwicklung und Siedlungsentwässerung) und priorisiert nach diesen. Anschließend findet ein Abgleich statt (siehe Abbildung 8), der die gemeinsamen Aktivitäten in eine Rangfolge bringt.

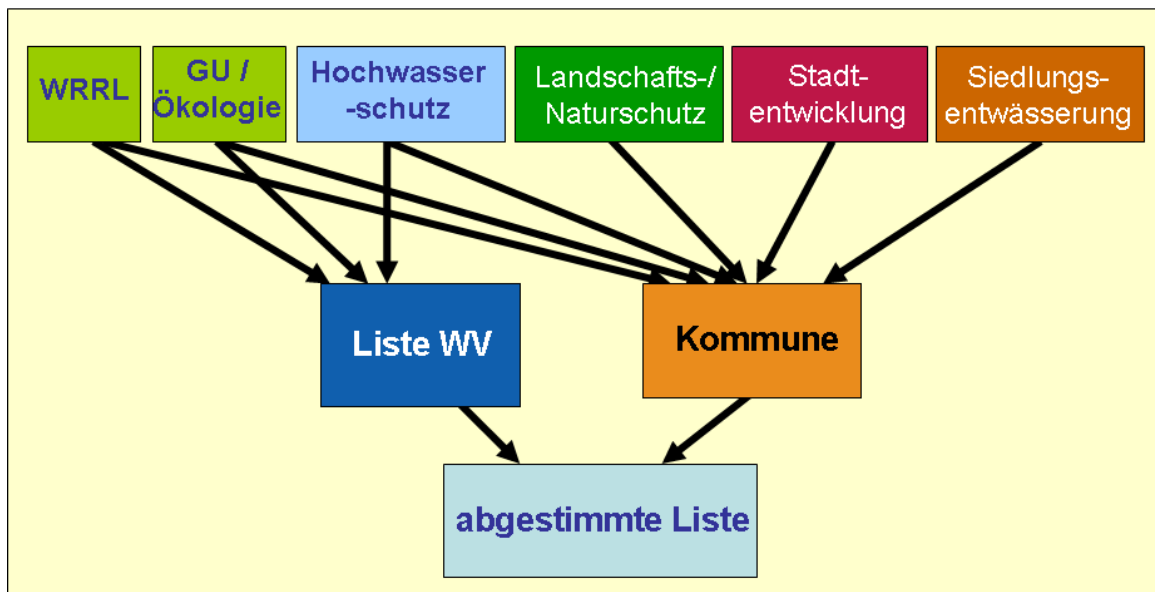


Abbildung 8: Priorisierung von zu entwickelnden Gewässern

Nach diesem Diskussionsprozess sind nicht nur die Prioritäten der einzelnen Beteiligten allen besser bewusst, sondern auch die Problemstellungen und Zielsetzungen anderer Fachbereiche verständlicher.

6 Beispiele zu einzelnen Projekten und Fazit

Im Vortrag werden einige Beispiele aus der Praxis zu den oben genannten Ansätzen gegeben. Im Besonderen sei hier zusätzlich auf den Vortrag im Rahmen derselben Veranstaltung des Wasserbaukolliums 2016: „*KNEF++: Konzept zur naturnahen Entwicklung von Fließgewässern im Einklang mit Maßnahmen für den Hochwasserschutz*“ (Sobolewski et al., 2016) hingewiesen. Durch die Beispiele wird gezeigt, wie Hochwasservorsorge, naturnahe Gewässerentwicklung und Siedlungswasserwirtschaft im engen urbanen Raum in Einklang gebracht werden und Synergien genutzt werden können. Es geht also nicht um ein „entweder oder“, sondern ein „aufeinander abgestimmt“, was allerdings zur Konsequenz haben kann, dass in einzelnen Gewässerabschnitten die Zielsetzungen einer naturnahen Gewässerentwicklung Kompromisse eingehen muss, da der Schutz von Leib und Leben selbstverständlich immer Vorrang hat. Es bedeutet aber umgekehrt auch, dass sich die Hochwasservorsorge nicht nur auf den technischen Hochwasserschutz begrenzen kann, was die vergangenen Hochwasserereignisse an Donau und Elbe wieder einmal gezeigt haben.

7 Literatur

- LAWA (1995): Leitlinien für einen zukunftsweisenden Hochwasserschutz. Berlin, Länderarbeitsgemeinschaft Wasser.
- DWA (2009): 609-1 Entwicklung urbaner Fließgewässer - DWA-Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Heft 609-1, Hennef 2009.
- Sobolewski, D, Scheibel, M., Buchholz, O. (2016): KNEF++: Konzept zur naturnahen Entwicklung von Fließgewässern im Einklang mit Maßnahmen für den Hochwasserschutz, Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen, Heft 57 – 39. Dresdner Wasserbaukolloquium 2016 „Gewässerentwicklung & Hochwasserrisikomanagement“, Dresden 2016.

Autoren:

Dipl.-Ing. Marc Scheibel

Dipl.-Ing. Alexander Löcke

Wupperverband
Untere Lichtenplatzer Str. 100
42289 Wuppertal

Wupperverband
Untere Lichtenplatzer Str. 100
42289 Wuppertal

Tel.: +49 202 583246
Fax: +49 202 583118
E-Mail: schei@wupperverband.de

Tel.: +49 202 583127
Fax: +49 202 583118
E-Mail: loe@wupperverband.de

Sediment – ein „missing link“ zwischen WRRL und HWRL? Untersuchungen an einem sandgeprägten Tieflandfluss

Ingo Schnauder, Christoph Gerstgraser,
Michael Nones, Mathias Schuster, Steffen Giebler

Transport und Umlagerung von Sedimenten sind in Fließgewässern natürliche Prozesse. Durch Hochwässer können erhebliche Mengen an Sedimenten mobilisiert werden, mit positiven als auch negativen Auswirkungen für die aquatische Biodiversität und das Hochwasserrisiko. Allerdings wird diesem Aspekt derzeit weder in der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) noch in der Hochwasserrahmenrichtlinie (HWRL) ausreichend Rechnung getragen wie am Beispiel eines sandgeprägten Tieflandflusses, der Spree bei Cottbus, aufgezeigt wird.

Stichworte: Sediment, Sedimenttransport, sandgeprägter Tieflandfluss, Renaturierung, Monitoring, HWRL, WRRL.

1 Vorgaben für Fließgewässer in WRRL und HWRL

EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) und EU-Hochwasserrichtlinie (HWRL) bilden derzeit den Gesetzesrahmen, der Gestalt und Funktion der Fließgewässer in Deutschland weitgehend vorgibt. Da die HWRL später verabschiedet wurde, enthält sie ein Koordinierungsgebot mit der bestehenden WRRL, das einer Verbesserung der Effizienz, des Informationsaustausches und der Erzielung von Synergieeffekten dient.

Ziel der WRRL ist die Erreichung eines guten ökologischen Zustandes der Fließgewässer, die HWRL dient der Verringerung des Hochwasserrisikos und negativer Auswirkungen auf verschiedene Schutzgüter (Tabelle 1). Von zentraler Bedeutung sind dabei die Bewertungskriterien / Indikatoren, die repräsentativ für viele unberücksichtigte Parameter des Gewässers stehen. Bei der WRRL sind dies vorrangig biologische Komponenten, die über Beprobungen erfasst werden. Bei der HWRL zählt das Ausmaß des Einstaus, welches auf Grundlage von hydronumerischen Strömungsmodellen (HN-Modelle) und DGM-Überlagerung mit GIS-Anwendungen bewertet wird.

In beiden Fällen wird bei der Zustandserhebung eine Momentaufnahme des Gewässers zugrunde gelegt, ohne auf die räumlich-zeitliche Dynamik einzugehen.

Tabelle 1: Gegenüberstellung von WRRL und HWRL

	WRRL	HWRL
Ziele	Erreichen des guten ökologischen Zustands / Potentials der Grund- und Oberflächenwasserkörper, Verschlechterungsverbot, Garantie der ökologischen Funktion	Verringerung des Hochwasserrisikos und seiner Auswirkung auf Schutzgüter (Mensch, Umwelt, Kulturerbe, Wirtschaft und Sachwerte)
Zeitraum	1. Zyklus 2004 - 2015 2. Zyklus 2013 - 2021 3. Zyklus 2019 - 2024	1. Zyklus 2011 - 2015 1. Fortschreibung Risikobewertung bis 2018 2. Fortschreibung HW-Karten bis 2019 3. Fortschreibung HWRM-Pläne bis 2021 Aktualisierung im 6-Jahres-Zyklus
Vorgehensweise	Bestandsaufnahme, Überwachungsprogramme, Bewirtschaftungspläne & Maßnahmenprogramme (GEKs), Umsetzung, Erfolgskontrolle	Dreistufig: Bewertung des HW-Risikos HW-Gefahren- und HW-Risikokarten HW-Risikomanagementpläne
Bewertungskriterien	Biologie (Makrozoobenthos, Makrophyten & Phytobenthos, Phytoplankton, Fische) in Ergänzung: Hydromorphologie, chemische / physikalisch-chemische Wasserqualität	Charakterisierung des Ausmaßes an Überflutung für HW-Szenarien mit hoher / mittlerer / niedriger Wahrscheinlichkeit
Tools / Methodik	Beprobung (Biologie) Kartierung (Hydromorphologie) Beprobung (Wasserqualität)	Datenrecherche (z.B. historische HW) Hydronumerische Modellierung Analysen mit GIS-Software

Bei den biologischen Komponenten entscheidet der Zustand bei der Beprobung, bei der HN-Modellierung der Zustand bei der Vermessung, welcher ins Rechengitter übertragen wird. Flüsse, die im statischen Gleichgewicht sind, werden damit vielleicht ausreichend erfasst. Sobald aber hydrodynamische Prozesse mit Umlagerung von Sediment eine Rolle spielen, ist der Gewässerzustand durch eine stichprobenhafte Methodik nicht mehr ausreichend beschrieben.

An der Renaturierung der Spree bei Cottbus, die als sandgeprägter Tieflandfluss eingeordnet wird, soll nachfolgend aufgezeigt werden, wie Mobilisierung, Transport und Umlagerung von Sediment die Bewertung nach WRRL und HWRL beeinflussen und welche Defizite daraus entstehen können.

Ob andere EU-Mitgliedsstaaten und Bundesländer besser mit dieser Problematik umgehen, wird anhand der Ergebnisse einer europaweiten Befragung betrachtet. Diese wurde im Rahmen des EU-Projektes HYTECH durchgeführt, bei dem unser Büro mitwirkt.

2 Die Renaturierung der Spree bei Cottbus

Wasserbauliche und kulturhistorische Maßnahmen veränderten die Spree und ihren Talraum über Jahrhunderte. Durch Eindeichung und Melioration wurden dem verzweigten Flusslauf mit seinen ausgedehnten Auwäldern und Feuchtwiesen landwirtschaftlich nutzbare Flächen abgerungen (Köhler, 1934). Aus dem Netz aus geschwungenen Haupt- und Nebenarmen wurde ein begradigtes Einbettgerinne mit erhöhter Transportkapazität. Mitte der 60er Jahre erfolgte mit dem Bau der Talsperre Spremberg die Unterbrechung der Sedimentzufuhr aus dem Einzugsgebiet. Um die dadurch entstandene latente Sohlenerosion zu kontrollieren, erfolgte der Bau von Sohlenrampen, die zu einer kaskadenartigen Stauhaltung führten. Damit ging neben der Anbindung an Ufer und Auen auch die ökologische Durchgängigkeit in Längsrichtung verloren (gIR, 2011a).

Als Ergebnis stellt auch die „Cottbuser Spree“ ein monotones Fließgewässer mit einer hohen Strukturarmut dar und erreichte in der ersten Bestandsaufnahme nicht die Ziele der WRRL (LUA, 2005). Von 2007 bis 2014 erfolgte auf 11 km Länge nördlich von Cottbus die Renaturierung der Spree und ihrer Aue. Hauptziele waren die Förderung der eigendynamischen Entwicklung und der aquatisch-terrestrischen Vernetzung, z. B. durch Vorlandabsenkungen und Ufervegetationsentwicklung (Abbildung 1). Mit einer Fläche von 400 ha ist das Projekt, im Auftrag von Vattenfall Europe Mining als Kompensationsmaßnahme für den Tagebau Cottbus Nord, die größte Gewässerrenaturierung in Brandenburg (Gerstgraser & Zank, 2012).



Abbildung 1: Spreeabschnitt bei Maiberg vor der Renaturierung sowie 1,5 Jahre später nach Maßnahmenumsetzung (Quelle: Vattenfall)

Seit 2007 erfolgt die Kontrolle der Wirkung der Strukturierungsmaßnahmen durch ein aufwendiges Monitoringprogramm unter Einbeziehung verschiedener Fachgutachter (Gerstgraser et al., 2015). Das Monitoring umfasst sowohl Untersuchungen von Flora und Fauna als auch von abiotischen Faktoren. Bis zu

16 verschiedene Monitoringberichte werden den Fachbehörden jährlich vorgelegt. In der Summe lassen die vorliegenden Monitoringdaten einmalige Schlüsse über die Wirkung und Entwicklung der Renaturierung einer Auenlandschaft zu.

3 Morphologie und Sedimentdynamik der Cottbuser Spree

Das Untersuchungsgebiet der Spree liegt im Bereich des Cottbuser Schwemmsandfächers und damit einer Ablagerungsstrecke. Durch den Deichbau wurden die Ablagerungen auf die Fläche der Vorländer konzentriert. Als Folge hat sich die Spree mitsamt ihren Deichvorländern gegenüber dem Umland aufgehöhht. (Abbildung 2). Die Aufhöhung verläuft dabei nicht gleichmäßig über das gesamte Vorland, sondern nimmt zum Fluss hin zu. Daraus entsteht ein Quergefälle, welches größer als das Talgefälle ist und bei Überschreitung des bordvollen Abflusses zu einem seitlichen Ausfließen führt (Schuster, 2015).

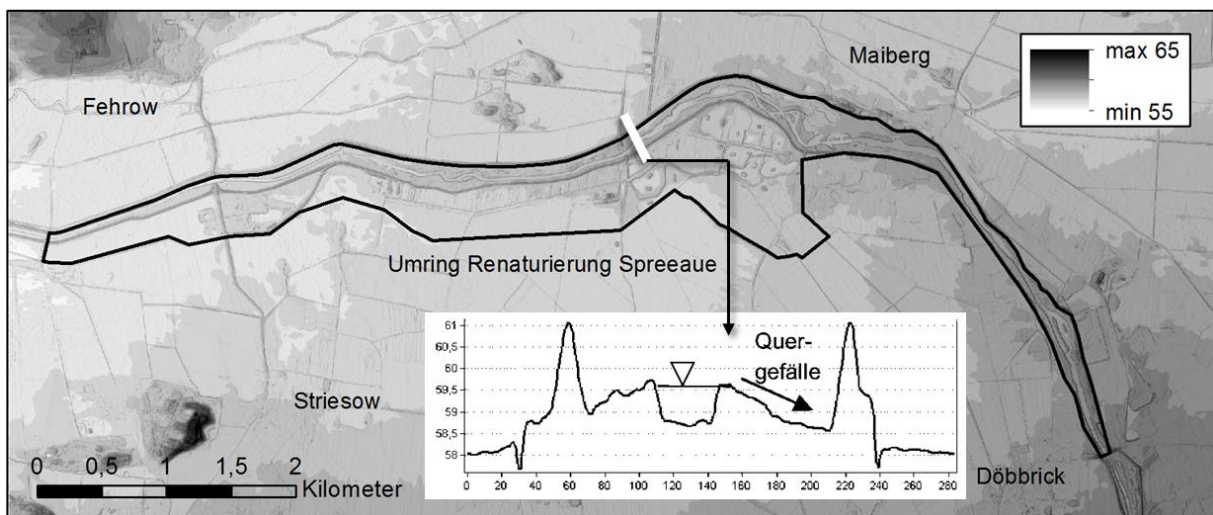


Abbildung 2: Höhenrelief der Spree mit Querprofilschnitt (Quelle: DGM Vattenfall)

Als sandgeprägter Tieflandfluss mit einem mittleren Korndurchmesser unter 1 mm ist die Sohle der Spree bereits bei Niedrigwasserabflüssen latent mobil. Abhängig vom Strömungsangriff und Schubspannungsüberschuss erfolgt der Sedimenttransport über verschiedene Stadien der Bettformbildung (z. B. Sandriffel, Dünen).

Zur genaueren Analyse der Transportdynamik wurde die Abflussganglinie der Spree in „stream power“ umgerechnet und mit Bettform-Schwellenwerten für den mittleren Korndurchmesser verglichen (Abbildung 3). Dabei zeigt sich, dass während der extremen Hochwasserspitzen 2010 und 2013 der Übergangsbereich erreicht wird.

Im Übergangsbereich reißen Bettformen auf und das Sediment wird praktisch mit der fließenden Welle transportiert, wodurch die Transportrate sprunghaft ansteigt. Überall dort, wo das Sedimentkontinuum der Spree unterbrochen wird, kommt es innerhalb von kurzer Zeit zu Ablagerung und Erosion. Auch die Renaturierungsstrecke war bei den HW 2010 und 2013 von Umlagerungsprozessen betroffen. Dabei wurde beim HW 2010 Sediment in der Größenordnung von geschätzt 60.000 m³ abgelagert (gIR, 2012). Da durch die Talsperre Spremberg die Sedimentzufuhr von oberstrom unterbunden ist, glich die Spree ihr Sedimentdefizit überwiegend durch Sohlenerosion aus. Umgerechnet auf 34 km Fließstrecke bis zur Renaturierungsstrecke, ergibt das abgelagerte Gesamtvolumen eine mittlere Sohleneintiefung von etwa 10 cm (gIR, 2011a).

Besonders betroffen von Ablagerungen waren die Vorlandabsenkungen. Allein in sechs Aufweitungen entlang eines 2 km langen Abschnitts wurden beim HW 2013 insgesamt 10.000 m³ abgelagert (Borchardt, 2016), was fast bis zur vollständigen Versandung der einzelnen Nebenarme führte (Abbildung 4).

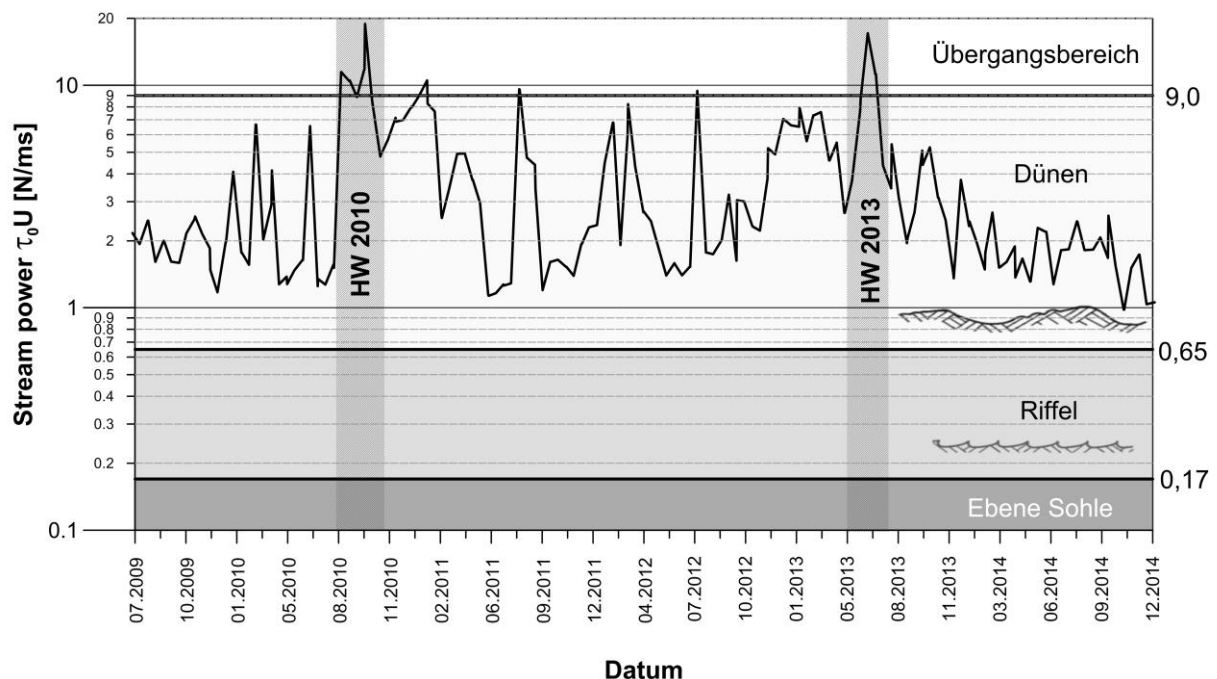


Abbildung 3: Transportdynamik der Spreesohle mit den beiden HW-Spitzen 2010/2013 (Borchardt, 2016)

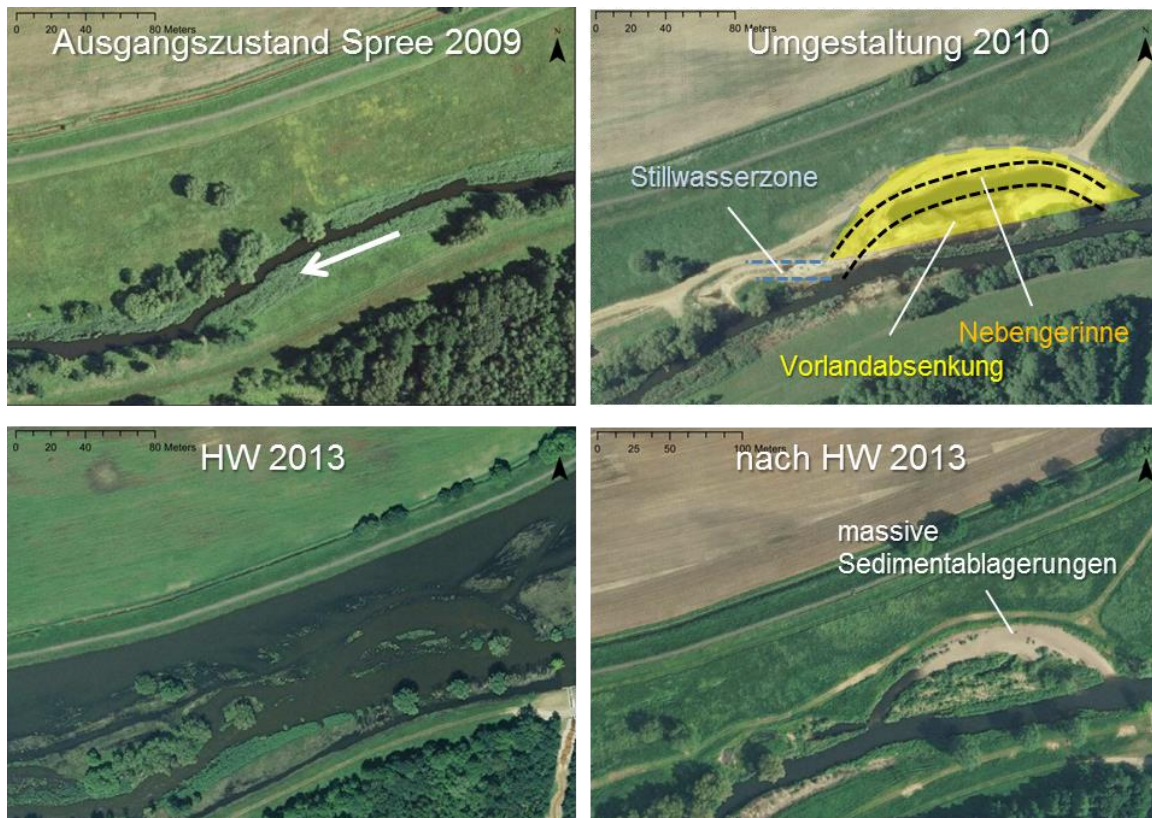


Abbildung 4: Sedimentdynamik der Spree-Renaturierung infolge der HW: Entwicklung einer Vorlandabsenkung mit Nebengerinne

4 Auswirkung der Sedimentdynamik auf HWRL / WRRL

4.1 Auswirkungen der Sedimentdynamik auf die HWRL

Zur Analyse des HW im August 2010 wurde durch unser Ingenieurbüro eine hydronumerische 2D Simulation durchgeführt (Hydro_AS-2D). Für die Erstellung des Rechengitters lagen Querprofilmessungen nach langanhaltenden Mittelwasserperioden vor.

Im Ergebnis hat die Modellierung des HW-Szenarios Abweichungen der Wasserspiegellage lokal von bis zu ± 35 cm ergeben (Abbildung 5), die mit morphologischen Veränderungen während des HW zusammenhängen. Dabei wurden unterschiedliche Prozesse beobachtet, z. B. Erosion durch Strömungskontraktion an Brücken, Erosion unterstrom von Wehren durch Unterbrechung des Sedimentkontinuums, Auflandung unterstrom von Wehren durch Spülflutungen bei HW (gIR, 2011b). Der Vergleich macht deutlich, wie anpassungsfähig eine Sandsohle auf die Abflussbedingungen reagieren kann und wie wichtig damit eine Quantifizierung während des HW ist. Nur so können belastbare Prognosen der ungünstigsten Wasserstände während extremer Ereignisse getroffen werden,

welche die Grundlage bei der Bewertung im Sinne der HWRL darstellen. Wenn solche Messungen nicht vorliegen, sollten zumindest theoretische Abschätzungen zur Sedimentdynamik oder HN-Modelle mit Modulen zur Sedimentberechnung zum Einsatz kommen.

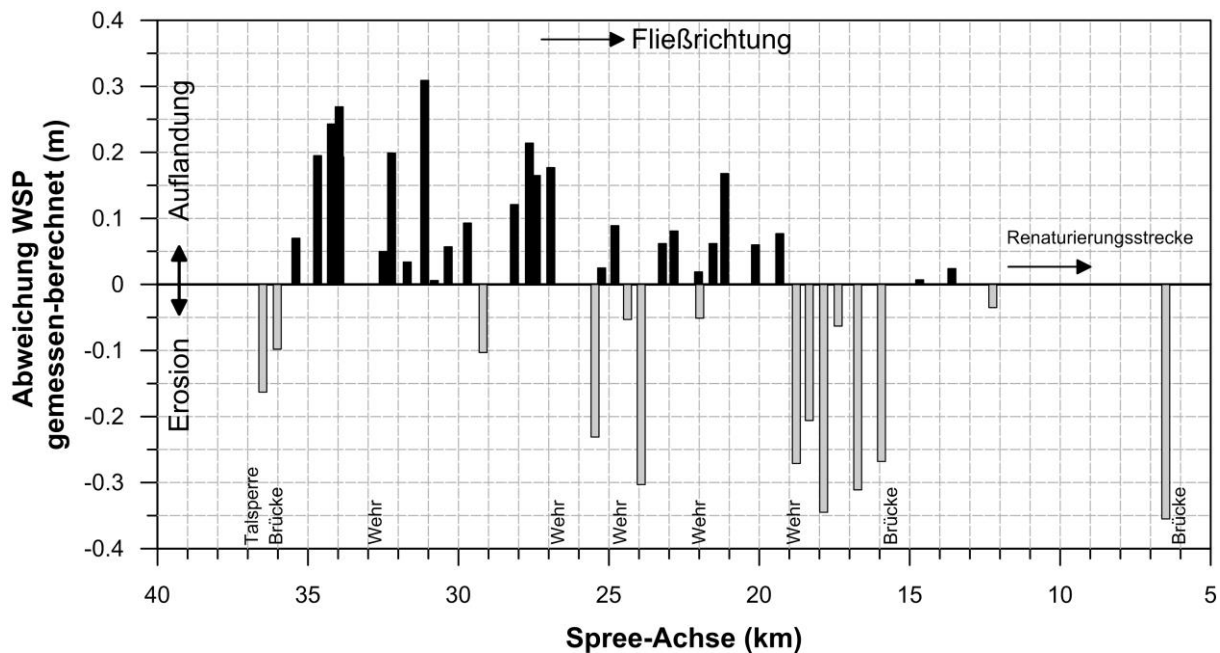


Abbildung 5: Differenz gemessener und berechneter WSP-Lagen für das August-HW 2010

4.2 Auswirkungen der Sedimentdynamik auf die WRRL

Die Dynamik des Sedimenttransports (vgl. Abbildung 4) prägt entscheidend den Lebensraum und die Besiedelbarkeit für die aquatische Flora und Fauna und geht über die rein statische Erfassung der Mikro- und Mesohabitatstruktur hinaus.

Sandsohlen sind aufgrund der latenten Mobilität relativ arten- und individuenarm. Bei Düentransport in der Spree sind z. B. die oberen 10 – 40 cm der Sohle von periodischer Umlagerung betroffen, die zur Freilegung und damit meist Verdriftung der darin lebenden Organismen führt. Bei extremen HW-Ereignissen im Übergangsbereich (vgl. Abbildung 4) gerät die gesamte Sandsohle in Bewegung und wird mit der fließenden Welle transportiert, was ökologisch ein „catastrophic event“ darstellt (Bohle, 1995). Die Regeneration und Wiederbesiedelung nach einem solchen Ereignis erfordert Zeit, die artenspezifisch ist und je nach Randbedingungen variieren kann. Für das Makrozoobenthos konnte dieser Prozess in der Spreerenaturierung durch Beprobungen vor und nach dem HW 2013 aufgezeigt werden (Leßmann & Polak, 2015).

Ein anschaulicheres Beispiel sind Uferpflanzenbestände, die ebenfalls Regenerationszeit nach einem extremen Ereignis brauchen. In Abbildung 6 ist dazu die Erosion eines Schilfgürtels infolge des Hochwassers 2010 an der Spree dargestellt. Der Verlust des Bestandes beeinflusst auch viele davon abhängige Arten. Die biologische Beprobung und die Bewertung nach WRRL würden für die beiden Momentaufnahmen entsprechend vollkommen unterschiedlich ausfallen.

An diesen Beispielen wird deutlich, dass auch die Biologie nicht entkoppelt von der Sedimentdynamik der Fließgewässer betrachtet werden kann, wenn die Ergebnisse repräsentativ für längere räumliche und zeitliche Abschnitte gelten sollen.



Abbildung 6: HW als „catastrophic event“: Erosion eines Schilfgürtels durch das Spree-HW (2010)

5 Sedimentdynamik als Indikator im EU-weiten Vergleich

Da beide Richtlinien europaweit gültig sind, soll abschließend noch kurz auf die Situation in anderen Mitgliedstaaten der EU eingegangen werden. Im Zuge eines von unserem Büro bearbeiteten Arbeitspaketes im EU-Projekt „HYTECH“ (Hydrodynamic Transport in Ecologically Critical Heterogeneous Interfaces) wurde eine europaweite Befragung durchgeführt, inwiefern Sedimenttransport und Hydromorphologie bei der nationalen Bearbeitung und Umsetzung der WRRL und der HWRL betrachtet werden (*gIR*, 2016).

Insgesamt konnten Fragebögen von 11 EU-Mitgliedsstaaten anonymisiert ausgewertet werden. Obwohl die einzelnen Mitgliedstaaten das Thema unterschiedlich angehen, hat sich in der Summe auch hieraus ein klares Defizit bei der Berücksichtigung der Sedimentproblematik ergeben (Tabelle 2).

Tabelle 2: Ergebnisse der EU-weiten Umfrage zur Berücksichtigung von Sedimentdynamik in der WRRL und HWRL (gIR, 2016)

	Frage	JA	NEIN	ohne Angabe	Grafik
		prozentual (%)			
HWRL	Berücksichtigen HW-Risikokarten die Gefährdung von Schutzgütern und Infrastruktur durch Sedimenterosion / -ablagerung?	18	73	9	
	Wird Sedimenttransport direkt in den HW-Gefahrenkarten berücksichtigt?	0	81	19	
	Wird Sedimenterosion / -ablagerung in Wasserstands-Abfluss-Beziehungen in den HN-Modellen berücksichtigt ?	9	91	0	
WRRL	Haben hydromorphologische* Veränderungen Auswirkungen auf die Ergebnisse der Bewertung?	64	18	18	
	Wird die Hydromorphologie* zur Bewertung des ökologischen Zustands verwendet?	91	9	0	
	Wird Sedimenttransport bei der hydromorphologischen* Bewertung berücksichtigt?	0	91	9	
*Hydromorphologie im Sinne der WRRL: die tatsächlich vorhandenen Gewässerstrukturen und das damit verbundene Abflussverhalten eines Gewässers. Dazu gehören Abfluss und Abflussdynamik, Verbindung zu Grundwasserkörpern, Durchgängigkeit, Tiefen- und Breitenvariation, Struktur und Substrat des Fließgewässerbettes, Struktur der Uferzone - NICHT jedoch Sedimenttransport.					

6 Fazit

Die Fallstudie der renaturierten Spree bei Cottbus zeigt exemplarisch, dass bei sandgeprägten Tieflandflüssen die Sedimentdynamik bei der Bewertung nach WRRL und HWRL nicht vernachlässigt werden kann. Andernfalls können erhebliche Fehleinschätzungen bei der Bewertung des ökologischen Zustandes als auch bei der Einschätzung von Hochwasserrisiken entstehen.

Da Sediment zudem ein wichtiger Habitatfaktor ist, stellt es ein notwendiges Bindeglied zwischen dem biologischen Ansatz nach WRRL und dem physikalischen nach HWRL dar, dem in Zukunft mehr Bedeutung geschenkt werden sollte.

7 Literatur

Bohle, H.W. (1995): Spezielle Ökologie: Linnische Systeme. Springer-Verlag, Heidelberg.

- Borchardt, T. (2016): Analyse und Modellierung der Ablagerungsprozesse in Nebengerinnen am Beispiel eines renaturierten Spreeabschnitts nördlich von Cottbus. Masterarbeit an der Hochschule Magdeburg-Stendal, 2016.
- Gerstgraser, C.; Zank, H. (2012): Kompensation der Beseitigung eines FFH-Gebietes. Naturschutz u. Landschaftsplanung 44 (10), Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart 2012.
- Gerstgraser, C.; Gassert, R.; Giebler, S. (2015): Erfolgskontrolle einer großen Flussrenaturierung am Beispiel der Spreeaue bei Cottbus. Tagungsband zum 38. Dresdner Wasserbaukolloquium 2015, pp. 541-550.
- gIR (2011a): Gewässerentwicklungskonzept für das Teileinzugsgebiet „Cottbuser Spree“ Bericht im Auftrag des Landesamts für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg (LUGV), gerstgraser Ingenieurbüro für Renaturierung, Cottbus 2011.
- gIR (2011b): Hochwasser im Einzugsgebiet der Spree 2010. Teil 2: Hochwasseranalyse. Bericht im Auftrag des LUGV, gerstgraser Ingenieurbüro für Renaturierung, Cottbus 2011.
- gIR (2012): Monitoring der Strukturveränderung der Spree – Ergänzungen zum Monitoringbericht. Bericht im Auftrag von Vattenfall Europe Mining AG, gerstgraser Ingenieurbüro für Renaturierung, Cottbus 2012.
- gIR (2016): Auswertung der Fragebögen zur Implementierung der HWRL/WRRL in den EU-Mitgliedsstaaten. Bericht im Rahmen des HYTECH-Projekts (Grant Agreement no 316546), gerstgraser Ingenieurbüro für Renaturierung, Cottbus 2011.
- Köhler, F. (1934): Die Veränderungen des hydrographischen Netzes im Spreewald im Wandel der Zeiten. Dissertation, Sächsische Technische Hochschule zu Dresden.
- Leßmann, D.; Polak, J. (2015): Monitoring des Makrozoobenthos der Spree im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens „Gewässerausbau Cottbuser See, Teil 1“, Bericht der BTU Cottbus-Senftenberg, Lehrstuhl Gewässerschutz, im Auftrag von Vattenfall Europe Mining AG, Cottbus. 2015.
- LUA (2005): Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie - Bericht zur Bestandsaufnahme für das Land Brandenburg. Herausgeber: Landesumweltamt Brandenburg (LUA), Potsdam 2005.
- Schuster, M. (2015): Geomorphologische Veränderungen in einem renaturierten Abschnitt der Spree im Kontext langfristiger Gewässerentwicklung. Masterarbeit an der Fakultät Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik, BTU Cottbus-Senftenberg.

Autoren:

Dr.-Ing. Ingo Schnauder, Dr. Christoph Gerstgraser,
Dr. Michael Nones, M. Sc. Mathias Schuster, Dipl.-Ing. Steffen Giebler

gerstgraser - Ingenieurbüro für Renaturierung
An der Pastoa 13
D-03042 Cottbus

Tel.: +49 355 48389 0
Fax: +49 355 48389 20
E-Mail: schnauder@gerstgraser.de
dr.g@gerstgraser.de

Sturzfluten und Hochwasser - Audit Hochwasser

Georg Schrenk

In den letzten beiden Jahrzehnten hat infolge verschiedener Hochwasserereignisse, die vielerorts die bisherigen Bemessungsansätze für technische Schutzanlagen überstiegen, ein Paradigmenwechsel stattgefunden, der weg vom Sicherheitsdenken und hin zum Risikomanagement führt.

Als wesentliche Information des risikobasierten Ansatzes ist festzuhalten, dass Hochwasserrisikomanagement grundsätzlich als Gemeinschaftsaufgabe verstanden werden muss. Eine zentrale Rolle spielen dabei insbesondere die Kommunen, welche der erste Ansprechpartner für den Bürger sind und zudem viele weitere Aufgaben ausüben. Hinzu kommt in einigen Ländern die Zuständigkeit für den technischen Hochwasserschutz auf lokaler Ebene.

Die Erfahrungen haben gezeigt, dass die Kommunen seitens der Wasserwirtschaftsverwaltungen der Länder in diesen Umsetzungsprozess eingebunden werden, vielerorts aber Verständnisprobleme bestehen und der lokale Bezug nicht hergestellt werden kann. Probleme bereiten auf lokaler Ebene darüber hinaus Starkregenereignisse, die die Leistungsfähigkeit der Entwässerungssysteme überschreiten.

Speziell für Kommunen und Verbände bietet das auf dem DWA-Merkblatt 551 basierende Audit Hochwasser eine umfassende Unterstützung bei der Bewertung des Vorsorgestatus. Insgesamt stellt das Audit Hochwasser ein Verfahren dar, mit dessen Hilfe die kommunale Hochwasservorsorge in der Gesamtschau - Flächenvorsorge, Bauvorsorge, Verhaltensvorsorge, Risikovorsorge - angesprochen wird. Heruntergebrochen auf einzelne Aspekte der kommunalen Hochwasservorsorge kann im Audit Hochwasser die Anwendung anderer Instrumente abgefragt oder angeregt werden.

Ziel des DWA-Projektes „Audit: Hochwasser – wie gut sind wir vorbereitet“ ist es, Kommunen, Verbänden oder Betrieben mit Hilfe externer Auditoren in die Lage zu versetzen, ihren Status der Hochwasser-Risikovorsorge zu überprüfen. So können als Ergebnisse der Audits kostengünstige Maßnahmen empfohlen werden.

1 Einführung

Hochwassersituationen gehören zu den ständig wiederkehrenden Naturereignissen. Ursachen sind z. B. saisonale Witterungsbedingungen wie Schneeschmelze oder lange Regendauern in Flussgebieten. Starkregenereignisse („Sturzfluten“) -

auf die sich in jüngster Zeit der Fokus verlagert hat - können auch fernab von Gewässerläufen oder Seen zu gefährlichen Überschwemmungen führen.

Der Mensch hat sich mit seinem Lebensumfeld teilweise in die Überschwemmungsgebiete hinein begeben. Nicht immer sind dabei die Bauweisen oder die Lebensumstände an die Dynamik von Hochwasserereignissen angepasst. Das Wissen über Hochwasserrisiken, zusammen mit der richtigen Vorsorge kann helfen, die Schäden, die durch Hochwasser entstehen können, gering zu halten.

Die öffentliche Diskussion über die Abwehr von Hochwassergefahren und die Beherrschung von Hochwasserschäden hat in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Szenarien zur Klimaentwicklung lassen zusätzlich ein Ansteigen der Hochwassergefahren erwarten.

Die neueren und heute in der Fachwelt allgemein anerkannten Strategien der Hochwasservorsorge – als Bestandteil des Hochwasserrisikomanagements – setzen neben dem Ausbau technischer Schutzmaßnahmen in besonderer Weise auf ergänzende Maßnahmen, wie Schadensabschätzung für betroffene Ortsteile, Minderung von Schadenspotenzialen in gefährdeten Bereichen sowie Vermittlung von Risikobewusstsein und angepassten Lösungswegen bei Nutzungskonflikten. Auch die Verbindung von Maßnahmen zur Umsetzung von Naturschutzzielen mit Wirkungen insbesondere für die dezentrale Minderung von Hochwasserabflüssen kann zu diesen vorsorgenden Strategien gezählt werden.

In den letzten beiden Jahrzehnten hat auf Grund verschiedener Hochwasserereignisse, die vielerorts die bisherigen Bemessungsansätze für technische Schutzanlagen überstiegen, ein Paradigmenwechsel stattgefunden, der weg vom Sicherheitsdenken hin zum Risikomanagement führt.

Dieser Prozess lässt sich auch in den Handlungsanleitungen und in der Gesetzgebung nachverfolgen. Mit der Umsetzung der Hochwasserrisikomanagementrichtlinie (HWRM-RL) (EU, 2007) ist ein Rahmen geschaffen worden, um das Risikomanagement in Form des Hochwasserrisikomanagement-Kreislaufs der LAWA (Abbildung 1) fest in der wasserwirtschaftlichen Praxis zu verankern.

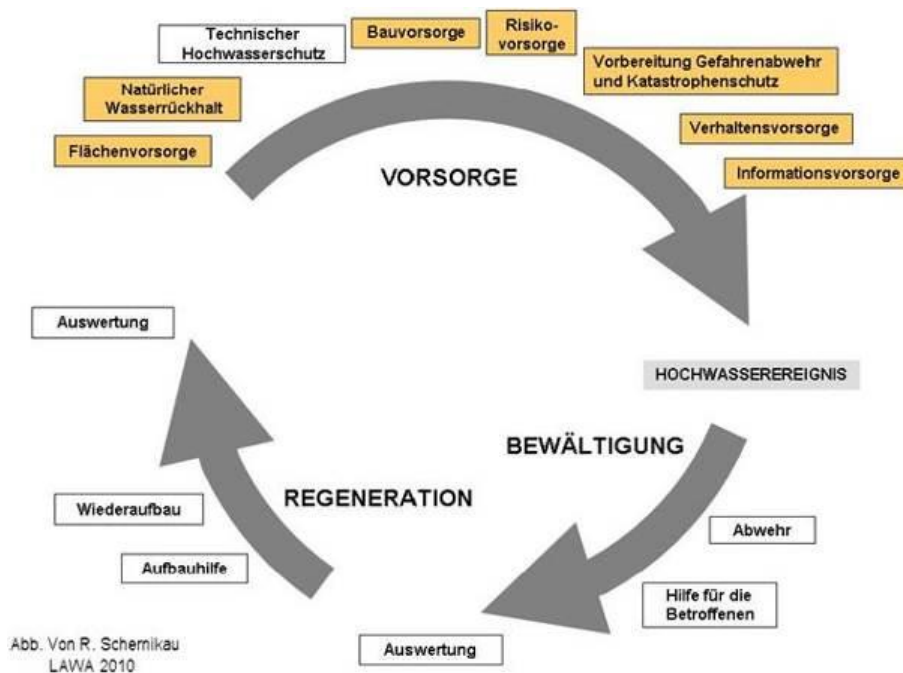


Abbildung 1: Hochwasserrisikokreislauf (Quelle: LAWA, 2010)

Als wesentliche Aussage dieses risikobasierten Ansatzes ist festzuhalten, dass Hochwasserrisikomanagement als Gemeinschaftsaufgabe verstanden werden muss. Eine zentrale Rolle spielen dabei die Kommunen.

Die Erfahrung aus dem ersten Zyklus zur Umsetzung der HWRM-RL hat gezeigt, dass die Kommunen zwar von der Wasserwirtschaftsverwaltungen der Länder in diesen Umsetzungsprozess eingebunden werden, vielerorts aber Verständnisprobleme bestehen und der lokale Bezug nicht hergestellt werden kann. Probleme bereiten auf lokaler Ebene insbesondere Starkregenereignisse, die die Leistungsfähigkeit der Entwässerungssysteme überschreiten. Diese Thematik wurde bisher weitgehend bei dem Umsetzungsprozess der HWRM-RL beiseitegelassen.

Vor diesem Hintergrund ist das Audit „Hochwasser – wie gut sind wir vorbereitet“ ein Angebot DWA an Kommunen und Verbände mit regional abgegrenztem Verantwortungsbereich, sich über den Status der Hochwasservorsorge im Gemeinde- bzw. Verbandsgebiet Rechenschaft abzulegen. Grundlage des Audits ist das DWA-Merkblatt M 551 „Audit: Hochwasser – wie gut sind wir vorbereitet“ (DWA, 2010), in dem die Erläuterungen zum Hintergrund und die Felder der Risikovorsorge in Form eines Fragenkataloges aufbereitet sind.

2 Hochwasservorsorge mit dem DWA-Audit Hochwasser

2.1 Gegenstand und Ziele des Audits

Mit dem Audit geht die DWA über die aktuellen Anforderungen an die Hochwasservorsorge hinaus. Einerseits werden in den Audits neben den Maßnahmen und Planungen im Fall von Flusshochwasser auch die Situation bei Überschwemmungen im Zusammenhang mit Starkregen und urbanen Sturzfluten beleuchtet. Dies ist im Rahmen der Europäischen Rahmengesetzgebung und im nationalen Recht bislang noch nicht verankert, wenn es auch seit kurzer Zeit Bestrebungen gibt, dies in die Hochwasservorsorge zu integrieren. Auch gehen die Audits in ihren Fragen über den gesetzlichen Schutz bewusst hinaus, um, z. B. im Zusammenhang mit der Flächenvorsorge oder der Bauvorsorge Gebiete in den Fokus zu bringen, die zwar einem Schutz gegen ein HQ_{100} unterliegen, jedoch im Zusammenhang mit seltenen Ereignissen im Sinne der EG-Richtlinie (HQ_{extrem}) nicht mehr geschützt sein können. Es geht im Audit immer um die Frage, wie kann ich Vorsorge treiben, um für den Fall, dass „die Welt untergeht“ noch Menschenleben, ggf. Umweltschutzgüter oder Kulturdenkmäler „gerettet“ werden können. Die Audits bieten den Kommunen in allen Punkten Denkanstöße, und betreten mit dem Versuch der Bewusstseinsbildung häufig Neuland. Daher ist für ein Audit stets wichtig, eine vertrauensvolle Gesprächsbasis aufzubauen und für die Befragung angemessenen Diskussionsraum einzuräumen.

Die DWA will Audits zur Hochwasservorsorge etablieren mit dem Ziel, für Ortschaften, Ortsteile oder einzelne Kulturgüter den Status der nicht-baulichen Hochwasservorsorge zu analysieren und zu bewerten, um damit den Beteiligten die Möglichkeit zu geben, sich über ihre eigenen Hochwasserrisiken Klarheit zu verschaffen. Für die Entscheidungsträger sollten aus diesen Erkenntnissen Handlungsoptionen deutlich werden, die in weiteren Schritten Entscheidungen zur Verbesserung der Hochwasservorsorge abgeleitet werden. Die Entscheidungen über die Maßnahmen liegen vollumfänglich in der Handlungshoheit der Kommunen.

Mit den Audit-Gesprächen in der Gemeinde werden neue Wege der Kommunikation beschritten um auf allen Ebenen der kommunalen Verwaltung ein Bewusstsein für bestehende Risiken zu schaffen. So besteht im Rahmen der Audits stets Interesse an Impulsen aus den beteiligten Kommunen und Verbänden. Im Ergebnis der Audits können neben informellen Maßnahmen der Kommunen auch mobile oder kostengünstige statische Hochwasserschutz-Systeme als Maßnahmen für den Objektschutz oder den Schutz innerörtlicher Flächen vorgesehen werden. Ebenso werden mit den Audits kommunale Körperschaften und Unternehmen angeleitet, z. B. überörtliche Lösungen für die Hochwasservorsor-

ge im Einklang mit Natur- und Umweltschutzziele, zu entwickeln. Durch die aktive Kommunikation mit den beteiligten Akteuren der Gemeinde leistete das Projekt einen wichtigen Beitrag, integrativ den heutigen Stand des Wissens und der Lösungsdetails zum vorsorgenden Hochwasserschutz zu verbinden.

2.2 Aufbau des Audits

Das Audit orientiert sich in seinem Aufbau an den Handlungsbereichen der Hochwasservorsorge gemäß des Hochwasserrisikomanagement-Kreislaufs der LAWA, dabei wird der technische Hochwasserschutz ausgespart. Die Handlungsbereiche zur Bewertung der nicht-technischen Hochwasservorsorge werden im Audit einerseits durch Merkmale und Indikatoren weiter untersetzt, andererseits zu Bewertungsfeldern zusammengefasst.

Analog zur Umsetzung der HWRM-RL werden, soweit für das jeweilige Merkmal oder den jeweiligen Indikator relevant, drei Bewertungsebenen differenziert betrachtet: ein Hochwasser mit niedriger Wahrscheinlichkeit oder Szenarien für Extremereignisse (HQ_{extrem}), ein Hochwasser mit mittlerer Wahrscheinlichkeit (HQ_{100}) und ein Hochwasser mit hoher Wahrscheinlichkeit (in der Regel HQ_{10} oder HQ_{20}).

Weiterhin werden über Flusshochwasser hinaus auch Sturzfluten infolge lokaler Starkregenereignisse oberhalb des technisch beherrschbaren Maßes betrachtet. Nach den Erfahrungen der Versicherungswirtschaft resultieren inzwischen mehr als die Hälfte der regulierten Schäden aus derartigen Ereignissen (DWA, 2013).

2.3 Ablauf des Audits

Das Audit ist ein Angebot der DWA und wird durch akkreditierte Auditoren durchgeführt. Interessierte Kommunen oder Verbände können sich direkt an die DWA-Bundesgeschäftsstelle wenden, die dann ein konkretes Angebot erstellt. Die Kosten staffeln sich nach der Größe der Kommune, in manchen Bundesländern ist u. U. auch eine Förderung durch das Land möglich.

Im Auftragsfall bestimmt die DWA einen federführenden und einen begleitenden Auditor, die dann wiederum zur Vorbereitung des Audits und Terminfindung in Kontakt mit der Kommune oder dem Verband treten. Eine gute Vorbereitung und die Erstellung eines Zeitplans mit Koordination der teilnehmenden Fachbereiche sind unerlässlich für ein erfolgreiches Audit. Den Kommunen werden im Vorfeld u. a. die Prüfgrundsätze bezogen auf jedes Merkmal bzw. jeden Indikator zugänglich gemacht, während sich die Auditoren über das örtliche Gewässernetz, die vorhandenen Risiken, charakteristische Merkmale und über die Struktur der Kommune oder des Verbandes informieren.

Das eigentliche Audit mit der Bearbeitung des Katalogs von 35 Merkmalen und Indikatoren für die jeweiligen Bewertungs- und Zielebenen nimmt nach den Erfahrungen der Pilotphase zwei Tage in Anspruch. Das Audit zeichnet sich insbesondere dadurch aus, dass es von den Beteiligten nicht im herkömmlichen Prüfungssinn verstanden wird, sondern vielmehr durch eine offene Diskussion gekennzeichnet ist. Im Zuge dieser Diskussion ergeben sich häufig bereits Ansatzpunkte für eine Verbesserung des örtlichen Vorsorgestatus: Die Auditoren geben dazu gegebenenfalls Hinweise und Anregungen aus ihrem eigenen Erfahrungsschatz bzw. verweisen auf gute Beispiele aus anderen Audits.

Trotz dieses zeitintensiven Ablaufs wird das Ziel verfolgt, alle Themen im Audit-Gespräch direkt abschließend zu behandeln und zu bewerten. Dies erfolgt für jedes Merkmal bzw. jeden Indikator anhand des Textes des Merkblatts und der im Auditoren Handbuch hinterlegten Prüfgrundsätze und Leitfragen. Geplante Initiativen und Maßnahmen werden mit halber Punktzahl honoriert, daneben wird jeweils eine Bewertung „ohne“ und „mit“ Berücksichtigung dieser Initiativen und Maßnahmen durchgeführt.

2.4 Ergebnis des Audits

Im Anschluss an das Audit wird durch die Auditoren ein Protokollentwurf übermittelt. Getrennt nach Flusshochwasser und Sturzfluten sind darin textliche Erläuterungen zu den einzelnen Merkmalen und Indikatoren samt den zugehörigen Bewertungen enthalten, wobei die erklärten Initiativen und Maßnahmen nochmals im Sinne einer To-do-Liste zusammengefasst werden. Deren Umsetzung obliegt letztendlich der kommunalen Selbstverantwortung.

Das Protokoll schließt ab mit einer Zusammenstellung und Auswertung der Einzelergebnisse und einer Zusammenfassung, an deren Ende die bereits benannte „Hochwasservorsorgeampel“ steht. Diese wird zusätzlich auch für die Szenarien „mit“ und „ohne“ Umsetzung der beabsichtigten Initiativen und Maßnahmen dargestellt (Abbildung 2), so dass auf einen Blick ersichtlich wird, wo die Kommune heute steht und wo sie im Ausblick auf die kommenden Jahre stehen will. Zur nachhaltigen Implementierung der Hochwasservorsorge als kontinuierlichen Prozess wird im Merkblatt DWA-M 551 empfohlen, sich nach einem Zeitraum von sechs Jahren – in Anlehnung an die Fortschreibungszyklen der HWRM-RL – einem Folgeaudit zu unterziehen.

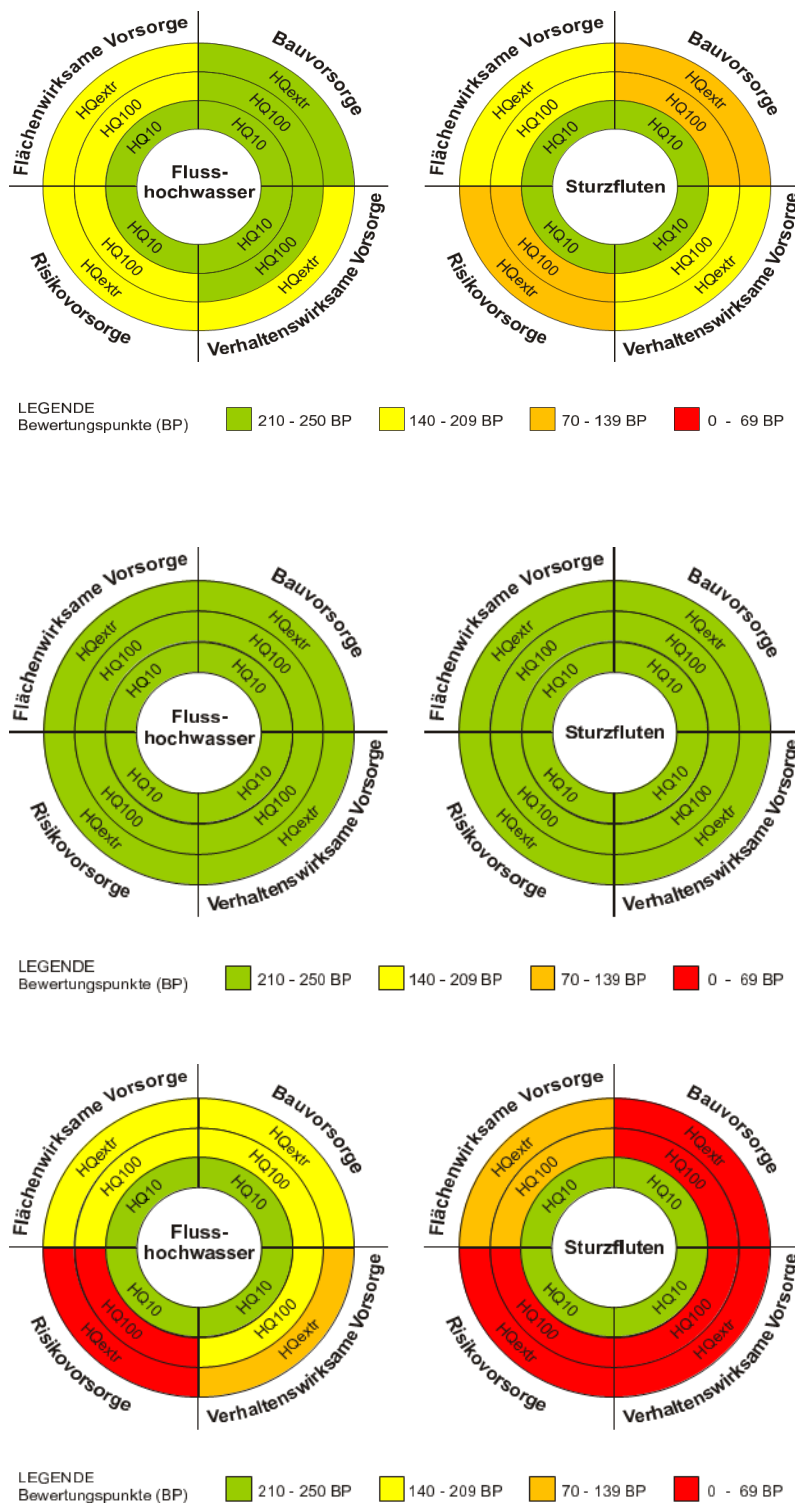


Abbildung 2: Hochwasservorsorgeampel (oben) und Szenario mit Einlösung der Projektinitiativen (mitte) und ohne Einlösung der Projektinitiativen (unten)

2.5 Bisherige Erfahrungen und Ausblick

In der Pilotphase sind neben zwei Verbänden 18 Kommunen unterschiedlicher Größe und Charakteristik in fünf Bundesländern auditiert worden. Das Audit wurde von den Auditierten als bewusstseinsbildend und als Arbeitshilfe für die örtlichen Fachstellen bewertet. Die Anleitung zur Selbsthilfe wurde dabei besonders herausgestellt, da viele Ansatzpunkte der Hochwasservorsorge auf kommunaler Ebene nur in Teilen bekannt, andererseits aber häufig einfach und kostengünstig umsetzbar sind.

Seitens der DWA wird aktuell daran gearbeitet, den Kommunen gute Beispiele und kompetente Ansprechpartner aus anderen Kommunen zugänglich zu machen, um durch diese Vernetzung weitere Initiativen zu fördern. Diese Liste wird bereichert von den vielfältigen Erfahrungen aus den unterschiedlichen Audits, die nun nach Abschluss der Pilotphase regulär durchgeführt werden.

Parallel dazu werden weitere Auditoren geschult und der Auditoren Leitfaden fortgeschrieben. In Gesprächen mit den Bundesländern wird seitens der DWA nach Möglichkeiten gesucht, das Audit in die Maßnahmenkataloge zur Umsetzung der HWRM-RL aufzunehmen und die Kommunen gegebenenfalls durch finanzielle Förderung zur Durchführung des Audits zu motivieren.

3 Fazit

Angesichts der hohen Schäden, die infolge von Hochwasser entstehen können, ist die aktive Vorsorge aller Akteure gefragt. Aus diesem Grund besteht auch auf kommunaler Ebene ein hoher Bedarf für die Bewertung des eigenen Vorsorgestatus. Die im Hochwasserkompodium der DWA aufgeführten Publikationen können dabei eine wichtige Hilfestellung leisten.

Das auf dem DWA-Merkblatt 551 basierende Audit Hochwasser bietet interessierten Kommunen eine umfassende Unterstützung bei der Bewertung des Vorsorgestatus. Insbesondere erleichtert das Audit den Zugang zu diesem komplexen Thema durch den intensiven Diskussionsprozess, ohne dabei das Gefühl einer Leistungskontrolle zu vermitteln. Dabei werden alle beteiligten Fachbereiche am Gespräch beteiligt, sodass fachübergreifende Dialoge angeregt werden. Die dabei entstehende Vernetzung der relevanten Akteure bildet auch über das Audit hinaus eine gute Grundlage für eine Fortführung dieser „Hilfe zur Selbsthilfe“.

Insgesamt stellt das Audit Hochwasser ein Verfahren dar, mit dessen Hilfe die kommunale Hochwasservorsorge in der Gesamtschau angesprochen wird. Her-

untergebrochen auf einzelne Aspekte der kommunalen Hochwasservorsorge wie z. B. dem Schutz kommunaler Kläranlagen, kann im Audit Hochwasser die Anwendung anderer Instrumente abgefragt oder angeregt werden

Aus fachlicher Sicht ist erkennbar geworden, dass die Kenntnisse über den Umgang mit Flusshochwasser insgesamt gut sind und auch vielfach entlang der Flüsse gut kommuniziert werden. Hier besteht als wesentliches Manko noch das Defizit in der Kommunikation des „Restrisikos“, das mit „seltenen Ereignissen“ verbunden wird. Eine Unterschätzung dieses Risikos rächt sich jedoch regelmäßig, wie sich im Juni 2013 in weiten Teilen der Flussgebiete in den Einzugsgebieten von Donau und Elbe gezeigt hat. Hier dienen die Audits in den kommunalen Verwaltungen einer weiteren Aufklärung an der Nahtstelle zur Bevölkerung.

Eine weitere Erkenntnis aus dem Projekt ist, dass die Kenntnisse zum Umgang mit Überflutungen in Folge von Starkregen und Sturzfluten auch unter den Fachleuten der Wasserwirtschaft noch am Anfang ihrer Entwicklung stehen. Hierzu hat die DWA im August 2013 gemeinsam mit dem BWK den Leitfaden „Starkregen und urbane Sturzfluten“ herausgegeben (DWA, 2013).

Dennoch sind wichtige Details, beispielsweise für die Umsetzung von Vorsorgemaßnahmen, für Bemessungsregeln, für die Schaffung geeigneter dezentraler Rückhalteräume oder für die geeignete Frühwarnung und Kommunikation solcher Ereignisse, noch offen. Hier ist ein weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf!

Für die weitere Verbreitung und die Einführung einer Kultur der Hochwasservorsorge auf kommunaler Ebene wird es als nächstes entscheidend sein, inwieweit es gelingt, für jeden der Beteiligten die Vorteile deutlich werden zu lassen, die sich für ihn aus der Teilnahme am Prozess und letztlich der abschließenden Bewertung ergeben.

Das nächste Hochwasser kommt bestimmt und danach werden nach aller Erfahrung Schuldige für das Ausmaß der Schäden gesucht. Mit einem erfolgreichen Audit können die politisch Verantwortlichen fundiert darauf verweisen, alles unternommen zu haben, auf ein solches Ereignis in bestmöglicher Weise vorbereitet zu sein.

Nach den Erkenntnissen der bisherigen Audits sind die Auditoren der festen Auffassung, dass die Teilnehmer bei einem zukünftigen Ereignis weniger Schäden haben als andere Körperschaften in vergleichbarer Situation, die sich der Auditierung und dem damit verbundenen Prozess der Qualitätssicherung nicht stellen. Wirksame Schadenbegrenzung und positive Erfahrungen durch die verbesserte Hochwasservorsorge auf der Ebene einer Kommune schaffen daneben

eine gute Basis, Hochwasserschäden versicherbar zu machen und eine risikogerechte Tarifierung zu ermöglichen.

In der Summe dieser Chancen ist mit einer erfolgreichen Auditierung ein nicht zu unterschätzender Standortvorteil gegeben, um gewerbliche wie auch private Ansiedlungsentscheidungen positiv zu befördern.

4 Literatur

- DWA (2010): Audit „Hochwasser – Wie gut sind wir vorbereitet“ DWA-M 551, Dezember 2010.
- DWA (2013): Starkregen und urbane Sturzfluten – Praxisleitfaden zur Überflutungsvorsorge. DWA-Themen 1/2013
- EU (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.
- LAWA (1995): Leitlinien für einen zukunftsweisenden Hochwasserschutz. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
- LAWA (2010): Empfehlungen zur Aufstellung von Hochwasserrisikomanagementplänen. Bund / Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser

Autor:

Dipl.-Geogr. Georg Schrenk
Stellv. Leiter Abteilung Wasser- und Abfallwirtschaft

DWA-Bundesgeschäftsstelle
Theodor-Heuss-Allee 17
53773 Hennef

Tel.: +49 2242 872-210
Fax: +49 2242 872-184
E-Mail: schrenk@dwa.de

KNEF++: Konzept zur naturnahen Entwicklung von Fließgewässern im Einklang mit Maßnahmen für den Hochwasserschutz

Dirk Sobolewski
Marc Scheibel
Oliver Buchholz

In einem Pilotprojekt des Wupperverbandes wurde am Beispiel des Mittelgebirgsgewässers Morsbach untersucht, wie Maßnahmen der WRRL und HWRM-RL miteinander vereinbar sind und welche Synergien nutzbar sind. Vorhandene Retentionsräume bzw. rückgewinnbare Retentionsflächen im Einzugsgebiet wurden ermittelt. Zusammen mit den naturnahen Querprofilgestaltungsmaßnahmen des KNEF wurde eine zusammenfassende Erstbewertung erarbeitet. Für abgeleitete Schwerpunktbereiche wurden hydrologische und hydraulische Wirkungsanalysen durchgeführt. Auf der Grundlage der Ergebnisse konnten die untersuchten Maßnahmen im Hinblick auf eine potenzielle Umsetzung priorisiert werden.

Stichworte: Hochwasserschutz, Gewässerentwicklungsmaßnahmen, hydraulische Modellierung, hydrologische Modellierung

1 Einleitung

Der Morsbach ist ein Mittelgebirgsgewässer im Bergischen Land (NRW), das nach rund 15 km in die Wupper mündet. Das heutige Erscheinungsbild der Gewässer im rund 50 km² großen Morsbacheinzugsgebiet zeugt von einer jahrhundertelangen intensiven industriellen und gewerblichen Nutzung und weist ein hohes Gefährdungs- und Schadenspotenzial bei Hochwasser auf. An vielen Abschnitten sind durch einen, aus den Nutzungsansprüchen bedingten, historischen Ausbau gestreckte Gewässerverläufe sowie nicht gewässertypenspezifische Querprofile vorzufinden. Durch eingetieft Profile und technischen Ausbau der Ufer (Befestigungen) sind oftmals die Ausuferungsmöglichkeiten des Gewässers zur natürlichen Aue verloren gegangen. In den letzten Jahrzehnten war die Region im Bereich des Morsbachs mit den Städten Remscheid und Wuppertal mehrfach von Hochwasser betroffen.

Der Wupperverband initiierte daher die Erstellung eines Hochwasserschutzkonzepts (*Hydrotec*, 2011a), um die Gefahrenschwerpunkte zu ermitteln und sinnvolle und machbare Hochwasserschutzmaßnahmen zu konzipieren. Parallel wurde im Zuge der Unterhaltung und Entwicklung des Morsbachs und seiner Nebengewässer die Erarbeitung eines Konzeptes zur naturnahen Entwicklung von Fließgewässern (KNEF) (*Koenzen*, 2011) angegangen.

Die Verbesserung der Gewässerökologie, wie sie mit der EG-WRRL angestrebt wird, und erforderliche Hochwasserschutzmaßnahmen auf Basis der EG-HWRM-RL sollen nach den Anforderungen der europäischen Richtlinien aufeinander abgestimmt sein. Gewässerentwicklungsmaßnahmen können mit wasserwirtschaftlichen Maßnahmen, die den „Hochwasserschutz“ verbessern, in einem direkten, wechselseitigen Zielkonflikt stehen oder nutzbare Synergien ergeben.

Aufgrund dessen wurde für den Morsbach und seine Nebengewässer untersucht, wie die Zielsetzungen dieser beiden Handlungsbereiche miteinander vereinbar sind und wie dies in konkreten Maßnahmen planerisch umgesetzt werden kann.

2 Bearbeitungskonzept

Für das Hochwasserschutzkonzept wurden die identifizierten Gefahren- und Schadensbereiche bewertet. Zur Ermittlung von Defiziten und für den Wirkungsnachweis von Schutzmaßnahmen wurden detaillierte hydrologische und hydraulische (1D- und 2D-) Simulationsmodelle für das Einzugsgebiet des Morsbachs aufgestellt. Durch ein vereinfachtes 2D-Modell konnten dabei auch Aussagen für nicht vermessene kleinste Nebengewässer gemacht werden. Für alle bis zu einem HQ_{100} gefährdeten Objekte wurden die Schadenspotenziale erhoben (auch auf Basis des letzten großen Hochwassers), klassische Hochwasserschutzmaßnahmen konzipiert und mithilfe einer Kosten-Nutzen-Analyse priorisiert.

Ein KNEF beschreibt den aktuellen und einen potenziellen naturnahen Zustand eines Fließgewässers und seines Umlandes (*MUNLV NRW*, 2003). Bei Abweichungen werden naturnahe Ausbau- und Unterhaltungsmaßnahmen abgeleitet und sind als Angebotsplanung zu sehen. Das Leitbild des Gewässers dient dabei als Orientierung. Das KNEF für den Morsbach wurde vom Planungsbüro Koenzen (Hilden) aufgestellt.

Die in beiden Konzepten erarbeiteten Maßnahmen wurden auf Synergieeffekte und Zielkonflikte hin untersucht. Mithilfe der hydraulischen und hydrologischen Modellgrundlagen und der Ergebnisse der Hochwasserschutzuntersuchung wurden ergänzend die Fragen der Verfügbarkeit und Aktivierbarkeit von Auenretentionsräumen und die Spezifizierung bzw. Konkretisierung von gewässerprofilverändernden Maßnahmen validiert. Nur eine Gesamtbetrachtung aller Teilaspekte kann zu einer effektiven Maßnahmenwahl führen. Die hydraulischen und hydrologischen Wirkungen und Effekte auf das Hochwasserabflussgeschehen gingen in die Bewertung ein. Als Ergebnis der Kopplung beider Konzepte wurde eine Prioritätenliste von kosteneffizienten Maßnahmen unter Berücksichtigung der Gewässerprofilgestaltung und der Bewertung der real vorhandenen Retentionsmöglichkeiten erstellt (Hydrotec, 2011b). Somit lassen sich positive wie negative Effekte, z. B. auf den Hochwasserschutz oder Gewässermorphologie, bereits im Vorfeld einer potenziellen Ausführung von Maßnahmen einordnen.

3 Ergebnisse Hochwassergefährdung

Grundlage für die Bewertung der vorliegenden Hochwassergefährdung im gesamten Einzugsgebiet sind die berechneten Überschwemmungsgebietsgrenzen aus detaillierter bzw. vereinfachter 2D-Hydraulik.

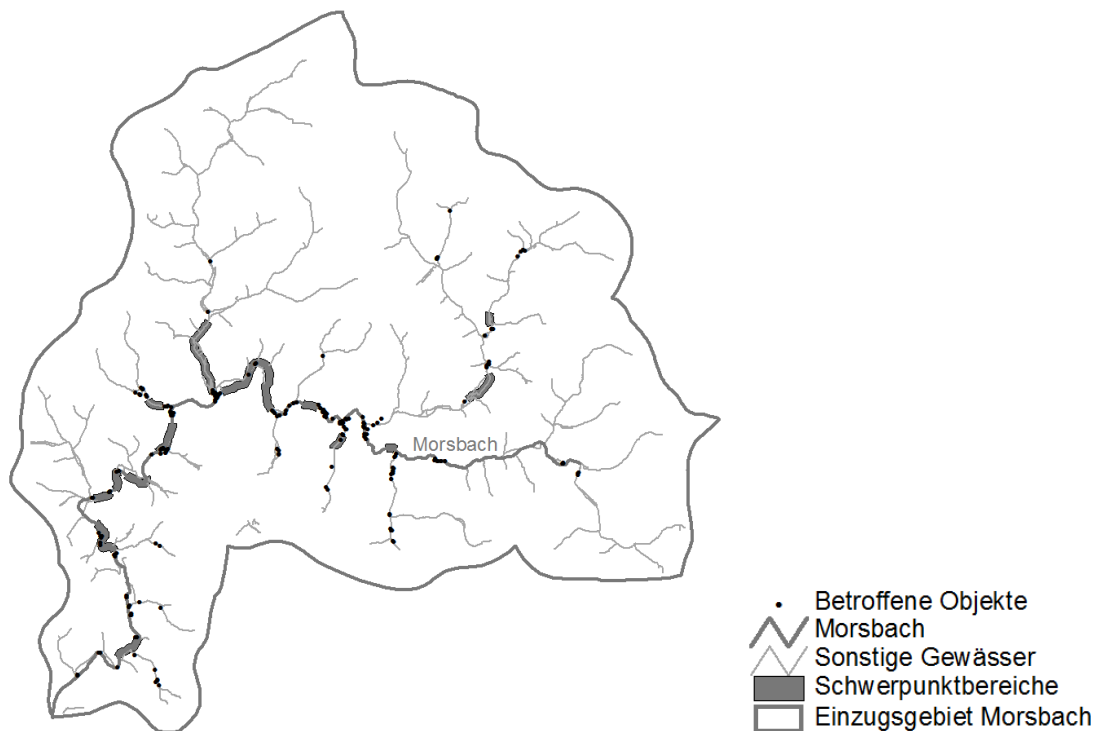


Abbildung 1: Einzugsgebiet Morsbach inkl. Schwerpunktbereiche und betroffene Objekte

Es wurden Abflussengstellen (Durchlässe, Brücken, Verrohrungen) und potenziell gefährdete Objekte bzw. Gefahrenschwerpunkte lokalisiert. Von den an 15 Gewässern aufgenommenen 195 Objekten (s. Abbildung 1) sind bei einem HQ₁₀₀ 79 Objekte von Ausuferungen betroffen. Für diese Objekte wurde ein Gesamtschaden für den Ist-Zustand von rund 2,6 Mio. Euro ermittelt.

Abschließend wurden „klassische Hochwasserschutzmaßnahmen“ (Ausbau, Retention, Linienschutz, Objektschutz) konzipiert, modelltechnisch validiert und mithilfe einer Kosten-Nutzen-Analyse priorisiert.

4 Ergebnisse KNEF++

Ergänzend zur konventionellen Konzeption von Hochwasserschutzmaßnahmen, wurden die im KNEF ermittelten leitbildorientierten Maßnahmen im Hinblick auf die Wirkungen bei Hochwasser geprüft. Diese Untersuchung wurde um die Spezifizierung bzw. Konkretisierung von Maßnahmen am Gewässerprofil und die Verfügbarkeit und Aktivierbarkeit von Auenretentionsräumen erweitert. Das „klassische“ KNEF wurde somit durch ergänzende hochwassertechnische Aspekte zu einem „KNEF++“.

4.1 Ermittlung und Erstbewertung potenzieller Maßnahmenbereiche

Gewässerentwicklungsmaßnahmen

Als ein Baustein der Untersuchung wurde aufgezeigt, inwieweit eine leitbildgerechte Entwicklung der vorhandenen Profile zu einer Verbesserung der Abflussverhältnisse an den verschiedenen Gewässerabschnitten führen kann.

Aus dem Konglomerat von vielen profilverändernden KNEF-Einzelmaßnahmen konnten über eine Priorisierung die KNEF-Gewässerabschnitte herausgefiltert werden, die den Hochwasserabfluss retendieren. Mit „Hochwasserabfluss“ sind auch die niedrigeren Jährlichkeiten gemeint, welche eine zukünftige naturnahe Wasserführung ermöglichen und durch die Siedlungswasserwirtschaft geprägt sind. Für die Priorisierung wurden allgemeine Sensitivitätsanalysen bzgl. der Wassertiefe, der mittleren Fließgeschwindigkeiten und der Schubspannungen bei der Variation der Parameter Profilform, Gefälle und Abfluss durchgeführt. Ergänzend zeigten Verklausungsszenarien, bei welchen Brücken, Verrohrungen und Stegen die ausuferungs- und schadensfrei abzuführende Abflussjährlichkeit besonders sensitiv auf das Zusetzen durch Gehölz und anderes Treibgut reagiert.

Eine Zusammenstellung der dargestellten Kriterien führte zur Identifikation von 13 Gewässerabschnitten, an denen eine naturnahe Querprofilgestaltung aus Sicht des Hochwassers sinnvoll sein kann.

Retentionsraumreaktivierung

Ziel dieses Bausteins war die Ermittlung von vorhandenen Retentionsräumen bzw. rückgewinnbaren Retentionsflächen im Gesamteinzugsgebiet und die Durchführung einer Erstbewertung.

Zur Ermittlung der Überflutungsflächen wurden hydraulische 1D- und 2D-Verfahren sowie ein GIS-gestütztes Verfahren mit angenommenen variablen Überflutungshöhen eingesetzt. Als ein maßgebliches Ergebnis dieser Untersuchung liegt ein Retentionskataster vor, das alle potenziellen Überschwemmungs- bzw. Retentionsflächen ohne Berücksichtigung von Restriktionen (z. B. Sammler, Versorgung, Altlasten, Straßen) und der Wirksamkeit enthält. Für diese Flächen sollte generell die Zielsetzung der Retentionsraumsicherung gelten.

Die Überflutungsflächen lassen sich in Bezug auf die heutige Gewässeranbindung und Retentionswirkung bei Hochwasser in drei Typen unterscheiden:

- Flächen, die durch Geländeerhöhungen abgetrennt sind („potenz. ÜSG“),
- Flächen, die über dem WSP HQ_{100} liegen und nicht überflutet werden,
- Verstärkung der Retentionswirkung für bereits überströmte Flächen.

Insgesamt wurden 56 Retentionsbereiche mit einer Fläche von rund 410.000 m² ermittelt.

Durch die anschließende Erstbewertung konnte eine sinnvolle und frühzeitige Verknüpfung der Entwicklung der Retentionsmaßnahmen mit den Maßnahmen des KNEF hergestellt werden. Es wurde eine Vielzahl von geografischen, ökologischen und wasserwirtschaftlichen Grundlagenkriterien für die Bewertung von Retentionsflächen erarbeitet. Tabelle 1 zeigt ausschlaggebende Kriterien für die detailliert untersuchten Schwerpunktbereiche (s. dazu Kapitel 4.2). Neben den in der Tabelle 1 aufgeführten wurden weiterhin folgende Kriterien für die Bewertung der Flächen für den Ist-Zustand berücksichtigt: Strahlwirkungsbereich (*LANUV NRW*, 2011); Auenböden lt. Bodenkarte; Einstaubeginn ab welcher Jährlichkeit; Einleitungen aus der Kanalisation (*Böcker et al.*, 2009); Leistungsfähigkeiten der sensitiv bei Verklausungen reagierenden Durchlässe; oberhalb gelegene Hochwasserrückhaltebecken; sonstiges, wie Gewässerstrukturgüte, Teiche u. a.

Tabelle 1 Maßgebliche Kriterien inkl. Bewertung für die Schwerpunktbereiche (hell: (eher) positiv; dunkel: (eher) negativ)

Schwerpunkt- bereich	KNEF- Maßnahme mit Retentions- wirkung	Retentions- raum- anbindung	Flächengröße	Verbesserungs- potenzial nach BWK-M7 notwendig	Keine Restriktionen	Kein Schutzgebiet	Grundstücks- eigentümer Stadt/Verband/ NRW	Untersuchung Abgrabung	Betroffene Objekte im Abschnitt
Nr.	ja/nein	ja/nein	m ²	ja/nein	ja/nein	ja/Typ	in %	ja/nein	ja/nein
1	ja	ja	12.200	nein	ja	NSG	15%	nein	ja
2	ja	ja	19.000	nein	nein	NSG	25%	ja	ja
3	nein	ja	19.200	nein	ja	NSG	90%	nein	ja
4	ja	nein	-	nein	ja	ja	nur Gew.	nein	ja
5	ja	ja	10.100	nein	nein	ja	10%	nein	ja
6	ja	ja	11.000	nein	ja	ja	15%	ja	nein
7	ja	ja	18.500	nein	nein	ja	0%	nein	ja
8	ja	ja	9.700	nein	ja	ja	100%	ja	ja
9	nein	ja	3.000	ja	ja	ja	100%	nein	ja
10	ja	ja	7.600	nein	ja	NSG,FFH	70%	nein	nein
11	nein	ja	32.100	nein	nein	NSG	0%	nein	ja
12	nein	ja	4.800	ja	ja	ja	0%	nein	nein
13	ja	ja	5.000	ja	ja	ja	0%	nein	ja
14	ja	nein	5.100	ja	ja	ja	0%	nein	nein

Von den insgesamt 56 Retentionsbereichen haben auf Basis der Erstbewertung 17 Retentionsflächen (30 %) potenziell eine positive Wirkung bei Hochwasser.

4.2 Wirkungsanalyse der Maßnahmen

Im Rahmen einer Synthese wurden die in der Erstbewertung ermittelten 17 Retentionsflächen und die 13 Gewässerabschnitte mit einer natürlichen Querprofilgestaltung zu insgesamt 14 Schwerpunktbereichen für die Wirkungsanalyse zusammengefasst (vgl. Abbildung 1). Bei der Wirkungsanalyse wurden 3 Basisvarianten untersucht:

- Ist-Zustand,
- Variante 1: Gewässerentwicklungsmaßnahmen und verbesserte Anbindung der Retentionsräume in den Schwerpunktbereichen,
- Variante 2: Variante 1 + ergänzende Vorlandabgrabungen in 3 Bereichen.

Bei der hydraulischen Wirkungsanalyse wurden die Veränderungen der mittleren Fließgeschwindigkeiten, der Sohlschubspannungen und der Wasserspiegellagen durch die Maßnahmen sowie die Auswirkungen des Rückbaus von zwei hohen Abstürzen untersucht und bewertet. Auch der Volumengewinn durch die

Umgestaltungsmaßnahmen (Abflachung der Ufer, Anbindung Aue, Profil lt. Leitbild etc.) wurde dargestellt.

Die hydrologische Wirkungsanalyse beinhaltet die Untersuchung der Retentionswirkungen und die Wirkung auf den Scheitelabfluss.

Für die Varianten wurde die potenzielle Schadens- und Risikoreduzierung analysiert. Abschließend wurden die möglichen Kosten für die Umsetzung der Maßnahmen abgeschätzt.

Ein Vergleich der eingestauten Wasservolumina bei einem Hochwasser mit mittlerer Wahrscheinlichkeit zeigt, dass ein maßgeblicher Retentionsraumgewinn durch Profilumgestaltungen, Verlaufsänderungen und die verbesserte Anbindung der Retentionsräume (Variante 1) erreicht werden kann. Insgesamt können rund 13.000 m³ zusätzliches Wasservolumen eingestaut werden.

Die bei Variante 2 ergänzend angesetzten 3 Abgrabungsmaßnahmen im Vorland führen zu einem weiteren Retentionsraumgewinn von ca. 6.700 m³. Generell wird jedoch deutlich, dass das Volumen der erforderlichen Abgrabungen im Vorland (46.500 m³) durch die einhergehende Absenkung des Wasserspiegels wesentlich höher ist als der erzielbare Volumengewinn für die Retention. Die Wirkungen der Maßnahmen der Variante 1 auf die Abflusswelle (Veränderung der Form und des Abflussscheitels) wurden durch hydrologische Modellsimulationen für verschiedene Abflusswiederkehrzeiten ermittelt (s. Abbildung 2).

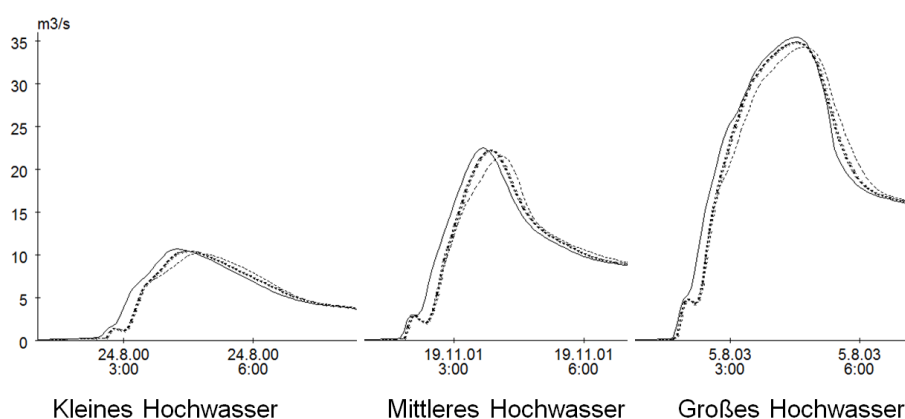


Abbildung 2: Wellenvergleiche im Unterwasser aller Schwerpunktbereiche für 3 Hochwasserereignisse: Ist: durchgezogen; Var. 1: Punkte dick; Var. 2: Punkte dünn

Es wird deutlich, dass die Maßnahmen bei einem Mittelgebirgsgewässer nur geringfügige Auswirkungen auf die Hochwasserwelle haben. Der Anstieg der Welle wird aufgrund der größeren Profilquerschnitte verzögert, die Reduzierung der

Abflussscheitel liegt im Mittel bei 1 bis 1,5 %, maximal in einem Gewässerabschnitt bei 6 %. Im weiteren Verlauf ist nur noch eine Translation der Welle erkennbar. Bei häufigen Hochwassern ist die Scheitelminderung etwas ausgeprägter als bei seltenen Hochwasserjährlichkeiten (im Mittel 2 %). Durch die Schaffung zusätzlicher Retentionsvolumina durch größere Abgrabungen werden aufgrund des großen Hochwasserwellenvolumens (600.000 m³ oberhalb bordvoll) die Abflussreduzierungen im Mittel nur geringfügig größer (3 %).

Hydraulische Berechnungen zeigten, dass Hochwasserscheitelminderungen von ca. 3 % im Morsbach Wasserspiegellagenabsenkungen im Mittel von nur 2 bis 3 cm bewirken. Eine deutliche Minderung der Schäden bei Hochwasser aufgrund der Abflussreduzierung ist in diesem Einzugsgebiet (Mittelgebirge) und der verhältnismäßig geringen aktivierbaren Volumina somit nicht zu erwarten.

Für die Schadensreduzierung bedeutsam sind jedoch die Wasserspiegellagenabsenkungen, die sich aufgrund der Kombination aus naturnaher Profilgestaltung und der Retentionsraumanbindung ergeben. Bei einem mittleren HW-Ereignis liegen Wasserspiegellagenreduzierungen von bis zu 30 cm vor (Abbildung 3).

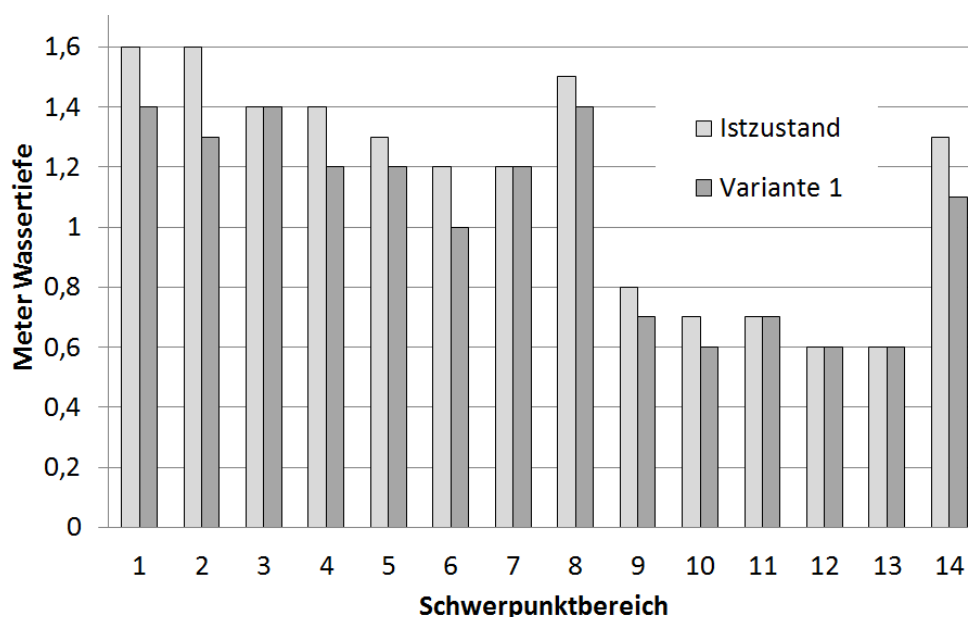


Abbildung 3: Vergleich Wassertiefe bei mittlerem HW in Schwerpunktbereichen; Ist-Zustand und Variante 1 (Gewässerentwicklung/Anbindung Retentionsräume)

Positiv wirken sich die Reduzierung der Fließgeschwindigkeiten und Abflüsse gerade auch bei den kleineren Hochwasserereignissen aus, die von der Siedlungswasserwirtschaft geprägt sind. Damit ergibt sich ein deutlicher Effekt für die Umsetzung der Merkblätter 3 und 7 des BWK zur Einhaltung der Einlei-

tungsbedingungen aufgrund ortsspezifischer Randbedingungen (siehe Tabelle 2).

4.3 Priorisierung der Maßnahmen

Die Wirkungen der vorgestellten ökologischen Maßnahmen bzgl. der hydraulischen und hydrologischen Parameter in den 14 Schwerpunktbereichen sowie die daraus resultierenden hochwassertechnischen Effekte lassen sich abschließend für eine Priorisierung verwenden. Die Abflussminderung geht dabei mit einer geringeren Gewichtung in die Priorisierung ein, da die hydraulischen Auswirkungen deutlich größere Effekte bei der Schadens- und Risikoreduzierung aufweisen (Tabelle 2).

Tabelle 2 Priorisierung der Schwerpunktbereiche hinsichtlich der Wirkung sowie der Kosten inkl. Wertung

Schwerpunkt- bereich	Retentions- bereiche	Mittl. Fließ- geschw. MW	Schub- spannung kleines HW	Wassertiefe mittleres HW	Wasser- volumen großes HW	Abfluss- reduzierung kleines HW	Abfluss- reduzierung mittl. HW	Abfluss- reduzierung großes HW	Schadens- reduzierung	Risiko- minderung	Priorisierung	Wirkung Abgrabung	Kosten- schätzung Flächenerwerb
1	1	+	+	+	+	o	o	o	+	+	+	keine Abgr	-
2	2	+	+	+	+	o	o	o	+	+	++	o	-
3	2	o	+	o	o	o	o	o	o	o	o	keine Abgr	+
4	0	+	+	+	o	o	o	o	o	+	o	keine Abgr	+
5	1	+	+	+	+	(+)	(+)	(+)	o	o	+	keine Abgr	-
6	1	+	+	+	+	o	o	o	o	+	+	+	-
7	2	o	+	o	o	(+)	o	o	+	+	++	keine Abgr	-
8	1	o	+	+	o	o	o	o	o	+	+	+	+
9	1	o	-	+	o	o	o	o	o	o	-	keine Abgr	+
10	2	o	o	+	o	o	o	o	o	o	-	keine Abgr	+
11	1	o	+	o	+	o	o	(+)	o	+	+	keine Abgr	-
12	1	o	o	o	o	o	o	(+)	o	o	o	keine Abgr	o
13	1	+	-	o	o	o	o	o	o	o	-	keine Abgr	o
14	1	+	-	+	o	(+)	o	o	o	-	o	keine Abgr	-

Von 14 untersuchten Schwerpunktbereichen wurden in der Priorisierung zwei Bereiche mit einer Verbesserung (++) und 5 Flächen mit einer geringen Verbesserung (+) bewertet. Bei 4 Schwerpunktbereichen konnte keine Wirkung (o) festgestellt werden. Eine ungünstige Maßnahmenwirkung (-) liegt bei drei Schwerpunktbereichen vor. Die positiv bewerteten sieben Schwerpunktbereiche werden bei der potenziellen Umsetzung von kurz- und mittelfristig durchführbaren Maßnahmen des KNEF im Hinblick auf die hydraulischen und hydrologi-

schen Aspekte als prioritär eingestuft. Als zusätzliche Randbedingung bei der Priorisierung sind die Kriterien der Erstbewertung zu beachten (vgl. Tabelle 1).

5 Fazit

Das Projekt macht insgesamt deutlich, dass sich Maßnahmen zur Gewässerentwicklung und zum Hochwasserschutz sehr gut miteinander kombinieren lassen, wenn diese von Anfang an aufeinander abgestimmt werden. Mit einem entwickelten Bewertungsverfahren gelang es, aus dem Spektrum der möglichen Maßnahmen diejenigen herauszufiltern, zu bewerten und zu priorisieren, die einen hohen Synergieeffekt und geringe „Widerstände“ bei der Umsetzung aufweisen.

6 Literatur

- Böcker; Scheibel; Hobus; Halle; Mittelstädt; Sobolewski (2009): Vergleich detaillierter Nachweisverfahren nach BWK-Merkblatt 3 (hydrologisch-hydraulisch-biologisch) für das Morsbacheinzugsgebiet. In GWA Band 216, Aachen
- Hydrotec (2011a): Hochwasserschutzkonzept für den Morsbach und seine Nebenbäche (Projektbericht i.A. des Wupperverbands), Aachen
- Hydrotec (2011b): KNEF Morsbach - Teilbericht: Beurteilung der Gewässerprofilgestaltung und Retentionsmöglichkeiten (Projektbericht i.A. d. Wupperverbands), Aachen
- MUNLV NRW (2003): Leitfaden zur Aufstellung eines Konzeptes zur naturnahen Entwicklung von Fließgewässern, Düsseldorf
- LANUV NRW (2011): Strahlwirkungs- und Trittsteinkonzept in der Planungspraxis. LANUV-Arbeitsblatt 16, Recklinghausen
- Planungsbüro Koenzen (2011): KNEF Morsbach – Teilbericht KNEF und Strahlwirkungsanalyse (Projektbericht i.A. des Wupperverbands), Hilden

Autoren:

Dipl.-Ing. Dirk Sobolewski
Dr.-Ing. Oliver Buchholz

Dipl.-Ing. Marc Scheibel

Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser
und Umwelt mbH
Bachstraße 62-64
52066 Aachen

Wupperverband, Wassermengenwirtschaft
& Hochwasserschutz
Untere Lichtenplatzer Straße
42289 Wuppertal

Tel.: +49 241 94689-0
E-Mail: dirk.sobolewski@hydrotec.de
oliver.buchholz@hydrotec.de

Tel.: +49 202 583 246
E-Mail: schei@wupperverband.de

Analyse des Gefahrenpotentials urbanen Hochwassers durch Starkregenereignisse - Mehrstufiges Konzept zur Starkregenanalyse im urbanen Raum

Björn Fischer
Christian Pohl

Gewässerentwicklung und Hochwasserrisikomanagement sind zwei Schlagworte, die in direktem Zusammenhang stehen und nicht getrennt voneinander betrachtet werden können. Ebenso verhält es sich bei den Gefahrenpotentialen im urbanen Raum. Es müssen alle Bestandteile des Wasserkreislaufes berücksichtigt werden, um verlässliche Entscheidungsgrundlagen zu schaffen. DHI prägt dabei den Begriff Wasserwirtschaft 4.0 – Digitalisierung, Modellierung und Visualisierung von Wassersystemen. Im Folgenden stellen wir vor, wie Daten von der einfachen GIS-Analyse, bis hin zum komplexen Vorhersagesystem, konsequent mehr in Wert gesetzt werden und nachhaltige Infrastrukturinvestitionen rechtfertigen bzw. absichern. In Fokus stehen dabei Starkregenereignisse im urbanen Raum, bei denen alle wichtigen Komponenten des Wasserkreislaufes berücksichtigt werden.

Stichworte: urbanes Hochwasser, Starkregen, Hochwasservorhersage, konsequente Daten- und Modellnutzung, gekoppelte 1D-2D-Modelle

1 Einleitung

Analysen haben gezeigt, dass sich in den letzten Jahrzehnten die Intensität von Starkregenereignissen signifikant erhöht hat. Im Zuge von Starkregenereignissen kann das anfallende Wasser nicht schnell genug im Boden versickern oder über die Straßenkanalisation abgeführt werden. Diese Situation führt zu wild abfließendem Wasser, wobei sich anschließend wild abfließende Gerinne bilden. Verschlechtert wird die Situation meist durch Gewässer, die das Stadtgebiet passieren.

Während Flusshochwasser durch die Hochwasserrisikomanagementpläne (HWRMP) bereits untersucht wurden und die festgelegten Überschwemmungsflächen auch den Fokus der Öffentlichkeit erreichen, werden Überschwemmungen durch Starkniederschläge erst langsam Thema weiterführender Analysen. Aus diesem Grund wird es in den nächsten Jahren verstärkt Untersuchungen geben, die sich mit Überschwemmungen durch Starkniederschläge im urbanen Raum befassen. Als Defizit bei der Berechnung der HWRMP kann die Nichtberücksichtigung des Kanalnetzes genannt werden. Folglich ist im städtischen Be-

reich die Interaktion zwischen Oberflächen- und Gewässerabfluss sowie Kanalnetz von entscheidender Bedeutung. Das Wasser kann in das Kanalnetz fließen, aber an anderen Stellen wieder austreten. Diese Ereignisse führen dann auch in Gebieten ohne eigentliche Fließgewässer zu Überschwemmungen. Somit ist nicht verwunderlich, dass Schäden im urbanen Raum zu 50 % durch Überschwemmungen durch Flusshochwasser und zu 50 % durch Starkniederschläge direkt verursacht werden (<http://www.elementar-versichern.bayern.de/naturgefahren.html>).

Um den oben genannten Defiziten oder neuen Aufgabenstellungen zu begegnen, wird ein mehrstufiges Lösungskonzept vorgestellt. Dieses zeigt auf, wie mit Hilfe von einfachen GIS-Analysen bis hin zu komplexen Berechnungen gekoppelter 1D-2D-Modelle Gefahrenstellen identifiziert und analysiert werden können, welche Daten benötigt werden und welche Ergebnisse und Ziele erreicht werden können sowie welche Defizite existieren.

2 Methoden zur Starkregenanalyse

2.1 Übersicht der Methoden

Die Methoden, die zur Analyse von Starkregenereignissen zur Anwendung kommen können, sind in erster Linie abhängig von der zu lösenden Aufgabenstellung und den angestrebten Zielen. Hiernach richten sich die Auswahl der Werkzeuge und die zur Untersuchung benötigten Daten. Eine Übersicht möglicher Aufgabenstellungen mit entsprechenden Werkzeugen ist in Abbildung 1 enthalten.

Für Voruntersuchungen zur Identifikation kritischer Bereiche reichen dabei einfache GIS-Anwendungen aus, bei denen sich der Aufwand und die benötigte Datenmenge in Grenzen halten. Für potentielle und konkrete Risiko- und Schadensanalysen ist die Anwendung von zunehmend komplexeren Modellen erforderlich. Dementsprechend steigen auch der Datenbedarf und der Aufwand bei den Untersuchungen.

Für die genannte Problemstellung soll ein mehrstufiges Lösungskonzept vorgestellt werden, wie mit Hilfe von einfachen GIS-Analysen bis hin zu komplexen Berechnungen gekoppelter 1D-2D-Modelle, je nach erforderlicher Tiefe der Untersuchungen, Gefahrenstellen identifiziert und analysiert werden können. Darüber hinaus soll gezeigt werden, welche Daten für die verschiedenen Untersuchungen benötigt werden, welche Ergebnisse und Ziele erreicht werden können und welche Defizite die einzelnen Methoden aufweisen.

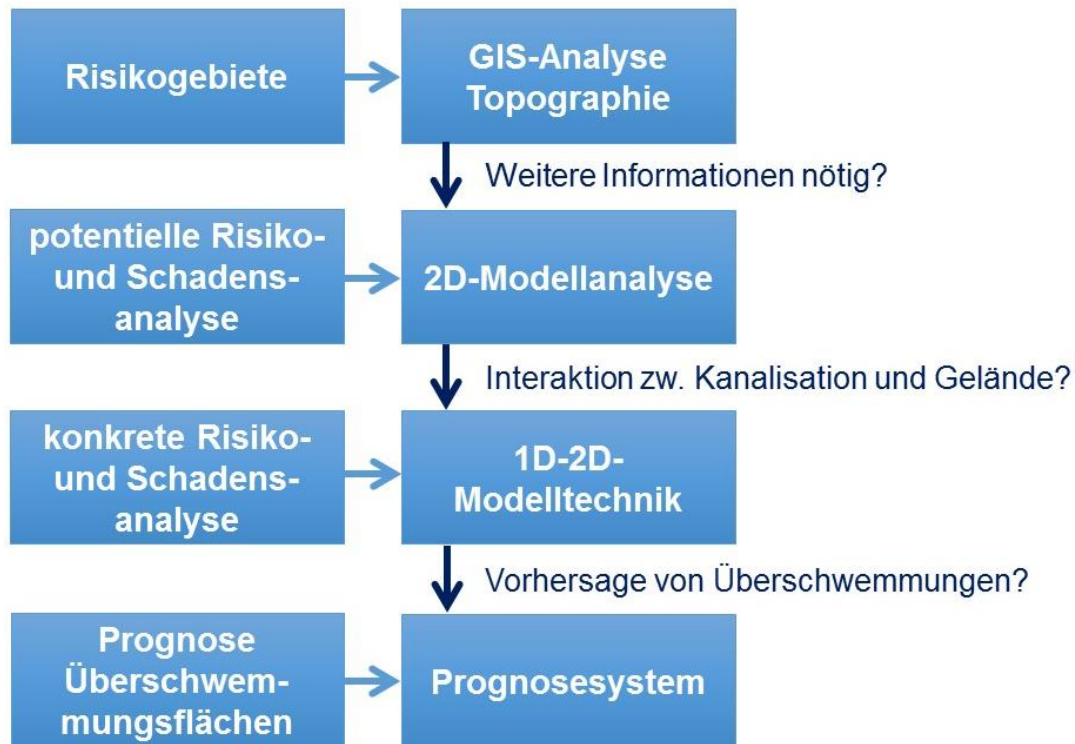


Abbildung 1: Mehrstufiges Konzept zur Starkregenanalyse

2.2 Analyse der Risikogebiete

Die Analyse von Risikogebieten stellt eine erste Untersuchung dar, um Gebiete zu identifizieren, in denen das Risiko für Überschwemmungen durch Starkregeneignisse, als Resultat der Interaktion von Gefährdung und Vulnerabilität (Grinewald et al., 2003), signifikant ist. Das ist vor allem in Senken und Tallagen relevant, in denen eine hohe Vulnerabilität, z. B. Wohnbebauung, Industrie, Gewerbe, existiert. An Daten werden hierfür nur ein digitales Geländemodell (DGM) sowie die Informationen zur Landnutzung inklusive Bebauung (z. B. Häuser) benötigt. Die Daten können mit gängigen Geographischen Informationssystemen (GIS) ausgewertet werden und Auskunft über potentielle Risikogebiete geben (Abbildung 2). Das Defizit dieses Vorgehens ist, dass keine weiteren Informationen, z. B. über Wassertiefen oder Fließwege, gewonnen werden können.

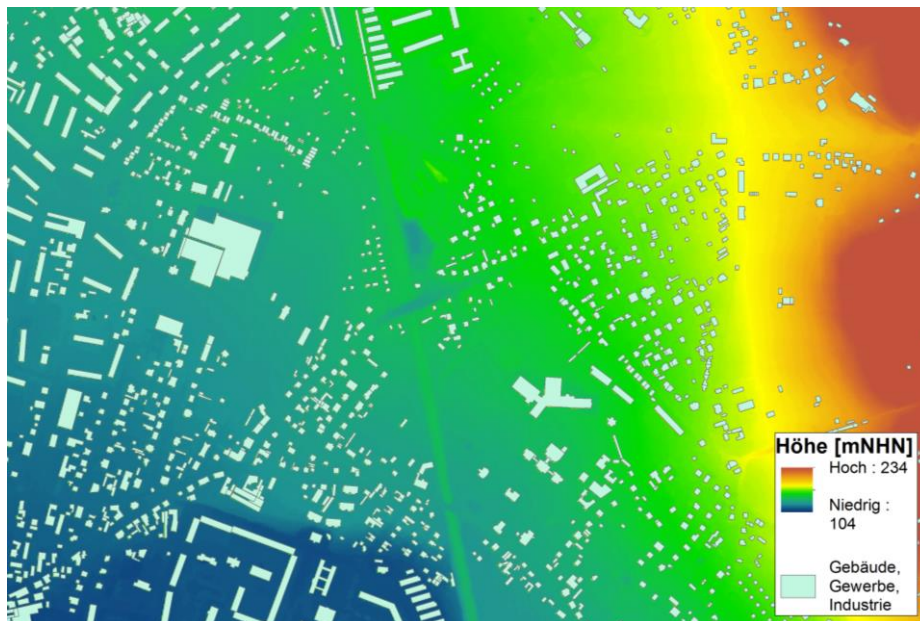


Abbildung 2: Beispiel einer GIS-Analyse mit DGM und Topographie

2.3 Potentielle Risiko- und Schadensanalyse

Detailliertere Informationen, z. B. über potentielle Risiko- und Schadensanalysen, lassen sich mit 2D-Modellen gewinnen. Neben den Informationen zum DGM und der Topographie mit Häusern sind weitere Informationen zu Straßen und abflussleitenden Bauwerken sowie Landnutzungen mit differenzierten Rauheiten notwendig. Mit diesen Informationen lassen sich 2D-Modelle aufbauen, die mit verschiedenen Belastungen beschickt werden können. Hierfür können beobachtete Niederschläge, z. B. von Niederschlagsstationen, Radardaten, oder statistisch ermittelte Starkniederschläge (z. B. KOSTRA-DWD) verwendet werden. Auch ist es möglich, so genannte Wasserstandsauslenkungen zu verwenden, bei der eine entsprechende Wassersäule auf das Untersuchungsgebiet aufgesetzt wird.

Im Ergebnis der Modellanwendungen ist es möglich, auf Basis definierter Niederschläge, Überschwemmungsflächen und -tiefen in Mulden und Senken zu identifizieren (Abbildung 3). Des Weiteren können auch Fließwege und Fließgeschwindigkeiten angegeben werden, um das Gefahrenpotential weiter zu konkretisieren.

Der Nachteil dieser Methode ist, dass die Kanalisation im Modell nicht berücksichtigt wird. Dementsprechend kann auch die Interaktion zwischen Oberflächenabfluss und Kanalisation nicht betrachtet und folglich nicht bewertet werden. Damit ist diese Vorgehensweise streng genommen nur für Regenereignisse mit hohen Wiederkehrintervallen (z. B. $T > 50$ Jahren) gültig. Bei diesen selte-

nen Starkregenereignissen kann davon ausgegangen werden, dass die Kanalisation aufgrund seiner Überlastung (Bemessung meist auf $T = 2$ bis 10 Jahre) nur einen geringen Einfluss auf die Überschwemmungen ausübt und deshalb die Kanalisation im Modell vernachlässigt werden kann.

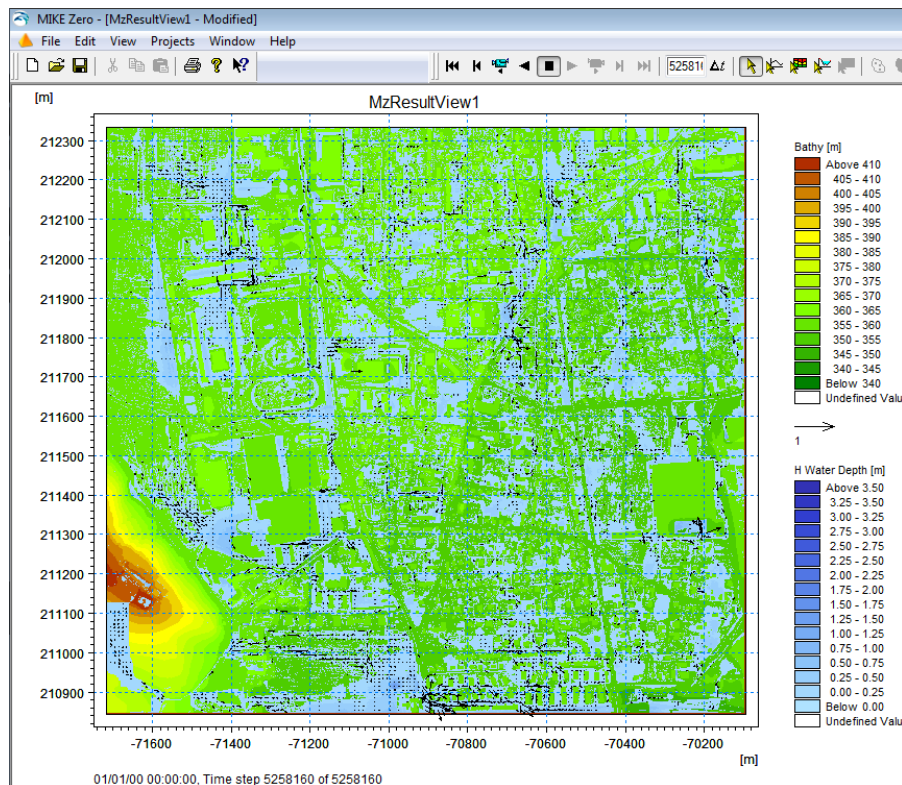


Abbildung 3: Analyse von Überschwemmungsflächen anhand eines 2D-Modells (MIKE 21)

2.4 Konkrete Risiko- und Schadensanalyse

Um konkrete Risiko- und Schadensanalyse durchzuführen, muss die Interaktion zwischen Oberflächenabfluss und Kanalisation abgebildet und die vorhandene Kanalisation modelltechnisch berücksichtigt werden können. Je nach Aufgabenstellung stehen auch hier mehrere Möglichkeiten zur Auswahl (Abbildung 4).

Im einfachsten Fall wird nur ein 1D-Kanalnetzmodell verwendet, das den Überstau an Schächten abbildet (Abbildung 4, a). Hierbei wird über einen virtuellen Tank die entsprechende Wassermenge registriert, die nicht durch die Kanalisation aufgenommen werden kann bzw. wieder austritt.

Durch eine Kombination aus 1D Kanalnetzmodell und offenem Gerinne (z. B. Straßen) ist es möglich, die Ergebnisse aus dem vorhergehenden Ansatz um mögliche oberirdische Fließwege zu ergänzen (Abbildung 4, b). Erreicht das

Wasser die Oberfläche (Überstau bzw. Wasseraustritt infolge Kapazitätsüberschreitung), wird das Wasser auf der Straße weitertransportiert. Hierdurch können die Fließwege auf den Straßen adäquat registriert werden. Virtuelle “Wände” wirken begrenzend, wenn die Bordsteinkanten überflutet werden, wodurch Querströmungsprozesse nicht abgebildet werden können.

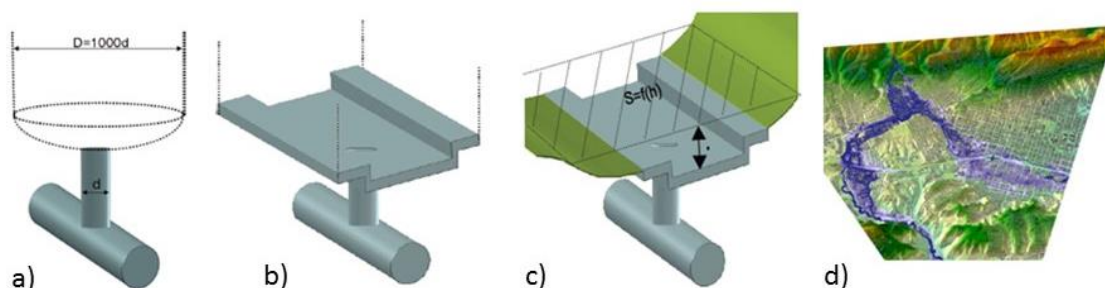


Abbildung 4: Ansätze zur Berechnung urbaner Überschwemmungen

Erweiterbar ist diese Methode, indem neben den Straßen Teile des angrenzenden Geländes mit berücksichtigt werden (Abbildung 4, c). Hierdurch können die Überschwemmungsflächen im Bereich der Fließwege genauer registriert werden. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass es sich auch in diesem Fall um gekoppelte 1D-Modelle handelt, und deshalb Querströmungsprozesse nur mit großen Aufwand vereinfacht abgebildet werden können. Bei zu weitreichender Einbeziehung angrenzender Gebiete kann es deshalb vorkommen, dass hydraulisch nicht angeschlossene Bereiche ebenfalls als überschwemmt dargestellt werden. Um diese Bereiche zu identifizieren und ggf. zu korrigieren, kann eine aufwändige Nachbearbeitung der Ergebnisse notwendig werden.

Aus den oben genannten Gründen bietet es sich an, eine gekoppeltes 1D-2D-Modell aufzubauen (Abbildung 4, d). Hierbei wird die Kanalisation weiterhin als 1D-Kanalnetz verwendet, wogegen der oberirdische Untersuchungsbereich als 2D-Modell eingebunden wird. Hierdurch können Niederschlagsverteilungen und Fließwege auf der Landoberfläche sowie die Ein- und Austrittspunkte der Kanalisation optimal berücksichtigt werden. Innerhalb der Kanalisation erfolgt die klassische 1D-Berechnung verzweigter Rohrnetze.

Durch die Kopplung von 1D- und 2D-Modellen können die Vorteile der jeweiligen Modelle optimal ergänzt werden. Es werden die Fließwege auf der Landoberfläche, die Eintrittspunkte in die Kanalisation, die Fließwege in der Kanalisation in Abhängigkeit der Kapazitäten und Belastungen, die möglichen Austrittspunkte aus der Kanalisation sowie die Überschwemmungen berechnet. Somit kann die komplette Interaktion zwischen der Kanalisation und der Landoberfläche berücksichtigt werden (Abbildung 5).



Abbildung 5: Gekoppelte 1D-2D-Modellierung mit MIKE FLOOD für die Stadt Greve (1D-Modell MIKE URBAN, 2D-Modell MIKE 21)

Die Möglichkeit der Anwendung ist je nach Aufgabenstellung durch verschiedene Modelle gegeben. Für einfache Aussagen zu Kapazitätsgrenzen des Kanalnetzes und Austrittspunkten können 1D-Kanalnetzmodelle verwendet werden (hier MIKE URBAN (DHI, 2015)). Werden zusätzlich Aussagen zu oberirdischen Fließwegen benötigt, ist eine Kopplung des 1D-Kanalnetzmodelles mit einem 1D-Oberflächenfließwegmodell (hier MIKE 11 (DHI, 2015)) notwendig. Für Aussagen zum kompletten Spektrum der Interaktionen zwischen der Kanalisation und der Landoberfläche ist eine Kopplung des 1D-Kanalnetzmodelles mit einem 2D-Modell (hier MIKE 21 (DHI, 2015)) notwendig. Alle Modelle werden in diesem Beispiel über MIKE FLOOD miteinander gekoppelt und synchron gerechnet (DHI, 2015).

2.5 Prognose von Überschwemmungsflächen

Für die Hochwasservorhersage von Flüssen in Folge von Niederschlagsereignissen existieren bereits eine Vielzahl von Anwendungen. Diese werden in den Hochwasserzentralen der Länder (www.hochwasserzentralen.de) standardmäßig angewendet und warnen die Behörden und die Bevölkerung vor möglichen Risiken.

Prognosen von urbanen Überschwemmungen auf Grund von Starkniederschlägen wurden dagegen bislang wenig beachtet. Aufgrund des hohen Schadenspotentials urbaner Räume sollte dort auf Vorhersagen und Prognosen aber nicht verzichtet werden.

Der Aufbau entsprechender Vorhersagemodelle ist beim Vorhandensein existierender Modelle (z. B. gekoppelte 1D-2D-Modelle, Abschnitt 2.4) vergleichsweise einfach zu realisieren. Diese Modelle müssen in eine Softwareumgebung in-

tegiert werden, mit der die Niederschlagsprognosen (z. B. COSMO) automatisiert eingebunden und für die Modellanwendung aufbereitet werden können. Die Ergebnisse der Modellrechnungen können anschließend grafisch aufbereitet werden. Auf Basis dieser Daten ist es möglich, dem Bearbeiter z. B. Handlungsvorschläge zu unterbreiten, um Warnungen (Internet, Email, SMS, ...) auszugeben zu können.

Wie bereits angedeutet, werden beim Vorhandensein entsprechender Modelle in der Regel nur noch Niederschlagsprognosen benötigt. Mit diesem Modellaufbau können alle wesentlichen Interaktionen zwischen Oberflächenwasser und Kanalisation abgebildet werden.

Eine konsequente Weiternutzung der vorhandenen Modelle bzw. Daten wurde bereits mehrfach für Hochwasservorhersagemodelle umgesetzt. Beispiele hierfür sind Vorhersagesysteme in Österreich und Ungarn für die Gewässer Mur, Raab und Enns, sowie in Slowenien für die Flüsse Sava und Soca. Im urbanen Raum werden diese 1D-Gewässermodelle um Detailinformationen aus den 1D-Kanalnetz- und 2D-Berechnungen ergänzt. Die genannten Beispiele wurden mit MIKE INFO, OPERATION und PLANNING (MIPO) umgesetzt (DHI, 2016a, 2016b und 2016c). Hierbei lag der Fokus darauf, den Betreibern ein modulares System zur Verfügung zu stellen, das auf die lokalen Anforderungen und Fragestellungen zugeschnitten ist. Bestandsmodelle wurden dabei konsequent weitergenutzt und intelligent miteinander vernetzt bzw. einfache Applikation aufgebaut und durch weitere Anpassungen erweitert. Im Hintergrund steht dabei eine SQL-Datenbank (z. B. Open-Source Postgres oder Oracle). Auf die darin gespeicherten Daten kann innerhalb des Systems frei zugegriffen werden, um sie z. B. für den Modellbetrieb aufzubereiten (Abbildung 6).

Alle Aufgaben zur Datenaufbereitung und -bearbeitung sowie zum Modellbetrieb erfolgen mit Hilfe von Standardwerkzeugen. Werden weitere Werkzeuge und Funktionen benötigt, können diese mit Hilfe von Python-Skripten bereitgestellt werden. Dieses Prinzip ermöglicht die selbstständige und freie Programmierung innerhalb der vorgestellten Lösung und damit eine größtmögliche Flexibilität für den Anwender. Alle Python-Skripte sind in der Bedienoberfläche (GUI) frei einsehbar und können darin verwaltet und modifiziert werden.

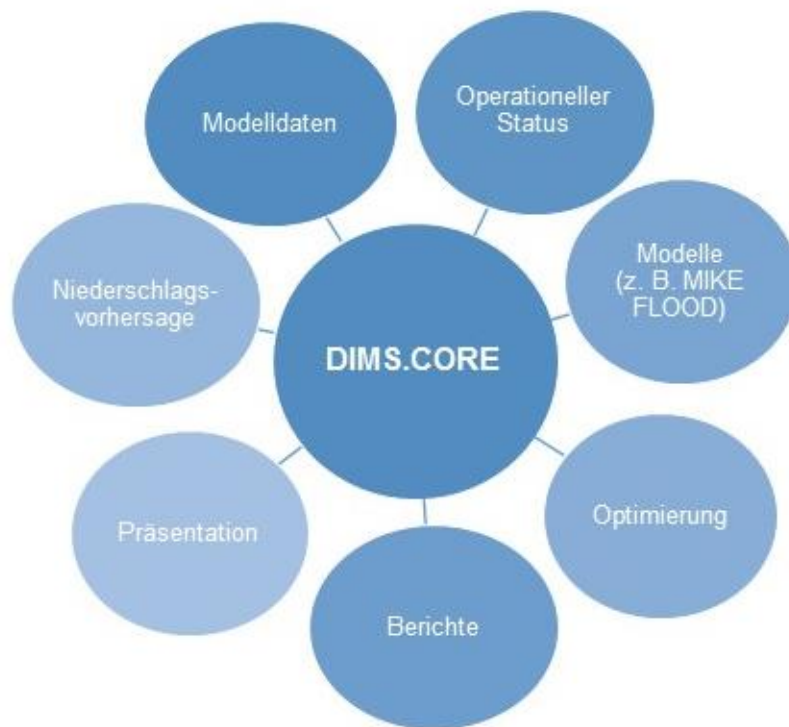


Abbildung 6: Komponenten von MIKE INFO OPERATIONS PLANNING (MIPO)

Als Fazit kann hervorgehoben werden, dass es wichtig ist, Entscheidungsträgern Informationen möglichst einfach und strukturiert zur Verfügung zu stellen, damit diese sich auf die wesentlichen Aufgaben konzentrieren können. Ein solches System ermöglicht es, belastbare Entscheidungen zu treffen, die unter Berücksichtigung aller Kausalzusammenhänge im Gesamtsystem berechnet wurden. Handlungen bzw. Steuerungsoperationen werden dabei immer im Gesamtsystem visualisiert, um negative Auswirkungen zu minimieren bzw. komplett zu vermeiden.

3 Zusammenfassung

Die Analyse urbanen Hochwassers wird weiter in das Bewusstsein der zuständigen Behörden und der Öffentlichkeit dringen. Aus diesem Grund wird es zunehmend wichtiger, für die speziellen Fragestellungen Handlungsmöglichkeiten und Werkzeuge bereitzustellen. Mit dieser Veröffentlichung wurden in Abhängigkeit der Fragestellung verschiedene Lösungskonzepte aufgezeigt. Gleichzeitig wird gezeigt, welche Daten benötigt werden und welche Modelle potentiell verwendet werden können.

Auch wurde dargestellt, dass es möglich ist, auf Basis bestehender Modelle vergleichsweise einfach Prognosesysteme aufzubauen. Damit können den entspre-

chenden Stellen Werkzeuge in die Hand gegeben werden, mit denen Hochwasser im urbanen Raum vorhergesagt werden können. Damit ist ein Schutz von Vermögenswerten möglich, wodurch sich die Schadenssummen in Folge von Starkregenereignissen signifikanter senken lassen.

Dabei wird deutlich, dass sich eine konsequente Nutzung von Daten über die Zeit auszahlt. Daten und Modelle können intelligent miteinander vernetzt werden, so dass am Ende automatisierte Systeme stehen, die auch Aufgaben der Kommunikation wie Hochwasserwarnungen übernehmen. Mit dem Ansatz der Wasserwirtschaft 4.0 – Digitalisierung, Modellierung und Visualisierung von Wassersystemen kann gezeigt werden, wie auf dieser Basis Investitionen in Infrastrukturelemente gerechtfertigt und nachhaltig geplant werden können.

4 Literatur

- DHI (2015): Modelle für die Welt des Wassers – Softwarekatalog 2015. DHI, Hørsholm.
- DHI (2016a): <https://www.mikecustomisedbydhi.com/-/media/shared%20content/mike%20customised%20by%20dhi/flyers%20and%20pdf/mike%20customised%20software%20architecture%20v2.2.pdf>.
- DHI (2016b): <http://www.dhigroup.com/upload/publications/scribd/137506574-The-MIKE-Customised-Platform-IMS.pdf>.
- DHI (2016c): <https://www.mikepoweredbydhi.com/-/media/shared%20content/mike%20by%20dhi/flyers%20and%20pdf/software%20flyers/data-management-decision-support-operational-forecasting/mikeplanning-mikepoweredbydhi-productflyer-uk.pdf>.
- Grünewald, U.; Merz, B.; Streitz, W. u. a. (2003): Hochwasservorsorge in Deutschland – Lernen aus der Katastrophe 2002 im Elbeinzugsgebiet. BTU Cottbus, Geoforschungszentrum Potsdam und Cristian-Albrechts-Universität Kiel im Auftrag des Deutschen Komitees für Katastrophenvorsorge e. V.

Autoren:

Dipl.-Hydrol. Björn Fischer

Dipl.-Ing. Christian Pohl

DHI-WASY GmbH
Niederlassung Dresden
Comeniusstraße 109
01309 Dresden

DHI-WASY GmbH
Niederlassung Syke
Max-Planck-Str. 6
28857 Syke

Tel.: +49 351 316 16 11
Fax: +49 351 316 16 12
E-Mail: bfi@dhigroup.com

Tel.: +49 4242 1638 19
Fax: +49 4242 1638 18
E-Mail: cpo@dhigroup.com

Erfahrungen beim Hochwasserrisikomanagement für ein Gewässer 2. Ordnung am Beispiel des Lockwitzbaches in Coswig

Jörg Walther
Björn Fischer
Lars Kleindienst

Für den Lockwitzbach in der Stadt Coswig waren Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten sowie ein Hochwasserrisikomanagementplan zu erstellen. Zu diesem Zweck wurde auf Grundlage einer aktuellen Gewässervermessung ein hydronumerisches 1D-Wasserspiegellagenmodell für das Gerinne mit MIKE 11 erstellt und mit einem 2D-Modell für das Vorland auf Basis von MIKE 21 gekoppelt. Als Kopplungssoftware kam MIKE FLOOD zum Einsatz. Die Analyse vergangener Hochwasserereignisse mit Hilfe des gekoppelten Modells verdeutlichte, dass für die Gefährdung der Stadt Coswig durch Hochwasser vom Lockwitzbach in der Regel stets die gleichen Versagensmechanismen verantwortlich waren. Das wurde bei der Auswahl und Priorisierung von Maßnahmen für den Hochwasserrisikomanagementplan entsprechend berücksichtigt.

Stichworte: Hochwasserrisikomanagement, Hydronumerische Modellierung, MIKE FLOOD, Ereignisanalyse

1 Veranlassung und Zielstellung

Für den Lockwitzbach in der Großen Kreisstadt Coswig wurde 2010 bei der Bewertung des Hochwasserrisikos gemäß Sächsischem Wassergesetz und Wasserhaushaltsgesetz (WHG) § 73 ein potenziell signifikantes Hochwasserrisiko festgestellt. Deshalb waren für dieses Gewässer 2. Ordnung Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten gemäß § 74 WHG sowie ein Hochwasserrisikomanagementplan (HWRMP) gemäß § 75 WHG zu erstellen.

Die Erarbeitung der Gefahren- und -risikokarten sowie die Erstellung des HWRMP erfolgten auf Grundlage der Musteraufgabenstellung der Landesdirektion Sachsen, Abteilung Umweltschutz in der Fassung vom 07.09.2012 (LDS, 2012). Grundlage und Bestandteil der Musteraufgabenstellung sind die Empfehlungen der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) zur Aufstellung von Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten sowie zur Aufstellung von

Hochwasserrisikomanagementplänen, mit denen die Vorgaben der Europäischen Hochwasserrisikomanagementrichtlinie (HWRM-RL) präzisiert werden.

2 Untersuchungsgebiet

Der Lockwitzbach ist ein rechtsseitiger Nebenfluss der Elbe. Seine Quelle liegt im Landschaftsschutzgebiet „Friedewald und Moritzburger Teichlandschaft“ auf einer Höhe von ca. 190 m ü. NHN. Der Lockwitzbach mündet in zwei Armen bei Kötitz bzw. Sörnwitz in die Elbe. Die Höhe an den Mündungen beträgt jeweils ca. 100 m ü. NHN.

Bearbeitungsgebiet für den HWRMP war der ca. 4 km lange, als Risikogebiet eingestufte Gewässerabschnitt vom Spitzgrundteich bis zum Teilungsbauwerk Brockwitzer Straße. Hier durchfließt der Lockwitzbach das dicht bebaute Stadtgebiet von Coswig. Dabei wird er u. a. von den Fernbahnlinsen Dresden – Berlin und Dresden – Leipzig gekreuzt. Das Einzugsgebiet des Lockwitzbaches umfasst ca. 16 km² bis zum Spitzgrundteich und ca. 19 km² bis zum Teilungsbauwerk Brockwitzer Straße.

Der Spitzgrundteich ist eine ca. 120 Jahre alte Stauanlage mit Teildauerstau, die als Feuerlöschteich, als Laichgewässer und zur Naherholung genutzt wird. Daneben dient die Anlage bis heute dem Hochwasserschutz der Stadt Coswig.

3 Angewendete Methodik und eingesetzte Modelle

Der Umfang und die allgemeine Methodik der Bearbeitung waren durch die Musterleistungsbeschreibung (*LDS*, 2012) vorgegeben, die dazu detaillierte Erläuterungen enthält. Die Auswahl der einzusetzenden Modellsoftware wurde in Abstimmung mit der Stadt Coswig und der Unteren Wasserbehörde des Landkreises Meißen getroffen.

Auf Basis einer aktuellen Gewässervermessung wurde zunächst mit Hilfe der Software MIKE 11 ein hydronumerisches 1D-Wasserspiegellagenmodell für den Lockwitzbach im Risikogebiet aufgebaut. Mit diesem Modell konnten plausible Wasserspiegellagen im Lockwitzbach für das Kalibrierungsereignis im Juni 2013 berechnet werden. Jedoch konnten damit noch keine plausiblen Überflutungsflächen ermittelt werden, da eine einfache Übertragung der berechneten Wasserspiegellagen in die Fläche aufgrund des flachen Geländes im teilweise tiefer liegenden Stadtgebiet nicht möglich war. Erst nachdem das 1D-Modell für das Gerinne mit einem 2D-Modell für das Vorland gekoppelt wurde, waren eine volumentreue Modellierung und die damit verbundene Ermittlung von realisti-

schen Überflutungsflächen möglich. Als Software für die hydronumerische 2D-Modellierung wurde MIKE 21 eingesetzt. Das 1D-Modell für das Gerinne und das 2D-Modell für das Vorland wurden mit Hilfe der Software MIKE FLOOD gekoppelt (DHI, 2014).

Die für die instationären Modellrechnungen benötigten Abflussganglinien für beobachtete oder theoretische (HQ_T) Hochwasserereignisse wurden mit Hilfe eines Niederschlag-Abfluss-Modells ermittelt.

4 Analyse vergangener Hochwasserereignisse

Zur Erarbeitung eines HWRMP für ein Gewässer 2. Ordnung gehört laut Musterleistungsbeschreibung (LDS, 2012) die Analyse von mindestens zwei vergangenen Hochwasserereignissen, um darauf aufbauend auf die allgemeine Hochwassersituation zu schlussfolgern.

Für das Untersuchungsgebiet sind drei extreme Hochwasserereignisse bekannt, die im Mai 1941, im August 2002 und im Juni 2013 auftraten. Die Analyse dieser Ereignisse verdeutlichte, dass für die Gefährdung der Stadt Coswig durch Hochwasser vom Lockwitzbach stets die gleichen Versagensmechanismen verantwortlich waren. Bei allen drei extremen Hochwassern 1941, 2002 und 2013 kam es zu einer Überströmung bzw. seitlichen Umströmung des Absperrbauwerkes am Spitzgrundteich (Abbildung 1) und zu einem Aufstau an der Bahnbrücke Dresden – Leipzig. Der Aufstau an der Bahnbrücke führte 1941 und 2002 zu einer seitlichen Abströmung entlang des Bahnkörpers in Richtung Innenstadt mit einer daraus resultierenden weit reichenden Überflutung. 2013 konnten Abströmung und Überflutung nur durch einen Sandsackverbau (Abbildung 2) verhindert werden.

Ohne diese mobile Sicherungsmaßnahmen wäre es auch 2013 zu einer weit reichenden Überflutung der Innenstadt gekommen, wie Berechnungen mit dem im Zuge der HWRMP-Bearbeitung erstellten hydronumerischen Modell auf Basis von MIKE FLOOD zeigen. Die Ausdehnung der überfluteten Flächen östlich der Bahnstrecke Dresden – Leipzig wäre dabei der tatsächlichen Überflutung von 1941 sehr ähnlich gewesen (Abbildung 3).



Abbildung 1: Instandsetzung des Absperrbauwerkes des Spitzgrundteiches nach dem Hochwasser vom Mai 1941 (Foto: Stadt Coswig)



Abbildung 2: Mobile Schutzmaßnahme im Juni 2013 oh. der Bahnbrücke Dresden – Leipzig (Foto: Stadt Coswig)

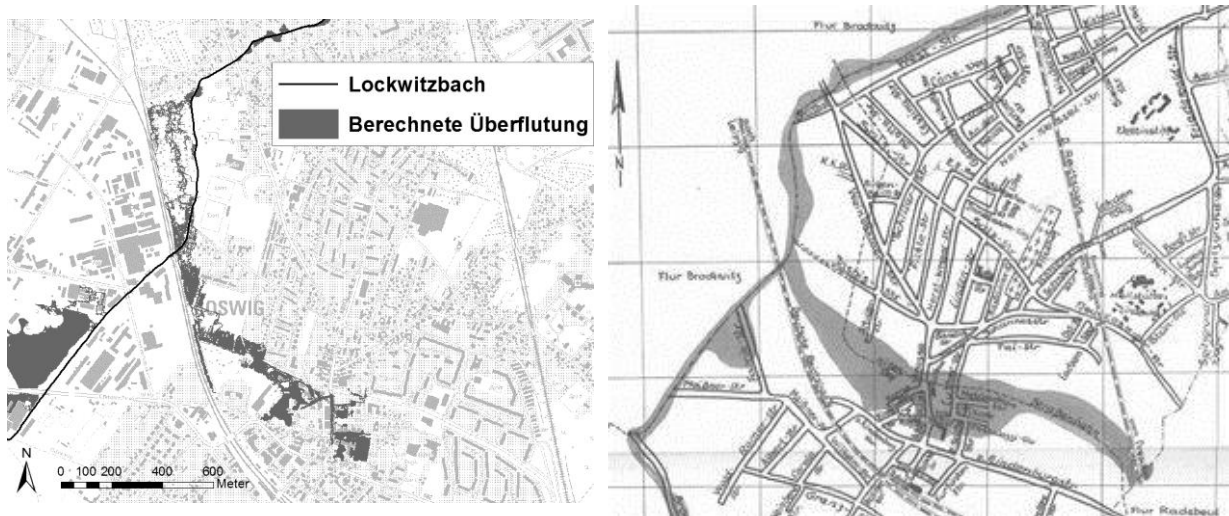


Abbildung 3: Mit dem gekoppelten 1D/2D-Modell berechnete überflutete Fläche im Stadtgebiet von Coswig für das Hochwasser 2013 unter Annahme nicht erfolgter Sicherungsmaßnahmen an der Bahnbrücke Dresden – Leipzig (links) und tatsächlich überflutete Fläche beim Hochwasser 1941 (rechts – © Stadt Coswig)

5 Hochwassergefahren- und -risikokarten

Für ein häufiges Hochwasser HQ_{20} , ein mittleres Hochwasser HQ_{100} und ein seltenes (extremes) Hochwasser HQ_{200} wurden je eine Hochwassergefahren- und -risikokarte im Maßstab 1 : 5.000 erstellt. Auf den Hochwassergefahrenkarten sind die mit dem gekoppelten 1D/2D-Modell berechneten Überschwemmungsgebiete und Wassertiefen dargestellt. Auf den Hochwasserrisikokarten wird zusätzlich zu den Überschwemmungsgebieten (Gefährdung) auch die Vulnerabilität dargestellt, z. B. durch die Flächennutzung innerhalb der Überschwemmungsgebiete oder darin befindliche gefährdete Objekte.

6 Hochwasserrisikomanagementplan

Der HWRMP enthält einen Maßnahmenplan, durch dessen schrittweise Umsetzung das für das Stadtgebiet von Coswig festgesetzte Schutzziel HQ_{100} gewährleistet werden soll. Die Auswahl und Priorisierung von Maßnahmen erfolgte unter Berücksichtigung ihrer Wirksamkeit, Wirtschaftlichkeit und Genehmigungsfähigkeit, wobei letzteres ökologische Aspekte einschließt. Die insgesamt 32 Einzelmaßnahmen des Maßnahmenplans gehören zu folgenden Handlungsbereichen des Hochwasserrisikomanagements:

- Flächenvorsorge,

- Bauvorsorge,
- Risikovorsorge,
- Verhaltensvorsorge,
- Informationsvorsorge,
- Technischer Hochwasserschutz,
- Vorhaltung und Vorbereitung der Gefahrenabwehr und des Katastrophenschutzes.

Damit werden im Maßnahmenplan, der auch Angaben über den Umsetzungszeitraum und die Priorität der einzelnen Maßnahmen enthält, die wesentlichen Handlungsbereiche des Hochwasserrisikomanagements berücksichtigt. Kriterien für die Festlegung der Prioritäten waren u. a.:

- die Wirksamkeit in Bezug auf die Verringerung des Schadenspotenzials,
- die Wirksamkeit in Bezug auf die Gefährdung von Schutzgütern bei gleichzeitiger Berücksichtigung der Vulnerabilität dieser Schutzgüter,
- das Nutzen-Kosten-Verhältnis,
- Sicherheitsrelevante Aspekte, insbesondere in Bezug auf Bauwerke, von denen bei Versagen eine große Gefahr ausgehen kann,
- die Kompatibilität zu laufenden Planungen der Stadt Coswig.

Zu den Maßnahmen mit hoher Priorität gehören neben Vorsorgemaßnahmen und Maßnahmen der nachhaltigen Hochwasserschadensbeseitigung auch der Umbau der Hochwasserentlastungsanlage (HWE) des Spitzgrundteiches sowie die bautechnische Erhöhung der linksseitigen Böschung oberhalb der Eisenbahnbrücke Dresden – Leipzig.

Mit dem Umbau der HWE wird die Hochwassersicherheit des Spitzgrundteiches erheblich verbessert. Gemäß den aktuellen Planungen der Stadt Coswig (*DIB*, 2015) soll die Wehrtafel der vorhandenen HWE eingekürzt bzw. durch eine kürzere Tafel ersetzt werden. Dadurch erhöht sich der Abflussquerschnitt, was sich günstig vor allem auf die Abführung kleinerer Hochwasser und die Verringerung der Verklausungsgefahr auswirkt. Außerdem soll die bisherige HWE durch einen zusätzlichen Überlauf im Absperrbauwerk ergänzt werden (*DIB*, 2015). Dadurch wird die Gefahr einer unkontrollierten Überströmung des Absperrbauwerkes, wie bei allen großen historischen Hochwassern 1941, 2002 und 2013 beobachtet, verringert.

Durch die Erhöhung der linksseitigen Böschung oberhalb der Eisenbahnbrücke Dresden – Leipzig kann eine Überflutung von Teilen der Innenstadt zukünftig bis einschließlich HQ_{200} vermieden werden. Diese Maßnahme ist erheblich kostengünstiger als die Alternative eines teuren Ersatzneubaus der Eisenbahnbrücke Dresden – Leipzig, mit dem die Überflutung ebenfalls vermieden werden könnte und ein geringeres Restrisiko verbunden wäre. Bei der Erhöhung der Böschung besteht ein Restrisiko bei selteneren Ereignissen als HQ_{200} oder/und bei einer Verklauung der Eisenbahnbrücke.

Entsprechend dem integralen Ansatz der HWRM-RL bestehen zwischen den einzelnen Handlungsbereichen bzw. den ihnen zugeordneten Maßnahmen Wechselwirkungen. Beispielsweise wird die mit der Erhöhung der linksseitigen Böschung oberhalb der Bahnbrücke Dresden – Leipzig verbundene Abflusserhöhung im Lockwitzbach unterhalb durch Maßnahmen der Nachhaltigen Hochwasserschadensbeseitigung (Handlungsbereiche Flächenvorsorge und Technischer Hochwasserschutz) kompensiert. Dadurch kommt es unterhalb der Brücke zu keiner Verschlechterung des Hochwasserschutzes entlang des Lockwitzbaches. Dieses Beispiel verdeutlicht, dass mit dem Maßnahmenplan ein „Gesamtpaket“ sich gegenseitig ergänzender Maßnahmen geschnürt wurde, mit dem die Hochwasservorsorge am Lockwitzbach bis 2021 nachhaltig verbessert werden kann.

Die Wirtschaftlichkeit des vorgeschlagenen Maßnahmenplans wurde durch einen Nutzen-Kosten-Vergleich nachgewiesen.

7 Fazit

Mit dem erarbeiteten HWRM-Plan für den Lockwitzbach wird ein wesentlicher Beitrag zur Verbesserung der Hochwasservorsorge in der Großen Kreisstadt Coswig geleistet. Nach seiner Bestätigung kann die Umsetzung des Maßnahmenplans auf der Grundlage von Planungen, die entweder bereits vorliegen, z. B. zur Nachhaltigen Hochwasserschadensbeseitigung, oder derzeit erarbeitet werden, beginnen.

Mit der Musteraufgabenstellung (*LDS*, 2012), die mittlerweile in einer überarbeiteten Fassung (*LDS*, 2015) vorliegt, werden hohe Anforderungen an die Erstellung eines HWRM-Plans gestellt. Der erarbeitete HWRM-Plan für den Lockwitzbach zeigt, dass diese Anforderungen auch für ein Gewässer 2. Ordnung mit in der Regel schmalerer Datenbasis als an Gewässern 1. Ordnung erfüllt werden können. Ggf. muss dabei der Untersuchungsumfang entsprechend

angepasst werden. Die Musteraufgabenstellung hat sich somit als eine praktikable Handlungsanleitung für die Erstellung eines HWRM-Plans erwiesen.

8 Literatur

- DHI (2014): Modelle für die Welt des Wassers – Softwarekatalog 2014. DHI, Hørsholm.
- DIB (2015): Spitzgrundteich Coswig, Vorplanung zur nachhaltigen Hochwasserschadensbeseitigung des Absperrbauwerkes. Dresdner Ingenieurgesellschaft Baugrund mbH im Auftrag der Stadt Coswig. Februar 2015.
- LDS (2012): Aufgabenstellung für die Erstellung von Hochwassergefahren- und -risikokarten und eines Hochwasserrisikomanagementplanes. Landesdirektion Sachsen, Abteilung Umweltschutz, Stand: 07.09.2012.
- LDS (2015): Aufgabenstellung für die Erstellung von Hochwassergefahren- und -risikokarten und eines Hochwasserrisikomanagementplanes. Landesdirektion Sachsen, Abteilung Umweltschutz, Stand: 05.03.2015.

Autoren:

Dr. rer. nat. Jörg Walther
Dipl.-Hydrol. Björn Fischer

Dipl.-Betriebswirt (BA) Lars Kleindienst

DHI-WASY GmbH
Niederlassung Dresden
Comeniusstraße 109
01309 Dresden

Stadtverwaltung Coswig
Fachbereich Ordnungswesen
Fachgebietsleiter Ortspolizeibehörde
Karrasstraße 2
01640 Coswig

Tel.: +49 351 3161611
Fax: +49 351 3161612
E-Mail: jow@dhigroup.com
bfi@dhigroup.com

Tel.: +49 3523 66326
Fax: +49 3523 66309
E-Mail: kleindienst@stadt.coswig.de

Adjungierte Modelle zur Quantifizierung von Gewässer-Morphologie-Bauwerksinteraktionen

Uwe H. Merkel

Jan Riehme

Uwe Naumann

Interessenkonflikte an Fließgewässern sind zumeist eine Folge von räumlichen Wechselwirkungen zwischen Strömung, Sediment, Bauwerken und Wasserqualität. Diese räumlich heterogenen Komponenten beeinflussen potentiell lokal die Hochwassercharakteristiken, die Effizienz der Energiegewinnung, die Fahrrinnen der Wasserstraßen und nicht zuletzt lokale Habitate. Der Bau einer Buhne, eines Wehrs, die Einleitung von Abwässern oder eine nicht durchdachte Baggerung können ein sorgfältig ausbalanciertes Gefüge oft über viele Kilometer aus dem Gleichgewicht bringen.

Mittels *algorithmischer Differenziation* erweiterte numerische Strömungsmodelle können den Einfluss räumlicher Störgrößen auf Strömungen punktgenau und unabhängig von benachbarten Parametern rückrechnen, also sogenannte *Adjungierte* (\sim Gradienten) erzeugen. Diese in der Gewässermodellierung neue Technik ermöglicht die Lösung bisher physikalisch und numerisch kaum modellierbarer Fragestellungen, weil erstmals der Einfluss einzelner Modell-Knoten und Parameter unabhängig von anderen quantifiziert wird, in nur einem Arbeitsgang! In der Fließgewässerhydraulik kann dieses Verfahren zur Aufschlüsselung von Interaktionen, zur automatischen Kalibrierung und Optimierung strömungsrelevanter Formen, zur Data Assimilation und für hoch aufgelöste Sensitivitäts- und Unsicherheitsanalysen verwendet werden.

Stichworte: Sensitivitätsanalyse, Automatische Kalibrierung, TELEMAC-AD, Algorithmische Differenziation, Adjungierte Modelle, Interaktion von Strömungsprozessen

1 Quantifikation von Abhängigkeiten in großräumigen Strömungsfeldern und bei hoher Parameterzahl

Viele Effekte in Fließgewässern lassen sich heute im Nahfeld einzeln numerisch simulieren oder physikalisch modellieren, beispielsweise eine isolierte Buhne oder ein kleines Bühnenfeld. Bei großmaßstäblichen Simulationen auf Flussgebietsmaßstab mit multiplen Einwirkungen sind bis heute die Unsicherheiten bei Designparametern, empirischen Beiwerten und die zahlreichen per Strömung

interagierende Nachbarzonen die limitierenden Faktoren für die Qualität der berechneten Aussage. Einflüsse überlagern sich und sind nur mit extrem hohem Rechenaufwand zu entschlüsseln.

Das Problem wird insbesondere für sogenannte *inverse Probleme* komplex. Als *inverses Problem* bezeichnet man Aufgabenstellungen, bei denen sehr viele Parameter (*N-dimensional*) einen Zielparameter (*1-dimensional*) beeinflussen, der sich direkt oder mittels Formeln aus einer Strömungssimulation ableiten lässt:

Zielparameter (1-dimensional) können sein: Erosion in einem bestimmten Punkt, punktueller Strömungsdruck, punktuelle Salinität etc. Aber auch statistische Kennwerte mehrdimensionaler Variablen wie z. B. aufsummierte Baggerkosten, gemittelter Sauerstoffgehalt, Maximalwert der flächigen Wassertemperatur, Fehlersummen zu Beobachtungswerten, akkumulierter und zeitlich gemittelter Sedimenttransport durch einen Querschnitt.

Einflussgrößen (N-dimensional) können sein: Jeder Punkt der umgebenden Topographie (N entspricht Anzahl der Knoten im FE/FV-Rechenetz), der Rauheitsverteilung oder dem anfänglichen Gewässerzustand (z. B. Geschwindigkeitsfeld oder Konzentrationsverteilung). Zusätzliche Abhängigkeiten bestehen zu einer Vielzahl weiterer 1-dimensionaler Parameter, z. B. Abfluss, Zufluss, kritischer Shieldswert, Meyer-Peter Müller Vorfaktor und eben generell alle empirischen Kalibrierungswerte, die ein Strömungsmodell besitzt. *N-dimensional* bedeutet also für ein 2D oder 3D Modell in heutigen üblichen Größen $N=10^5$ bis $N=10^9$.

Die Quantifizierung einer einzelnen Abhängigkeit wird bisher zumeist per Differenzen-Gradient aus je 2 Modellläufen mit unterschiedlichen Parametern beschrieben. Für 100 000 Knoten mit je 2 Parametern (Geländehöhe, Rauheit) sind also 200 000 Modellvarianten gegenüber dem Ausgangszustand nötig, um den quantitativen Einfluss zu kartographieren.

Die für wasserbauliche Anwendungszwecke neue Methode der algorithmischen Differentiation von Programmen zur Erzeugung eben dieser Sensitivitäten schafft die Berechnung der 200 000 Einzelwerte in nur einem Arbeitsgang.

Bevor im Kapitel 2 die Vorgehensweise erklärt wird, wird zuerst mit einigen Beispielen visualisiert, was den Vorteil punktgenauer Abhängigkeitsinformationen ausmacht. Durch die Darstellung als Karte lässt sich ein räumliches Verständnis von Interaktionen beschreiben, die für manuelle oder gar automatisierte Optimierung von Formen oder Kalibrierung des Modells von großer Bedeutung sind. Nichts desto trotz soll nicht der Eindruck vermittelt werden, dass nur geographische Parameter für adjungierte Analysen geeignet sind. Geeignet sind alle

Parameter, die sich als Gleitkommazahl im Programm selbst befinden, auch 1-dimensionale, empirische Parameter, die nicht in räumlicher Darstellung gezeigt werden können.

Beispiel 1: Schubspannung in Abhängigkeit von Topographie und Rauheit

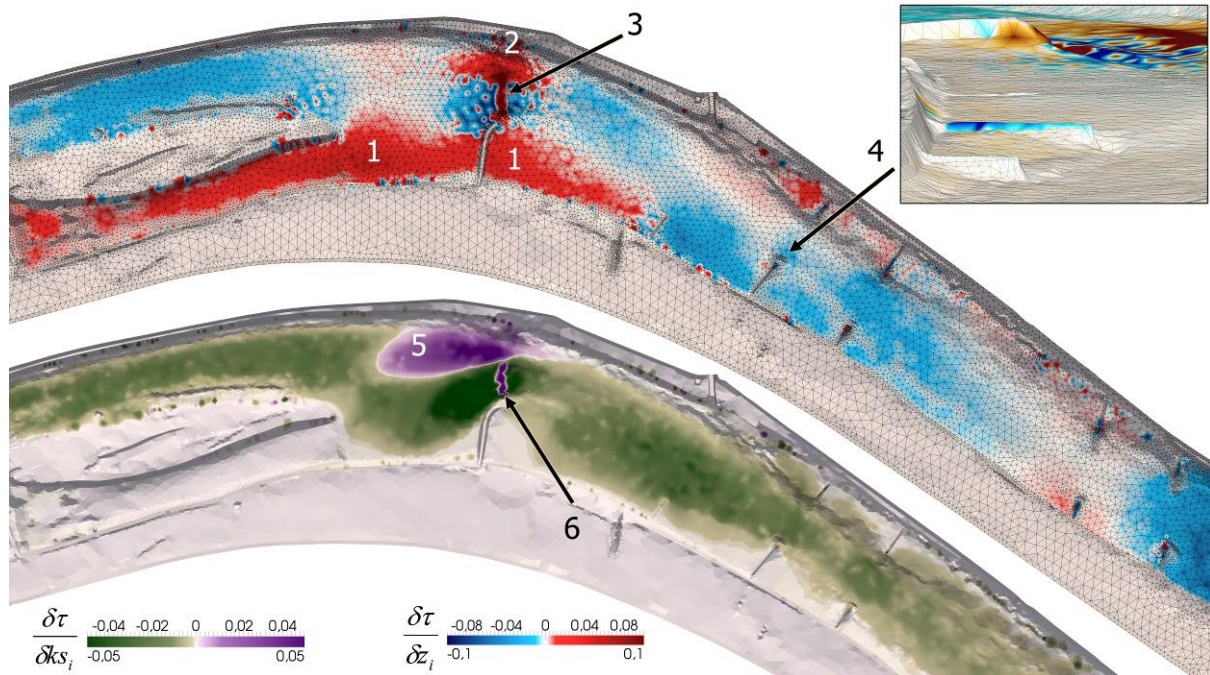


Abbildung 1: Sensitivitäten, die als Karte darstellbar sind (Donau). Aufschlüsselung der Interaktion zwischen Umgebung (hier Topographie und Rauheit) und τ im Bühnenkopfkolk. Die Fernwirkung von Bühnen ist teilweise noch aus einigen Kilometern Entfernung quantifizierbar.

Abbildung 1 zeigt als Beispiel an einem Abschnitt der Donau die Fernwirkung von topographischen Merkmalen (oben) und Rauheitswerten in einem hydraulischen 2D FE-Modell mit 47500 einzelnen Knoten. Als Untersuchungsziel wurde die Schubspannung τ im Bühnenkopfkolk in der Fahrrinne gewählt (3 & 6):

Wird die Topographie z in den roten Zonen 1 & 2 erhöht (∂z in [m]), so erhöht sich die Schubspannung τ im Untersuchungsziel (durch Kanalisierung der Strömung zur Mitte). Denselben Effekt würde man in der räumlich sehr klar umrissenen Zone 5 erreichen, wenn beispielsweise durch den Einbau grober Wasserbausteine die Rauheit erhöht wird (k_s in [m]). Besonders interessant ist der Einfluss des einzelnen Bühnenrückens (Perspektive zu 4) im Vergleich zu den benachbarten Bühnen. Diese liegen im Strömungsschatten und haben kaum Wirkung für den dargestellten Strömungszustand und das gewählte Untersuchungsziel.

Beispiel 2: Einfluss von Felsriegeln auf die maximale Fließgeschwindigkeit

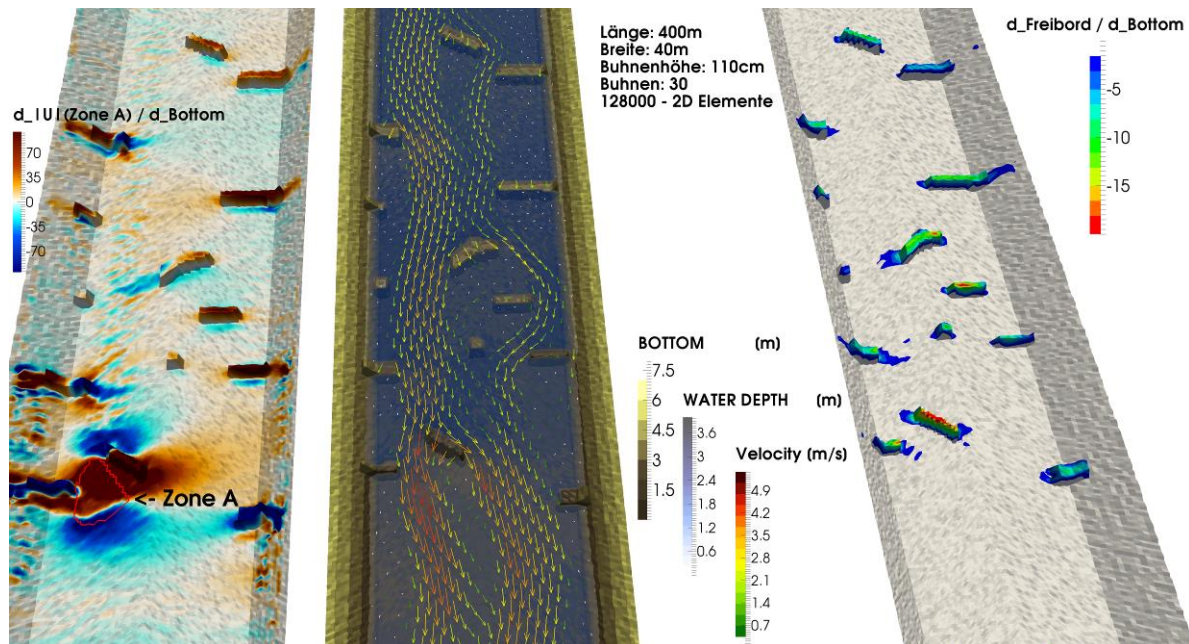


Abbildung 2: Innerstädtischer Gewässerabschnitt: Einzuhalten sind Freibord bei $400 \text{ m}^3/\text{s}$ (rechts, Hochwasserschutz) und maximale Fließgeschwindigkeit bei $50 \text{ m}^3/\text{s}$ (links, Durchgängigkeit). Die Gradientendarstellungen links zeigt sehr deutlich, wie einzelne Bühnen und Betonblöcke die Fließgeschwindigkeit in Zone A beeinflussen. Die Darstellung rechts zeigt welche Querriegel den stärksten Einfluss ausüben auf den Freibord.

Abbildung 2 zeigt einen kanalisiertem Gewässerabschnitt. Sucht man den Grund für die gemäß Bauauflagen unzulässigen Geschwindigkeitsspitzen in Zone A, so erhält man in der linken Ansicht den Gradienten $\partial V_{\text{Zone A}} / \partial \text{Topographie}$ sehr deutliche Aussagen über Effekte der einzelnen Steinriegel: Die blau eingefärbten erzeugen bei weiterem Anheben ein Abbremsen der Geschwindigkeit, die rot eingefärbten eine Beschleunigung in Zone A.

Bemerkenswert ist eine rote Zone auf der anderen Seite des Felsriegels neben Zone A: Wird also die Umgebung von Zone A angehoben, dann wird mehr Wasser durch Zone A geführt.

Weiterhin fällt auf, dass rund um die Steinriegel oft eine kontrastfarbene Kontur zu sehen ist: Wenn also der Fuß der Bühne angehoben und der Rücken abgesenkt wird, dann entspricht dies einer Veränderung des Böschungswinkels.

In der rechten Ansicht $\partial \text{Freibord}_{\text{MIN}} / \partial \text{Topographie}$ ist der Einfluss der gesamten Topographie auf den Freibord geprüft worden. Es zeigt sich, dass einzelne Steinriegel stärkeren Einfluss ausüben als andere.

Der Berechnungsaufwand für die beiden Szenarien liegt bei 90 min CPU Zeit.

Beispiel 3: Einfluss von Korngrößen auf die Form einer Düne (Automatische Kalibrierung)

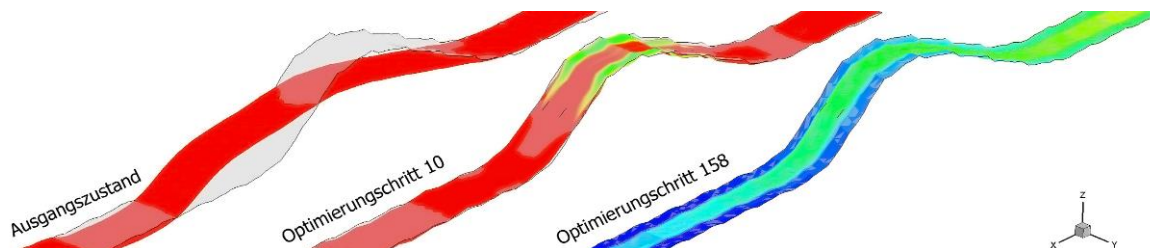


Abbildung 3: Rinnenversuch zur Bewegung einer Düne. Automatische Kalibrierung des zugehörigen numerischen Modells in 158 Schritten, basierend auf adjungierter Modellierung. Grau schattiert: die Form der Düne, wie sie aus dem Experiment bekannt ist. Farbige: Die Düne, wie sie durch den aktuellen Parametersatz vom numerischen Modell erzeugt wird.

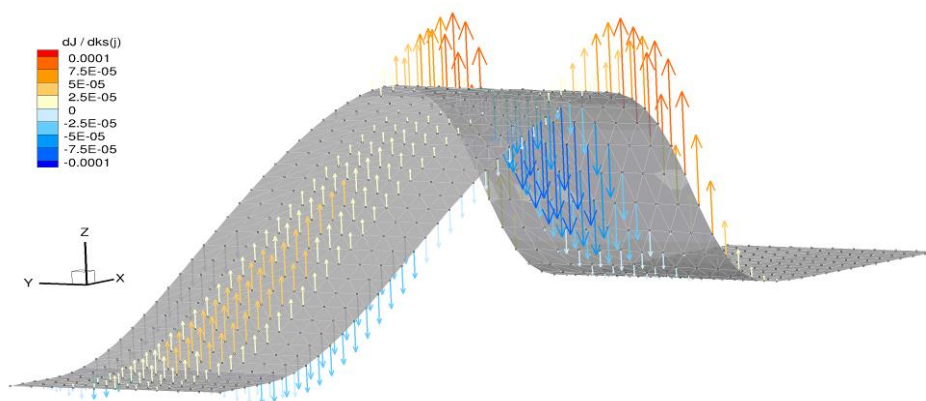


Abbildung 4: Darstellung des Gradienten für die Kalibrierung. In diesem Fall bedeutet der Gradient: „Summe der Fehler |Beobachtung – Rechnung| je Knoten“ in Abhängigkeit der Korngröße (die zusätzlich die Rauheit erzeugt).

Die 1-dimensionale Zielgröße kann zum Beispiel auch die Summe der Fehlerquadrate zwischen Soll und Ist-Zustand eines Modells beschreiben. In der Mathematik wird diese Hilfsgröße als *Kostenfunktion J* bezeichnet. Will man also die Summe der Abweichungen *J* minimieren, so kann potentiell jede Eingangsgröße des Modells der Grund sein. Beispielsweise die Korngröße, sie kann in jedem Punkt unterschiedlich sein und beeinträchtigt gleichermaßen die Oberflächenrauheit und damit das Strömungsfeld. Sie trägt also über verschiedene Wege zu den „Kosten“ = Abweichungen bei.

Abbildung 3 zeigt das iterative Kalibrieren eines Dünenmodells. Da die Prozesse in der wandernden Düne hochgradig nichtlinear sind, trifft nicht der erste lineare Optimierungsschritt das Ziel. Aber nach jedem Anpassen der Parameter

wird erneut per Telemac-AD der Gradient berechnet und somit ein verbesserter Parametersatz erzeugt.

Im abgebildeten Fall wird in 158 Schritten die Berechnung auf die Beobachtung angepasst, bis kein Punkt mehr weiter als 10^{-6} mm vom Wunschzustand abweicht. Abbildung 4 zeigt mit Pfeilen die Richtung und Stärke an, wie die Kalibrierungsparametergruppe „Korndurchmesser“ verändert werden muss, um dem Ziel „minimale Abweichungen“ näher zu kommen. Dieser Anwendungsfall wird in *Merkel et al. (2013)* ausgiebig beschrieben.

Weitere Anwendungsbeispiele

Über das algorithmisch differenzierte Telemac erschienen neben mathematischen Abhandlungen von Riehme und Naumann auch ein Zeitschriftenbeitrag und zwei Masterarbeiten mit wasserbaulichem Schwerpunkt:

- *Villaret et al. (2016)* beschreiben die Anwendung der First Order Second Moment (FOSM) Methode für Unsicherheitsanalysen an einem akademischen Experiment.
- *Mai (2015)* verwendet die Tangenten Lineare Version für eine First Order Second Moment (FOSM) basierte Unsicherheitsanalyse am Rhein und vergleicht die Ergebnisse mit Monte Carlo Simulationen.
- *Schäfer (2013)* nutzt die Adjungierten zum Test geeigneter linearer Optimierungsalgorithmen für die automatische Kalibrierung eines Sedimenttransportmodelles (ausführliche Beschreibung zu Beispiel 3).

2 Methodik

Alle Abbildungen dieses Beitrags visualisieren die Gradienten. Mathematisch formuliert exemplarisch für die Rauheit:

$$\nabla\tau = \left[\frac{\partial\tau}{\partial ks(1)} \dots \frac{\partial\tau}{\partial ks(N)} \right]^T \approx \left[\frac{\Delta\tau}{\Delta ks(1)} \dots \frac{\Delta\tau}{\Delta ks(N)} \right]^T \quad (1)$$

Zur Erstellung dieser Karte aus Abbildung 1 wären also 2 mal 47 500 Variantenrechnungen mit konventioneller Finiter Differenzen Methodik notwendig, um für 47 500 Netzknoten jeweils beide Parameter (Δz und Δks) zu prüfen.

Eine Berechnung mit der im Folgenden vorgestellten Methode der algorithmischen Differentiation schafft diesen Aufwand in einem Arbeitsgang.

Hierzu werden bereits während der gewöhnlichen numerischen Simulation mit Telemac für jeden einzelnen Rechenschritt pro Parameter die Sensitivitäten (=Ableitungen) aufgezeichnet. In einer anschließend zeitlich rückwärts gerichteten Auswertung wird dann für jeden einzelnen Netzpunkt $\partial t / \partial z$ bzw. $\partial t / \partial ks$ ermittelt. Werden diese Ableitungen bzw. Gradienten durch Rückwärtsinterpretation erzeugt, nennt man sie Adjungierte. Natürlich könnten auch alle weiteren numerisch quantifizierbaren Parameter in diese Untersuchung mit integriert werden: z. B. Tracer, Korndurchmesser, temporäre Effekte wie Baggerungen über eine räumlich und zeitlich begrenzte Zone oder soweit im Modell mathematisch quantifizierbar: biochemische Faktoren.

Das Adjungierte Modell ist in diesem Fall mit ~10 h gegenüber ~300 Tagen für die konventionelle Differenzen Methodik mehr als 700x schneller. Zukünftige Code Optimierungen bieten nochmals Potential für eine Geschwindigkeitssteigerung um ein Vielfaches.

Adjungierte Modelle numerischer Berechnungen können den kompletten Gradienten vom Typ Gleichung (1) mit nur einem Lauf auswerten. Dies geschieht bei einer an den Vorwärtslauf angehängten Rückwärtsinterpretation. Ein adjungiertes Modell der Telemac-Suite wurde mit Hilfe des Differenzierenden NAG Fortran Compilers erstellt.

Das adjungierte Modell arbeitet wie folgt: Der Compiler instrumentiert den originalen Quellcode der Telemac-Suite derart, dass jeder mathematisch relevante Befehl nicht nur ausgeführt, sondern auch aufgezeichnet wird. Die Aufzeichnung wird als „Tape“ bezeichnet. Am Ende des sogenannten Vorwärtslaufes sind die Werte der Zielparameter berechnet und der gesamte Berechnungsablauf im Tape gespeichert.

Bei der jetzt anschließenden Rückwärtsinterpretation des Modells werden Adjungierte (Ableitungen) von den Zielparametern (am Ende des Tapes) zu Adjungierten der Eingabeparameter (am Anfang des Tapes) propagiert. Dabei werden alle im Tape gespeicherten Befehle in umgekehrter Reihenfolge (also rückwärts) durch ihre adjungierte Version interpretiert. Am Ende der Interpretation des Tapes kann der gesuchte Gradient direkt aus den Adjungierten der entsprechenden Eingabeparameter ausgelesen werden.

Diese Fähigkeiten der algorithmischen Differentiation führten in der Meteorologie, der Automobil-, sowie der Luft- & Raumfahrt bereits seit einigen Jahren zu einem signifikanten Sprung in Präzision und ökonomischer Effizienz.

3 Software Telemac-AD

Das erste allgemein einsetzbare Programm, das explizit adjungierte Gradienten für Fließgewässeranalysen erzeugt, ist Telemac-AD. Die Anfänge von Telemac-AD gehen auf ein von der Bundesanstalt für Wasserbau finanziertes F&E Projekt zurück. Mittlerweile wird Telemac-AD auch von HR Wallingford (GB) und dem Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement (LNHE, F) genutzt und unterstützt. Eine neue Version mit Parallelisierung und Speicheroptimierung für den Einsatz an größeren und langlaufenden Modellen wird den Geschwindigkeitsvorteil weiter vervielfachen.

Lauffähige Beispielmolelle und mehr Textmaterial stehen für interessierte Endanwender zur Verfügung unter:

www.uwe-merkel.com/telemac-ad

4 Hintergrundinformation: Algorithmisches Differenzieren

Algorithmisches Differenzieren ist eine mathematische Methode, um numerische Programme so zu erweitern, dass Ableitungen (Abhängigkeiten) berechneter Zielparame-ter bzgl. bestimmter Eingabeparameter effizient berechnet werden können (*Griewank, 2008*). AD arbeitet dabei auf einem bestehenden Quellcode und modifiziert nicht das der Implementierung zu Grunde liegende mathematischen Modell. Die so mit AD differenzierten Programme erlauben die Berechnung von Ableitungen mit Maschinengenauigkeit, an der durch die Werte der Eingabeparameter spezifizierten Auswertestelle.

Dem Algorithmischen Differenzieren liegt folgendes Prinzip zu Grunde: Jedes Programm wird als Folge einzelner atomarer Operationen (+, -, *, /, exp, sin,...) betrachtet, für die Ableitungsregeln bekannt sind. Die Ableitungen aufeinanderfolgender Operationen werden durch die Kettenregel miteinander verknüpft.

Für Ableitungen erster Ordnung unterscheidet man zwei Basis-Modi:

1. Tangenten-lineare Modelle berechnen Ableitungen (sog. Tangenten) simultan zu den Werten des Ausgangsmodells. In diesem sog. Vorwärtsmodus von AD werden Projektionen der Jacobimatrix berechnet, wie sie auch Finite Differenzen (FD) liefern. Im Gegensatz zu FD allerdings mit Maschinengenauigkeit, also ohne Rundungsfehler.
2. Adjungierte Modelle berechnen Projektionen der transponierten Jacobimatrix, in dem Adjungierte von den Programmausgaben zu den Eingaben rückwärts durch das Programm propagiert werden. Für diesen Rückwärtslauf müssen im

vorgeschalteten Vorwärtslauf alle benötigten Informationen gespeichert werden. Adjungierte Modelle sind insbesondere für die Optimierung von Funktionen interessant, die einen einzelnen Ausgabewert aus vielen Eingaben berechnen (z. B. Summe der Fehlerquadrate bei der Kalibrierung von Modellen). In diesen Fall ist die Jacobimatrix nur ein Vektor (Gradient), der unabhängig von der Anzahl der Eingaben mit einer einzigen Auswertung des adjungierten Modells berechnet werden kann.

Modelle für Ableitungen zweiter und höherer Ordnung können durch Kombinationen der Basis-Modi erhalten werden und erlauben damit die Anwendung effizienterer Optimierungsalgorithmen.

Der AD-enabled NAG Fortran Compiler, eine am Institut Software and Tools for Computational Engineering (STCE) der RWTH Aachen entwickelte AD - Erweiterung des kommerzielles NAG Fortran Compilers der Numerical Algorithm Group, Oxford, UK, verfolgt einen hybriden Ansatz: Quellcodetransformationen werden mit einer effizienten überladungs-basierten Laufzeitbibliothek gekoppelt. Damit können differenzierte Modelle auch komplexer Softwarepakete wie der Telemac-Suite mit überschaubarem Aufwand erzeugt werden. In *Naumann & Riehme* (2005) wird die Anwendung des AD-Compilers detaillierter diskutiert. Grundlagen finden sich in *Naumann* (2012).

Für praxisrelevante Fragestellungen passt nicht der gesamte Berechnungsablauf in das „Tape“. Für das eingangs gezeigte Donaumodell mit z. B. 1000 Zeitschritten wären ca. 10 TB Hauptspeicher nötig. Diese nicht realisierbare Speicheranforderung wird durch Checkpointing dramatisch reduziert: Ein Checkpoint speichert während des Vorwärtslaufs den aktuellen Zustand der Simulation, so dass nach Wiederherstellung des Checkpoints die Simulation exakt an der Stelle der Speicherung wiederholt werden kann. Wird z. B. am Anfang jedes Zeitschrittes der Vorwärtsrechnung jeweils ein Checkpoint geschrieben, können aufeinanderfolgende Zeitschritte (in umgekehrter Reihenfolge) nacheinander adjungiert werden. Damit reduziert sich der Gesamtspeicherbedarf von 10 TB auf 10 GB für das Tape und ca. 300 MB für 1000 Checkpoints}. Diese Speicherreduktion erkaufte man sich mit etwas erhöhtem Rechenaufwand: Jeder Zeitschritt wird nun zweimal berechnet, einmal im Vorwärtslauf und einmal beim Adjungieren. Verbesserte Checkpointing-Strategien reduzieren die Anzahl benötigter Checkpoints durch erhöhten Rechenaufwand.

5 Literatur

- Griewank, A., Walther, A. Evaluating Derivatives: Principles and Techniques of Algorithmic Differentiation. 2d ed. SIAM. Philadelphia (2008).
- Kopmann, R. Merkel, U. Drei Jahre Telemac Open Source. In: Wasserwirtschaft (12 / 2013).
- Kopmann, R. Merkel, U. Riehme, J. Using Reliability Analysis in Morphodynamic Simulation with Telemac2D / Sisyph. Proceedings: Telemac Users Club 2012, Oxford (2012).
- Mai, Trung Hieu. Application of reliability methods to a numerical model of river Rhine, Master Thesis, University of Stuttgart (2015).
- Merkel, U. Naumann, U. Riehme, J. Rückrechnung von Rand- und Anfangsbedingungen mit Telemac und Algorithmischer Differentiation. In: Wasserwirtschaft (2013), Heft 12.
- Naumann, U. The Art of Differentiating Computer Programs. An Introduction to Algorithmic Differentiation. Software, Environments and Tools, SIAM (2012).
- Naumann, U. Riehme, J. A differentiation-enabled Fortran 95 compiler. ACM Transactions on Mathematical Software, 31(4):458–474 (2005).
- Nocedal, J. Wright, S. Numerical Optimization. 2nd ed. Springer (2006).
- Rausser, F. Riehme, J. Leppkes, K. Korn, P., Naumann, U. On the use of discrete adjoints in goal error estimation for shallow water equations. Procedia Computer Science, 1, 107–115 (2010).
- Schäfer, M. Optimierungsalgorithmen für LSQR Optimierungsprobleme mit dem algorithmisch differenzierten Telemac-2D AD. Diplomarbeit (2013).
- Villaret, C., Hervouet, J.M., Kopmann, R., Merkel, U. Morphodynamics modelling using the Telemac finite-element System. Computers and Geosciences. Heft 53 (2013).
- Villaret, C., Kopmann, R., Wyncoll, D., Riehme, J., Merkel, U., Naumann, U. First-order Uncertainty Analysis using Algorithmic Differentiation of the Telemac-2D/Sisyph Morphodynamic Model. Computers and Geosciences, Elsevir (2016). In print.

Autoren:

Dr. Uwe H. Merkel

UHM River Engineering, Karlsruhe
www.uwe-merkel.com

E-Mail: info@uwe-merkel.com

Jan Riehme, M.Sc.,
Prof. Dr. Uwe Naumann

STCE
RWTH Aachen

E-Mail: riehme@stce.rwth-aachen.de
naumann@stce.rwth-aachen.de

Gekoppeltes Grundwasser-Oberflächenwasser- Modell im Bundesprogramm Biologische Vielfalt „Lebendige Luppe“

Felix Marlow
Tilo Sahlbach
Friedemann Brückner
Holger Mansel
Jens Riedel

Mit der Lebendigen Luppe soll ein durchgängiges Fließgewässer geschaffen werden, um zum Erhalt und zur Wiederherstellung autotypischer Wasserverhältnisse und -dynamiken in der Burg- und Luppeaue nordwestlich von Leipzig beizutragen. Zur Simulation und Optimierung der Auswirkungen auf die sich gegenseitig beeinflussenden Oberflächen- und Grundwasserhaushalte wurde eine Kopplung zwischen einem Oberflächen- und einem Grundwassermodell vorgenommen.

Das Grundprinzip der Kopplung ist eine gegenseitige Berücksichtigung der Ergebnisse zwischen Oberflächenwasser- und Grundwasser-Modell. Die Ergebnisse des einen Modells stellen dabei eine Randbedingung bei der Simulation des anderen Modells dar. Die wechselseitige Kopplung wird solange durchgeführt, bis die neuen Randbedingungen keine Änderung der Ergebnisse verursachen. So laufen die Simulationen zwar getrennt voneinander ab, aber durch die Integration der Auswirkungen des einen Modells auf das andere werden die Wechselwirkungen zwischen Oberflächen- und Grundwasser vollumfänglich abgebildet.

Stichworte: Flussaue, Revitalisierung, Grundwasser, Oberflächenwasser, numerische Modelle, Modellkopplung

1 Einführung

Die Auenökosysteme gehören zu den am stärksten gefährdeten Lebensräumen in unserer Kulturlandschaft. Der Leipziger Auwald ist ein europäisch bedeutendes Auensystem und wurde durch ein Binnendelta von Weißer Elster und Luppe in der Burg- und Elster-Luppe-Aue geprägt.

Mit den Maßnahmen zum Hochwasserschutz und der abwassertechnischen Vorflutgestaltungen im 19. Jahrhundert und in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurden die Oberflächen- und Grundwasserverhältnisse im nördlichen Auwald nachhaltig verändert. Die Entwässerung durch die stark eingetiefte Neue Luppe

und das Trockenfallen vieler Gewässer führen zu einem Absinken des Grundwasserspiegels im Bereich der Nordwestaue. Das fehlende Wasserdargebot durch Mangel an Zufluss, periodischen Überschwemmungen und Grundwasser stellen eine große Bedrohung für das Auenökosystem dar.

Mit der Lebendigen Luppe soll, unter Nutzung vorhandener Altarme, ein durchgängiges Fließgewässer durch die Burg- und Luppeaue geschaffen werden (siehe Abbildung 1). Damit soll zum Erhalt und zur Wiederherstellung auentypischer Wasserverhältnisse und -dynamiken des Oberflächen- und Grundwassers beigetragen werden und die dafür typischen Biotop- und Habitatstrukturen gesichert, stabilisiert und entwickelt werden. Die Auswirkungen des zu schaffenden Gewässers auf die Grund- und Oberflächenwasserverhältnisse sollen mithilfe geeigneter Modelle simuliert und durch Variantenuntersuchungen optimiert werden. Dabei werden Niedrig- und Hochwasserszenarien betrachtet.

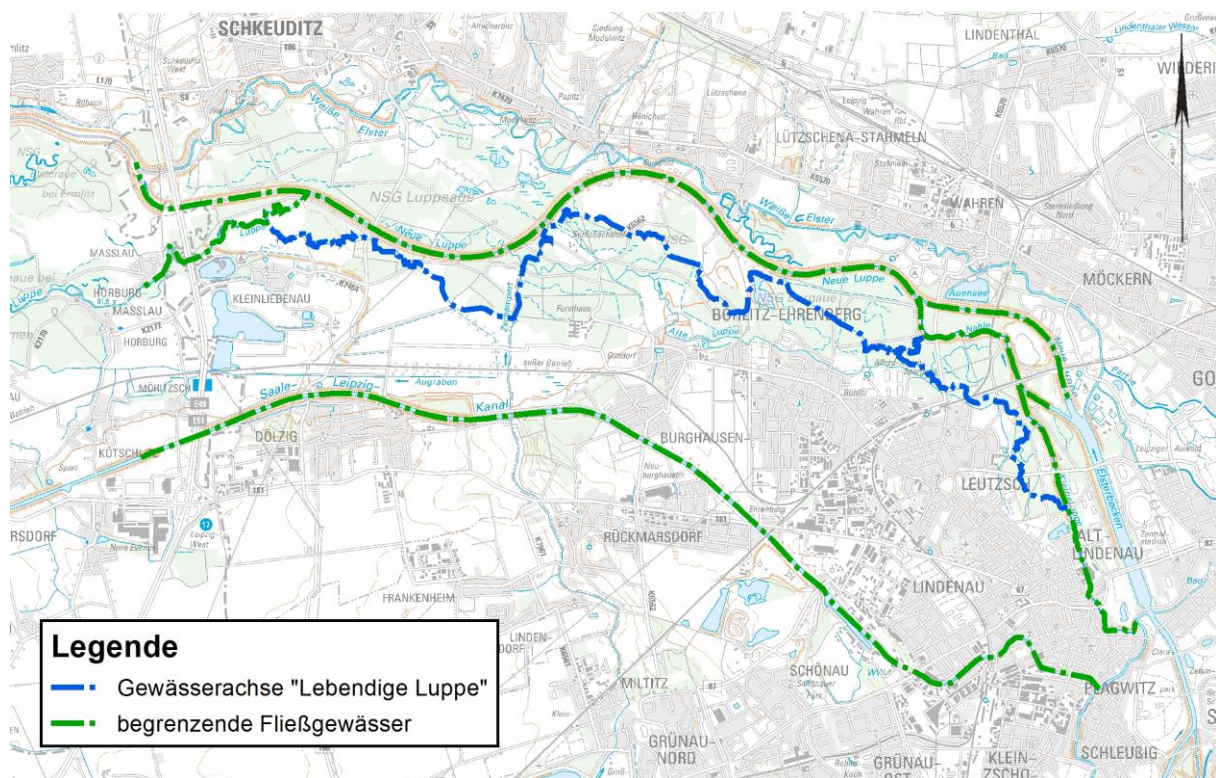


Abbildung 1: Übersicht des zu untersuchenden Gebiets in der Burg- und Luppeaue nordwestlich von Leipzig

Grund- und Oberflächenwasserhaushalt beeinflussen sich gegenseitig und können nicht getrennt voneinander betrachtet werden. Ist der Grundwasserspiegel niedriger als das Gelände, versickert Oberflächenwasser, ist er höher, beispielsweise in Geländesenken, tritt Grundwasser an die Oberfläche. Andersherum werden Grundwasserspiegel und Austauschraten neben den Bodeneigenschaften vom Wasserstand an der Oberfläche bedingt.

In Grundwasser-(GW-)Modellen werden Oberflächengewässer meist nur stark vereinfacht abgebildet und dienen als Randbedingung für die Berechnung der Grundwasserdynamik. Innerhalb des GW-Modells kann bezüglich der Oberflächengewässer nicht die Aussagekraft und Datenqualität eines hydrodynamischen Oberflächenwasser-(OW-)Modells erreicht werden. Tritt ein Gewässer über die Ufer und verursacht Überschwemmungen, werden diese im GW-Modell im Allgemeinen nicht abgebildet, womit die großflächige Versickerung in das Grundwasser in den Überschwemmungsgebieten nicht berücksichtigt wird. Besonders in Bereichen mit regelmäßigen großflächigen Überflutungen, wie Auen, kann dieser Anteil der Wechselwirkung zwischen Grund- und Oberflächenwasser jedoch von Bedeutung sein.

In OW-Modellen hingegen bleiben gemeinhin die Versickerungsmengen von Oberflächenwasser ins Grundwasser bzw. der Zufluss von Grundwasser in das Gewässernetz unberücksichtigt. In den Untersuchungen zur Lebendigen Luppe sollte darum eine Kopplung zwischen OW- und GW-Modell vorgenommen werden, um die Wechselwirkungen zwischen Oberflächen- und Grundwasser vollumfänglich abzubilden.

Das Projekt ‚Lebendige Luppe‘ ist noch in Bearbeitung und dessen Ergebnisse sind nicht Bestandteil dieses Beitrages. Vorgestellt wird die Kopplung zwischen OW- und GW-Modell.

2 Oberflächenwassermodellierung

Die Oberflächenwassermodellierung dient der Simulation von Wasserspiegellagen, Fließwegen und Strömungsgeschwindigkeiten von oberirdisch abfließendem Wasser, wie in Abbildung 2 dargestellt. Sie zeichnet sich durch eine möglichst genaue Berücksichtigung der Gewässer- und Geländetopografie aus, so dass die Auswirkungen von Abflusshindernissen, Engstellen und Bauwerken auf die Wasserströmung abgebildet werden.

Im Rahmen der hier vorgestellten Arbeit wurde für die OW-Modellierung das zweidimensionale numerische Simulationsmodell Hydro_AS-2D von Hydrotec verwendet. Die mathematische Grundlage bilden dabei die Flachwassergleichungen von Abbott. Diese entstehen durch die Integration der dreidimensionalen Kontinuitätsgleichung und der Reynolds- bzw. Navier-Stokes-Gleichungen für inkompressible Fluide über die Wassertiefe und unter Annahme einer hydrostatischen Druckverteilung. Die numerische Lösung dieser Gleichung erfolgt nach der Finite-Volumen-Methode, für die das Gesamtgebiet in diskrete Elemente unterteilt wird, die in ihrer Gesamtheit das Berechnungsnetz bilden. Für

alle Netzknoten werden jeweils die Wassertiefe sowie eine über die Tiefe gemittelte Fließgeschwindigkeit berechnet.

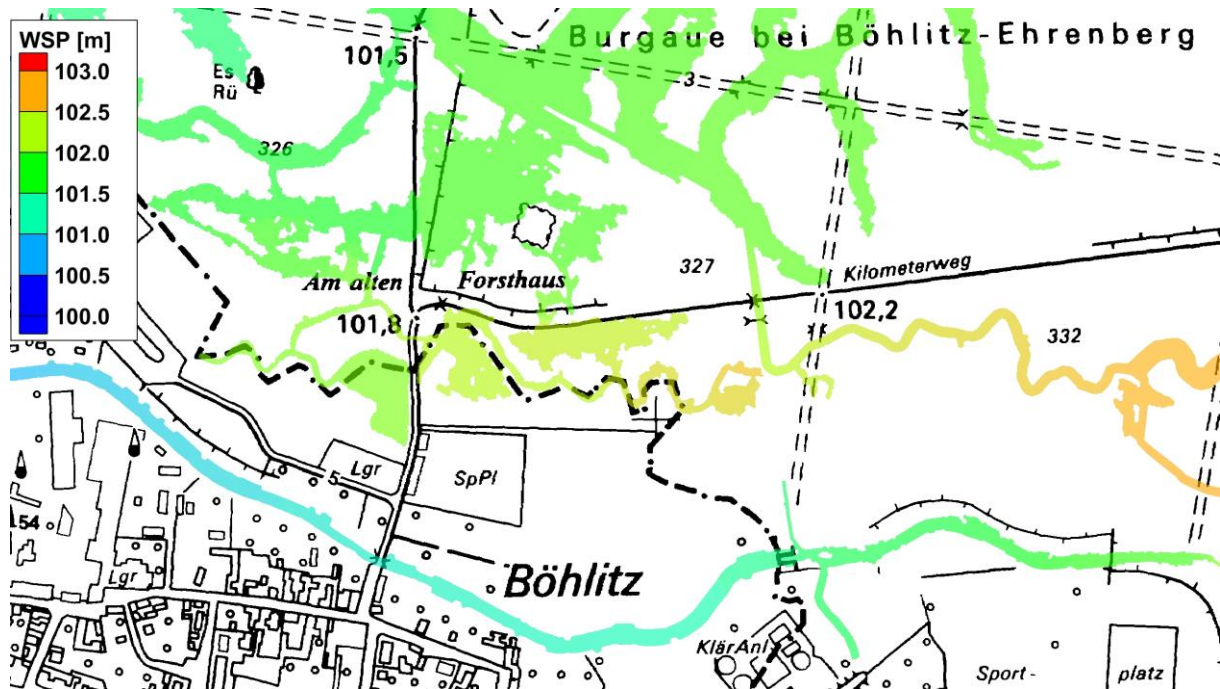


Abbildung 2: Im OW-Modell berechnete Wasserstände und Überflutungsflächen (Arbeitsstand)

Im hier vorgestellten Projekt beträgt die Netzauflösung in Gewässernähe teilweise unter 2 m und wächst zu den Gebietsrändern hin an. Das Berechnungsnetz basiert auf einem Digitalen Geländemodell DGM2 und teilweise auf terrestrischen Vermessungen maßgeblicher Gewässer. Die Lebendige Luppe wurde entsprechend der Planung hochaufgelöst im Modell abgebildet. Zahlreiche Alt- und Nebenarme werden ebenfalls detailliert berücksichtigt.

Als Randbedingungen werden die Zuflüsse der verschiedenen Gewässer und das Energieliniengefälle der aufnehmenden Vorfluter am Auslauftrand spezifiziert. Weitere Randbedingungen sind hydraulisch wirksame Bauwerke, die Geländerauigkeit und lokale Austauschraten mit dem Grundwasser aus der Kopplung mit dem GW-Modell. Im hier vorgestellten Projektzustand erfolgt die OW-Modellierung mit stationären Randbedingungen. Besonders im Hinblick auf die Hochwasserfälle werden also die maximalen Überflutungsflächen abgebildet, nicht jedoch die eigentlich instationären Flutungs- und Ablaufvorgänge. Inzwischen wurden auch OW-Simulationen mit instationären Hochwasserwellen durchgeführt, diese jedoch noch nicht mit dem GW-Modell gekoppelt, was noch erfolgen wird.

3 Grundwassermodellierung

Die Grundwassermodellierung dient der Simulation von Grundwasserständen und -strömungen sowie der Wechselwirkungen mit dem oberirdischen Wasserhaushalt, wie in Abbildung 3 dargestellt. Dafür müssen geologische, hydrogeologische und hydrologische Einflüsse berücksichtigt werden. Während der oberirdische Wasserhaushalt über Randbedingungen dargestellt wird, erfolgt die Abbildung der hydrogeologischen Gliederung des Untergrundes dreidimensional.

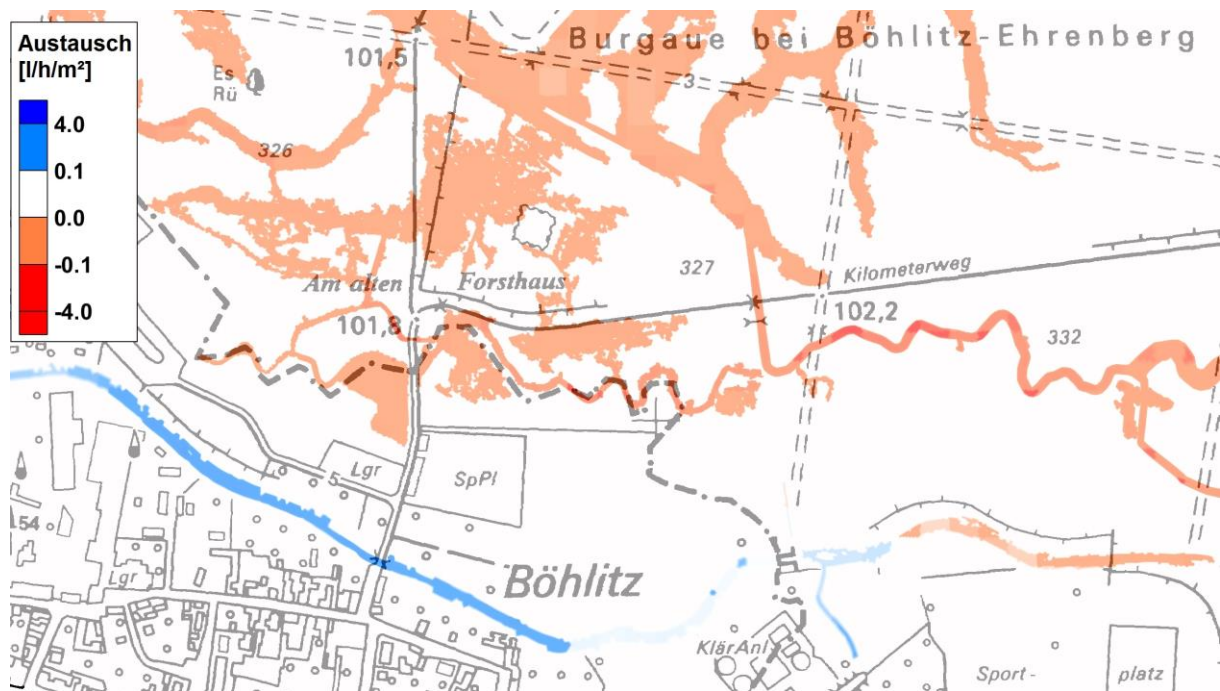


Abbildung 3: Im GW-Modell berechnete Austauschraten zwischen Grund- und Oberflächenwasser (rot Versickerung ins, blau Wasseraustritt aus dem Grundwasser; Arbeitsstand)

Im Rahmen der hier vorgestellten Arbeit wurde für die GW-Modellierung das Programmsystem PCGEOFIM von IBGW verwendet. Die Beschreibung der Fließvorgänge basiert mathematisch auf dem D'Arcy-Gesetz für poröse Medien. Das zu modellierende System wird in Volumenelemente zerlegt, so dass die numerische Lösung nach der Finite-Volumen-Methode erfolgt. Für alle Elemente werden zeitabhängig jeweils Grundwasserstand und Bilanzwassermenge berechnet.

Der Auswertebereich des GW-Modells ist mit einer Rasterweite von 31,25 m aufgelöst. Dieser hochaufgelöste Bereich ist in wesentlich gröber aufgelöste Großraummodelle eingebettet. Zusammen mit festen Wasserständen, die durch Gewässer vorgegeben werden, bilden diese die Randbedingungen an den Mo-

dellrändern. Die obere Berandung des Grundwasserströmungsraumes wird entsprechend des digitalen Geländemodells DGM2 festgelegt.

Für die Belegung der Durchlässigkeitsparameter der verschiedenen vertikalen geologischen Schichten wurden Datenbanken und entsprechende Erfahrungswerte aus bestehenden hydrogeologischen Großraummodellen und Modellierungen im Stadtgebiet Leipzig verwendet. Zur Festlegung der Durchlässigkeit der gering durchlässigen, oberflächennahen Auelehmschicht sind darüber hinaus im Rahmen des Projektes durchgeführte Erkundungen eingeflossen.

Oberirdische Fließgewässer und Seen werden im GW-Modell als Randbedingungen integriert, um die Wechselwirkungen zwischen den Oberflächengewässern und den Verhältnissen im Grundwasser nachzubilden. Lage und Profilgeometrien basieren dabei auf den OW-Modelldaten. Grundwasserneubildungsraten, basierend auf meteorologischen Daten, gehen ebenfalls in das Modell ein. Anhand von Grundwasserstandsmessungen sowie Wasserstandsdaten der Oberflächengewässer wird das GW-Modell kalibriert. Während dieser Kalibrierungsphase, welche zeitabhängig variable hydrologische und meteorologische Randbedingungen eines in der Vergangenheit liegenden Zeitraums berücksichtigt, wird über eine sensitive Veränderung der Modellparameter eine möglichst geringe Abweichung zu den gemessenen Grundwasserständen angestrebt.

Für die Prognoserechnungen zur Wirkung der Lebendigen Luppe werden die Wasserstände aus der OW-Modellierung als zeitkonstant im GW-Modell angesetzt. Die eigentlich instationäre GW-Modellberechnung erhält aus diesem Grund letztendlich den Status einer stationären Berechnung. Jedoch werden die Hochwasserszenarien mit ihren eigentlich nur kurzzeitig höheren Wasserständen bereits nach einer modellinternen Wirkdauer von einem Monat ausgewertet, um eine Überschätzung der Auswirkung auf den Grundwasserstand im Prognosezustand zu vermeiden.

4 Modellkopplung

Zur Abbildung der wechselseitigen Beeinflussung zwischen Oberflächen- und Grundwasserhalt, müssen die Wasserstände und Überflutungsflächen aus der OW-Modellierung im GW-Modell und gleichzeitig die Austauschraten aus der GW-Modellierung im OW-Modell berücksichtigt werden. Um diesen Zustand der wechselseitigen Kopplung beider Modelle zu erreichen, ist ein iterativer Prozess erforderlich, der in Abbildung 4 schematisch dargestellt ist.

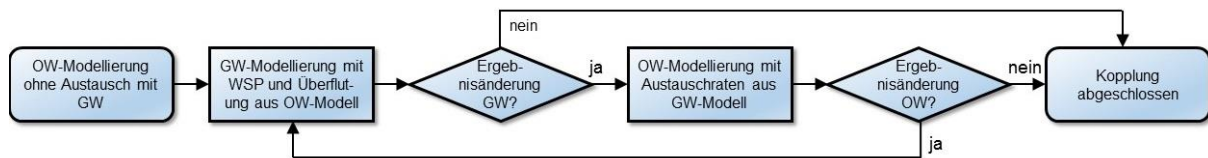


Abbildung 4: Ablaufschema bei der Modellkopplung

Das schrittweise Vorgehen bei der Modellkopplung funktioniert dabei wie folgt: Im ersten Schritt werden mit dem OW-Modell die Wasserspiegellagen sowie die Überflutungsflächen ohne Austausch mit dem Grundwasser berechnet.

Im zweiten Schritt werden diese Ergebnisse im GW-Modell als Randbedingungen verwendet und es werden Grundwasserspiegel und Austauschraten mit dem Oberflächenwasser berechnet. In der Regel werden Fließgewässer bei der GW-Modellierung als eindimensionales Strangnetz abgebildet, in dem mithilfe von Profilgeometrie und Durchfluss der Wasserspiegel berechnet wird, der für die Wechselwirkung mit dem GW von Bedeutung ist. Im gekoppelten GW-Modell hingegen, werden die Wasserspiegellagen im Untersuchungsgebiet nicht modellintern bestimmt, sondern aus der OW-Modellierung übernommen. Der Vorteil davon ist, dass auch im GW-Modell mit den hochdetaillierten Wasserständen aus der OW-Modellierung gerechnet wird und vor Allem dass nun auch die großflächigen Überflutungsflächen außerhalb der Gewässerprofile in die GW-Berechnung einfließen können und somit die Versickerung auf diesem Flächen berücksichtigt wird.

Im dritten Schritt werden die Austauschraten im OW-Modell als Senken (Versickerung) oder Quellen (Grundwasseraustritt) an jedem Modellknoten als Randbedingung berücksichtigt. Durch die Integration der Austauschraten aus der GW-Modellierung werden Veränderungen im oberirdischen Durchfluss durch Versickerung ins oder Austritt aus dem Grundwasser berücksichtigt. Bei ausreichend großem Austausch mit dem Grundwasser kann dies Auswirkungen auf den Wasserstand und damit die Überflutungsflächen haben.

Falls erforderlich werden der zweite und dritte Schritt nun solange im Wechsel wiederholt, bis sich die Ergebnisse gegenüber dem vorherigen Iterationsschritt nicht mehr ändern. In diesem Zustand ist der Austausch zwischen Grund- und Oberflächenwasser in beiden Modellen vollständig abgebildet und dessen Einfluss in den Ergebnissen enthalten.

5 Zusammenfassung

Zum Erhalt und zur Wiederherstellung autotypischer Wasserverhältnisse und -dynamiken des Oberflächen- und Grundwassers in der Burg- und Luppeaue

nordwestlich von Leipzig soll ein durchgängiges Fließgewässer, die Lebendige Luppe, geschaffen werden. Die Auswirkungen des zu schaffenden Gewässers auf die Grund- und Oberflächenwasserverhältnisse sollen mithilfe geeigneter Modelle simuliert und durch Variantenuntersuchungen optimiert werden. Da sich Grund- und Oberflächenwasserhaushalt durch Versickerung und Wasseraustritt aus dem Boden gegenseitig beeinflussen, können sie nicht getrennt voneinander betrachtet werden.

Mit Grundwassermodellen können Grundwasserstände und -strömungen und mithilfe von Oberflächenwasserrandbedingungen Austauschraten zwischen Grund- und Oberflächenwasser berechnet werden. Oberflächenwassermodelle dienen hingegen der Berechnung von oberirdischen Wasserständen und Überflutungsflächen unter Berücksichtigung sämtlicher strömungsrelevanter Faktoren.

Zur Simulation der Grund- und Oberflächenwasserverhältnisse unter Einbeziehung der gegenseitigen Beeinflussung wurden daher ein Grund- und ein Oberflächenwassermodell miteinander gekoppelt. In einem iterativen Prozess werden wechselseitig die Ergebnisse des einen Modells als Randbedingung in das andere Modell integriert. Am Ende dieses Prozesses ist der Austausch zwischen Grund- und Oberflächenwasser in beiden Modellen vollständig abgebildet und die Wechselwirkungen in den Ergebnissen enthalten.

6 Literatur

- bgmr Landschaftsarchitekten und Ecosystem Saxonia (2006/09): Wiederherstellung ehemaliger Wasserläufe der Luppe – Teil I / Teil II. Voruntersuchung / Machbarkeitsstudie, Leipzig, Dresden, September 2006 / Mai 2009.
- Institut für Wasserbau und Siedlungswasserwirtschaft GmbH und Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH (2015): Bundesprogramm Biologische Vielfalt „Lebendige Luppe“ – Gekoppeltes Grundwasser-Oberflächenwasser-Modell. Zwischenbericht, Leipzig, April 2015.
- Nujić, M. (2014): Hydro_AS-2D Benutzerhandbuch. Rosenheim, 2014.
- Sames, D. und Blankenburg, R. (2014): PCGEOFIM Anwenderdokumentation. Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH, Leipzig, 2014.

Als erstes sächsisches Projekt erhält die „Lebendige Luppe“ eine Förderung im Rahmen des Bundesprogramms Biologische Vielfalt, das durch das Bundesamt für Naturschutz mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit realisiert wird. Gefördert wird das Schlüsselprojekt des Grünen Rings Leipzig zudem durch den Naturschutzfonds der Sächsischen Landesstiftung Natur und Umwelt. Das Planungs- und Baumanagement des Projektteils Lebendige Luppe sowie die Projektleitung des Gesamtprojektes erfolgt durch die Stadt Leipzig – Amt für Stadtgrün und Gewässer, die gleichzeitig Auftraggeber der hier dargestellten Leistungen ist.

Weitere Informationen: <http://biologischevielfalt.de/bundesprogramm.html>,
www.lebendige-luppe.de,
www.gruenerring-leipzig.de,
www.leipzig.de

Autoren:

Dipl.-Ing. Felix Marlow
M.Sc. Dipl.-Ing. (FH) Tilo Sahlbach

Dipl.-Ing. Friedemann Brückner
Dr.-Ing. Holger Mansel

Institut für Wasserbau und Siedlungswasserwirtschaft (IWS) an der
Hochschule für Technik, Wirtschaft und
Kultur Leipzig
Karl-Liebknecht-Str. 132
04277 Leipzig

Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH
(IBGW)
Nonnenstr. 9
04229 Leipzig

Tel.: +49 341 3076 6278
Fax: +49 341 3076 6201
E-Mail: marlow@iws.htwk-leipzig.de
sahlbach@iws.htwk-leipzig.de

Tel.: +49 341 22561 15
Fax: +49 341 22561 29
E-Mail: f.brueckner@ibgw-leipzig.de
h.mansel@ibgw-leipzig.de

Dipl.-Ing. Jens Riedel

Stadt Leipzig
Amt für Stadtgrün und Gewässer
Prager Straße 118-136
04317 Leipzig

Tel.: +49 341 123 6179
Fax: +49 341 123 1613
E-Mail: jens.riedel@leipzig.de

Abdichtungssysteme und Sanierungslösungen für Wasserbauwerke

Abdichtung von Dehnfugen



Einfacher Einbau
der Profile



PROOFMATE® EK

Kastenprofil auf Basis vom EPDM

- Für Fugenabdichtung von 17-100 mm Bewegungsfugen
- Dreidimensionale Bewegungsaufnahme möglich
- Druckwasserdicht bis 1 bar
- Gute chemische und mechanische Beständigkeit

Talsperre Klingenberg

FIX-O-FLEX
Kleb- und Dichtmasse



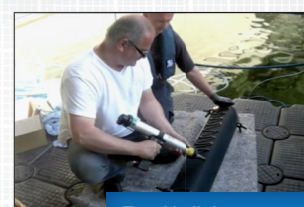
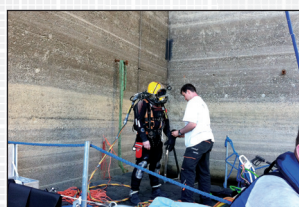
Sanierung von Dehnfugen



PROOFMATE® FD Folie
Abdichtungsfolie auf Basis von EPDM
(EPDM = Ethylen-Propylen-Dien-Monomer).
Stärke: 1,4 mm.



PROOFMATE® F
Flächenkleber



Zur Abdichtung von
Arbeits- und Dehnfugen
mit Bewegung

Verklebungen auch auf
nassen Untergründen,
sogar unter Wasser

Okertalsperre, Harz



Produktion und Vertrieb:

TPH Bausysteme GmbH
Nordportbogen 8
22848 Norderstedt

Tel. +49 (0) 40/52 90 66 78-0
Fax +49 (0) 40/52 90 66 78-78

info@tph-bausysteme.com
www.tph-bausysteme.com

Gestaltung von Lenkbuhnen zur Böschungssicherung am Ketzerbach (Instream River Training)

Gert Hammer
Rainer Miersch

Durch Instream River Training (IRT) kann die Strömung in einem Gewässer gesteuert werden, um maximale Abflusstiefen in der Hauptströmung und minimale Fließgeschwindigkeit an den Ufern zu erreichen. Damit soll eine ingenieurbio-logische Böschungssicherung ermöglicht werden. Besonders für Gewässerabschnitte mit Krümmungen und ausgeprägter Verlagerung der Strömung besitzt das IRT Bedeutung. Es werden die Grundlagen sowie die modelltechnischen Besonderheiten bei der Anwendung von numerischen hydraulischen Modellen zur Prognostizierung der Wirkungen von Lenkbuhnen als Verfahren des IRT dargestellt. Als praktisches Beispiel wird der Einsatz von Lenkbuhnen an einem Abschnitt des Ketzerbaches (Landkreis Meißen, Sachsen) veranschaulicht.

Stichworte: Instream River Training, Böschungssicherung, Lenkbuhnen, numerische hydraulische Modelle, Ketzerbach

1 Problematik und Grundlagen der Bemessung

Das Instream River Training (IRT) an Fließgewässern wird angewendet, um Strömungen zu erzeugen, die von der natürlichen Stromrichtung abweichen. Vor allem für kleine Fließgewässer besteht darin das Ziel, die Fließgeschwindigkeit und Stromrichtung in einer Weise zu steuern, dass unter Niedrigwasserbedingungen maximale Abflusstiefen und unter Hochwasserbedingungen an den Uferböschungen möglichst geringe Erosion auftreten. Somit kann die Durchgängigkeit von Gewässern in Niedrigwasserperioden gewährleistet und die Böschungssicherung mit natürlichen ingenieurbio-logischen Bauweisen durchgeführt werden. Besonders in Flusskrümmungen mit ausgeprägten Sekundärströmungen infolge von Zentrifugalkräften und dadurch auftretender Seitenerosion besitzt das IRT Bedeutung.

Das Verfahren kann mit unterschiedlichen Methoden ausgeführt werden. In den USA wurden Untersuchungen mit Leitelementen (Submerged Vanes; *Odgaard, 2009*) vorgenommen. Leitelemente bestehen aus langgestreckten Körpern in Fließgewässern, die in einem bestimmten Winkel zur Strömungsrichtung ange-

ordnet sind. Durch die Anordnung kann die Verteilung der Fließgeschwindigkeit sowie die Sedimentbewegung gesteuert werden (Abbildung 1).

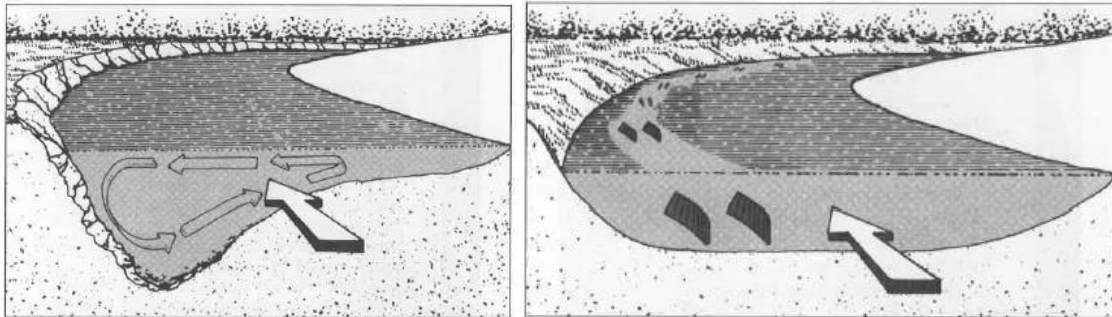


Abbildung 1: Natürliche Strömung in Flusskrümmungen mit Sekundärströmung (links) und Reduzierung der Sekundärströmung durch Leitelemente (rechts) (Odgaard, 2009)

In Europa wurden ebenfalls Untersuchungen mit Leitelementen durchgeführt (van Zwol, 2004). Größere Bedeutung hat allerdings die Anwendung von Buhnen. Im Gegensatz zu Leitelementen werden Buhnen quer zur Strömungsrichtung von der Uferböschung in Richtung der Gewässermittle angeordnet. Bei Buhnen wird zwischen umströmten Buhnen und Lenkbuhnen unterschieden. Der Hauptabfluss bei umströmten Buhnen erfolgt auf der gegenüberliegenden Seite. Zwischen den Buhnen bildet sich Zirkulation heraus, wie in Abbildung 2 gezeigt wird.

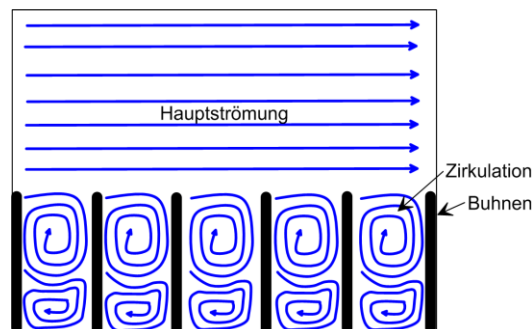


Abbildung 2: Fließverhältnisse bei umströmten Buhnen (Wurms, 2004)

Umströmte Buhnen sind, wie auch Leitelemente, Bauwerke im Flussprofil, die höher liegen als der Wasserstand während Hochwasserperioden. Besonders bei naturnahen Gewässern können diese Anlagen die Ästhetik eines Gewässers erheblich stören. Eine elegantere Lösung des IRT ist deshalb die Anwendung von Lenkbuhnen (Sindelar & Mende, 2009). Lenkbuhnen sind Bauwerke im Flussprofil, welche quer zur Fließrichtung errichtet und bereits unter Niedrigwasserbedingungen überströmt werden. Sie befinden sich demzufolge die meiste Zeit unter dem Wasserspiegel und werden optisch nicht wahrgenommen. Wegen diesem Vorteil sollen sie den Schwerpunkt der Betrachtungen bilden. Die Wirkungsweise von Lenkbuhnen ist in Abbildung 3 veranschaulicht.

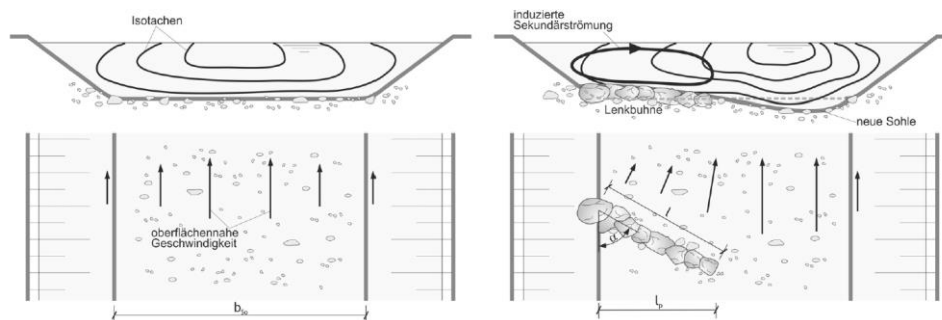


Abbildung 3: Schematische Isotachendarstellung eines geraden Gewässerabschnittes ohne (links) und mit inklinant angeordneter Lenkbuhne (rechts) (Sindelar & Mende, 2009)

Lenkbuhnen werden in einem bestimmten Winkel zur Fließrichtung errichtet. Da die Buhnenkrone unter dem Wasserstand bei Niedrigwasserabfluss liegt, haben sie hydraulisch die Wirkung von Sohlgleiten. Sohlgleiten werden immer senkrecht überströmt, sodass durch die Lage der Achse der Buhnen die Fließrichtung beeinflusst werden kann. Besonders in Gewässerkrümmungen kann durch Lenkbuhnen mit inklinanter Anordnung (Anstellwinkel $< 90^\circ$) der nach außen gerichteten Sekundärströmung entgegengewirkt und damit die Bildung von Ablagerungen am Gleithang sowie die Erosion am Prallhang eingeschränkt werden.

Damit eignet sich die Anwendung dieser Methode besonders für Abschnitte, in denen der Raum zur eigendynamischen Entwicklung des Gewässers begrenzt ist. Wenn innerhalb dieser Flussabschnitte erosionsgefährdende Böschungen auftreten, kann durch die Anwendung von Lenkbuhnen in vielen Fällen der naturferne Ausbau mit Wasserbausteinen vermieden werden. Durch minimale Eingriffe in Fließgewässern können mit dem Verfahren bedeutende positive Auswirkungen erzielt werden. Leider wird es in Deutschland bisher sehr wenig eingesetzt. Eine wesentliche Ursache dafür resultiert aus der Tatsache, dass bislang keine Grundsätze zur Planung vorlagen. Um diese Situation zu ändern, entwickelte Mende (2014) erste Bemessungsansätze. Er führte dazu Versuche in einem Laborgerinne sowie an einem natürlichen Gerinne in Baden-Württemberg durch. Als Ergebnis wurde festgestellt, dass die Wirkung von Lenkbuhnen besonders von folgenden Gestaltungsmerkmalen bestimmt wird (Abbildung 4):

- relative Länge,
- Abstand bzw. relativer Abstand (Buhnenabstand/relative Länge),
- Winkel zwischen Uferlinie und Buhne.

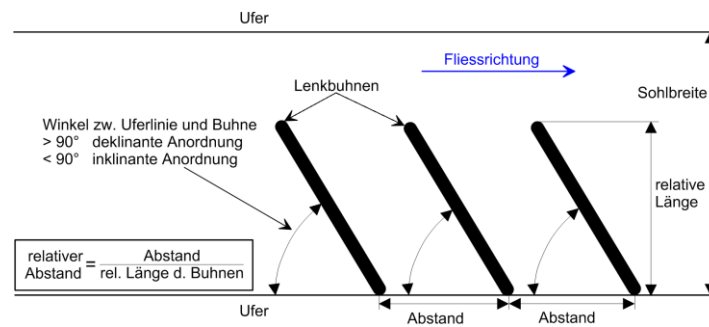


Abbildung 4: Gestaltungsmerkmale von Lenkbuhnen

Weitere Resultate der Untersuchungen waren, dass die größte Wirkung erzielt wird, wenn die Einbaulänge der Buhnen ca. 2/3 der Gewässerbreite entspricht. Bei Erosionsprozessen am gegenüberliegenden Ufer muss die Einbaulänge auf 1/2 der Gewässerbreite reduziert werden (*Werdenberg et al., 2012*).

Als relative Abstände (=Abstand/relative Länge) empfiehlt *Mende (2014)* einen Wert von 6. In Flusskrümmungen sollte der Abstand jedoch kleiner gewählt werden, da durch die Sekundärströmung eine erhöhte Verlagerung der Hauptströmung auftrat. Hier werden von *Werdenberg et al. (2012)* Abstände von 0,8 bis 1 Sohlbreiten in engen Flusskrümmungen (Radius < 3 x Sohlbreite) und Abstände von 1,8 bis 2 Sohlbreiten in weiten Flusskrümmungen (Radius > 8 x Sohlbreite) vorgegeben.

Zur Lage der Lenkbuhnen stellte *Mende (2014)* fest, dass bei Winkeln zwischen Uferlinie und Buhnen von 30° bis 60° die größte Verlagerung der Strömung erreicht wird. Da die absolute Länge der Buhnen in Fließgewässern bei kleinen Winkeln deutlich grösser ist, sollte auf einen Winkel von 60° orientiert werden. Nur in starken Gewässerkrümmungen sollten die Buhnen mit kleineren Winkeln angelegt werden.



Abbildung 5: Sedimentablagerungen (*Mende, 2013*)

Ein weiteres Ergebnis der von *Mende (2014)* durchgeführten Messungen war, dass die Strömungsgeschwindigkeit am Buhnenkopf das Maximum erreicht und in Richtung Buhnenwurzel geringer wird. Damit wird an der Buhnenwurzel Sediment abgelagert, während die Buhnenköpfe ohne Ablagerungen bleiben.

Letztlich haben *Mende & Koll* (2006) festgestellt, dass niedrige Lenkbuhnen mit einem Verhältnis von 1:10 von Bauhöhe zu Wassertiefe die gleiche Wirkung auf die Strömungslenkung wie höhere Lenkbuhnen mit einem Verhältnis von 1:8 haben. Somit besitzt die Höhe der Lenkbuhnen nur eine untergeordnete Bedeutung.

2 Besonderheiten bei der Nachbildung von Lenkbuhnen durch numerische hydraulische Modelle

Während *Odgaard* (2009), *Werdenberg et al.* (2012) und *Mende* (2014) Bemessungsgrundsätze für Lenkbuhnen mit Hilfe von Ergebnissen aus experimentellen Untersuchungen ableiteten, führten *Hassinger* (1991) und *Wurms* (2004) die Parametrisierung von Buhnen mit physikalischen bzw. numerischen hydraulischen Modellen durch. Durch numerische hydraulische Berechnung wird die Strömung 2- oder 3-dimensional mit Hilfe der Kontinuums- und Impulsgleichungen veranschaulicht. Die Modellrechnungen werden auf der Grundlage eines Netzes zur Widerspiegelung der Flussbettmorphologie nachvollzogen, wobei für jeden Knoten die Strömungsverhältnisse und Wasserspiegellagen ermittelt werden.

Wurms (2004) wendete zur Modellierung das Programm TELEMAC-2D (*Hervouet*, 2007) sowie zur Nachbildung von 3-dimensionalen Erscheinungen beim Überströmen von Buhnen das Programm UnTRIM (*Casuli & Lang*, 2002) an. Das wesentliche Ergebnis dieser Modellrechnung war, dass die Steuerung der Strömung neben der Lage der Buhnen entscheidend durch die innere Reibung und damit verbundenen Zirkulation bestimmt wird. Zunächst entsteht eine horizontale Zirkulation zwischen Buhnenfeld und Hauptströmung (Abbildung 2). Weiterhin entsteht eine vertikale Zirkulation durch unterschiedliche Strömungsgeschwindigkeiten beim Überströmen der Buhnen (Abbildung 6).

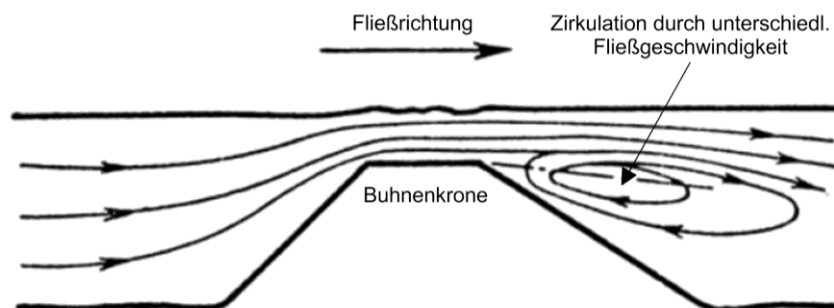


Abbildung 6: Vertikale Zirkulation im Bereich einer Lenkbuhne (*Wurms*, 2004)

Bei geringer Überströmungshöhe können sogar Ablösevorgänge und Fließwechsel vorkommen. In jedem Fall tritt wegen der Änderung der Fließgeschwindig-

keit ein Energieverlust auf. Aufgrund der horizontalen und vertikalen Zirkulation kann die Strömung über Lenkbuhnen normalerweise nur mit Modellen wiedergespiegelt werden, welche die Wasserbewegung 3-dimensional erfassen. Bei praktischen Anwendungen können 3-dimensionale Modelle nur im begrenzten Umfang eingesetzt werden, da nicht vertretbare Rechenzeiten entstehen. Durch die Verwendung von 2-dimensionalen Modellen wird die Rechenzeit wesentlich reduziert. Allerdings wird bei diesen Modellen die Strömungsverteilung tiefen gemittelt angenommen, sodass die vertikale Zirkulation nicht nachvollzogen werden kann. Um die Auswirkungen von Lenkbuhnen unter praktischen Verhältnissen mit Hilfe von numerischen hydraulischen Modellen prognostizieren zu können, führte *Wurms* (2004) zunächst Modellrechnungen unter Berücksichtigung des 3-dimensionalen Strömungsverhaltens mit dem Programm UnTRIM durch. Die Ergebnisse wurden zur Validierung von Modellrechnungen zur Nachbildung der Strömung auf 2-dimensionaler Ebene durch Anwendung des Programmes TELEMAC-2D angewendet. Erwartungsgemäß stellte *Wurms* (2004) fest, dass die größten Differenzen zwischen den Ergebnissen der 2- und 3-dimensionalen Modellierungsrechnungen an Bereichen über und unmittelbar hinter den Buhnen entstehen. Hier traten durch die abweichende Widerspiegelung der Strömung unterschiedliche Wasserspiegellagen und Druckverhältnisse auf. Diese Unterschiede konnten durch Erhöhung der Rauigkeiten in diesen Bereichen bei der Durchführung der 2-dimensionalen Modellierung ausgeglichen werden. Außerdem war hier eine Verfeinerung des Netzes notwendig, da durch lokale Rauigkeitsunterschiede numerische Diffusion bei Modellrechnungen auftraten, welche durch Netzverfeinerung ausgeglichen werden konnte.

Allgemein wurde festgestellt, dass zur 2-dimensionalen Nachbildung der Strömung über Lenkbuhnen das Programm TELEMAC-2D besonders geeignet ist, da es Möglichkeiten besitzt, auftretende numerische Schwankungen stark zu reduzieren. Gleichzeitig werden Randbedingungen realistisch wiedergespiegelt. Mit dem Programm konnte *Wurms* (2004) nach entsprechender Parametrisierung (Rauigkeitsänderung - Netzverfeinerung) die Verteilung der Fließgeschwindigkeiten sowie Wasserspiegellagen auf dem durch Buhnen beeinflussten Abschnitt der Donau zwischen Straubing und Vilshofen nachvollziehen.

3 Beispiel-Anwendung von Lenkbuhnen zur Ufersicherung am Ketzerbach bei Lommatzsch

Im Auftrag des Landesamtes für Straßenbau und Verkehr, NL Meißen sollen die Reste des zerstörten Wehres im Ketzerbach zwischen Mertitz und Zöblitz südlich von Lommatzsch zurückgebaut werden (Abbildung 7). Ebenfalls ist vorge-

sehen, die Sohle und Böschungen zu profilieren, sodass Erosion verhindert und gleichzeitig die Durchgängigkeit des Fließgewässers wiederhergestellt wird.

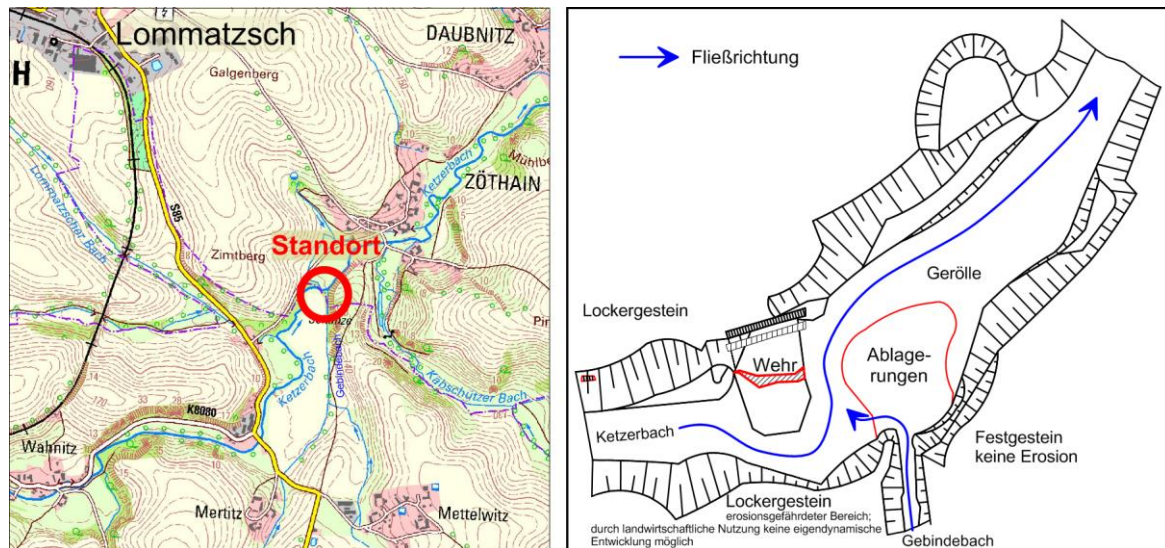


Abbildung 7: Modellgebiet am Ketzerbach

Der in Abbildung 7 dargestellte Abschnitt befindet sich in einer Krümmung des Ketzerbaches mit rechtsseitigem Zufluss des Gebindebaches. Hier beträgt das mittlere Fließgefälle 1.5 % bei einer mittleren Sohlbreite von 8 m. Rechtsseitig vor Mündung des Gebindebaches hat sich allerdings eine Aufweitung herausgebildet, welche durch Umströmung des zerstörten Wehres entstand.

Das Flussbett dieses Abschnittes des Ketzerbaches wird bis in größere Tiefen durch Fein- und Mittelsande gebildet, welche mit Geröllen durchsetzt sind. Unmittelbar auf der Sohle sind Gerölle von 10 cm bis 30 cm abgelagert.

Da sich der Flussabschnitt im Übergangsbereich von Festgestein (Biogranit) im Nordosten und Auesedimenten im Südwesten befindet, sind trotz des relativ großen Gefälles sowie der Krümmung nur an der rechtsseitigen Uferseite bis zur Mündung des Gebindebaches Abtragungen zu erwarten. Da in der unmittelbaren Nachbarschaft landwirtschaftliche Nutzung erfolgt, müssen weitere Abtragungen unbedingt vermieden werden, um Nutzungseinschränkungen zu verhindern.

Neben der erosiven Wirkung des Abflusses während Hochwasserperioden stellen die Ablagerungen von Sedimenten ein weiteres Problem für das Flussprofil des Ketzerbaches dar. Während Hochwasserperioden ist sowohl der Ketzerbach als auch der Gebindebach stark mit Sedimenten belastet, die in Bereichen mit geringen Fließgeschwindigkeiten und Schleppspannungen abgelagert werden. Derzeit sind größere Ablagerungen im Ketzerbach an der Mündung des Gebindebaches vorhanden (Abbildung 7). Weitere Bereiche, wo Ablagerungen auftreten, befinden sich im Flussabschnitt linksseitig am Gleithang.

Zum Nachweis der Erosionssicherheit der Uferbereiche nach Umbau der Fließstrecke wurden numerische hydraulische Berechnungen mit dem Programm TELEMAC-2D durchgeführt. Die Anwendung des Programmes setzt ein Modellnetz aus unregelmäßigen Elementen zur Nachbildung der Flussbettmorphologie voraus. Dieses Netz kann qualitätsgerecht mit dem Programm TRIANGLE (Shewchuk, 1996) erstellt werden, welches in das GIS QGIS integriert ist.

Zunächst erfolgte die Nachbildung des Ist-Zustandes mit dem Abfluss von $0,72 \text{ m}^3/\text{s}$ vom 13.01.2015. Weiterhin wurde die Variante ohne Buhnen nach Rückbau des Wehres bei einem Hochwasserabfluss des Ketzerbaches von $17,2 \text{ m}^3/\text{s}$ und Rauigkeiten (Manningwerten) von $0,035 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ für die Gewässer-sole und $0,03 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ für die Uferböschungen betrachtet (Abbildung 8 links).

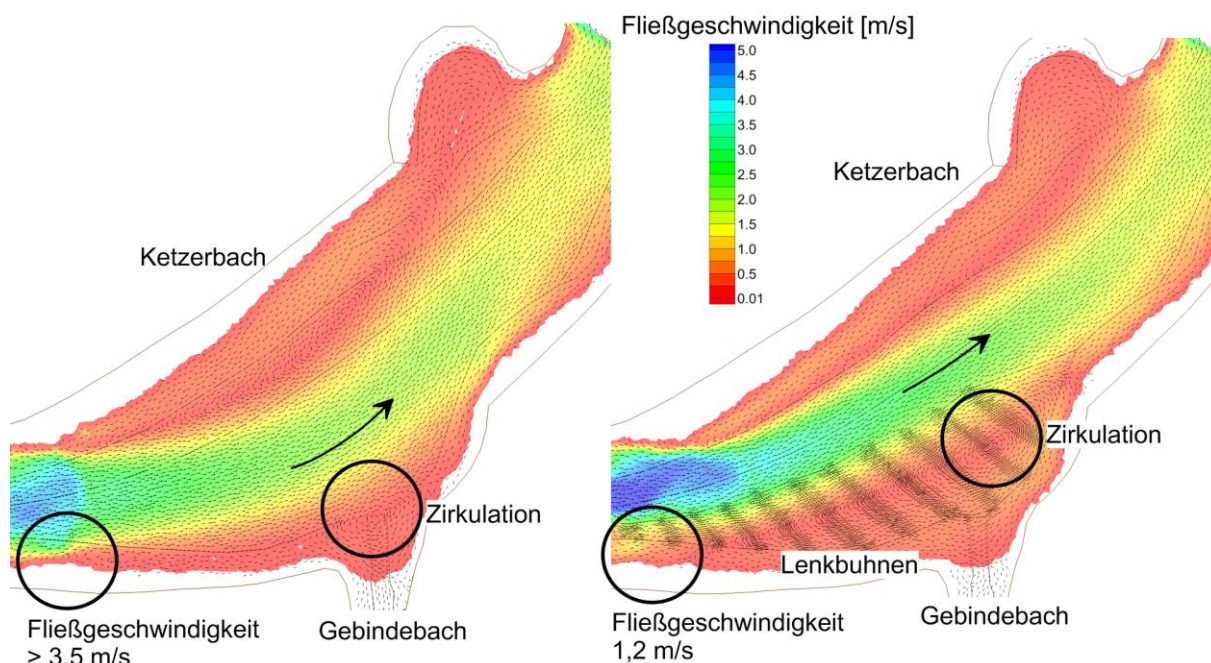


Abbildung 8: Fließgeschwindigkeiten ohne (links) und mit Buhnen (rechts)

Das Ergebnis (Abbildung 8 links) verdeutlicht, dass an der rechtsseitigen Uferböschung Fließgeschwindigkeiten über $3,5 \text{ m/s}$ auftreten. Somit sind entsprechend den Kriterien in *Stowasser* (2011) während Hochwasserperioden starke hydraulische Belastungen an der rechten Uferböschung zu erwarten, die einen naturfernen Ausbau mit Wasserbausteinen erfordern. Ein weiteres Problem stellt die zirkulierende Wasserbewegung im Ketzerbach unmittelbar im Mündungsbereich des Gebindebaches dar. Hier werden während Hochwasserperioden Sedimente abgelagert, da infolge der Abflussbehinderung die Schleppkraft des Gebindebaches stark verringert wird.

Zur Minimierung dieser Probleme wurden weitere Modellrechnungen unter Hochwasserbedingungen mit Lenkbuhnen an der Prallhangseite durchgeführt.

Von den durchgeführten Untersuchungen ist die strömungstechnisch optimale Variante in Abbildung 8 (rechts) dargestellt. Diese Variante wurde mit Lenkbuhnen im Winkel von 60° (inklinante Anordnung) und mit 3 m Bühnenabstand durchgeführt. Die Länge der Bühnen ist variabel, um eine Breite der Hauptströmung von ca. 5 m zu erreichen. Als Bühnenhöhe sind 0,1 m ausreichend. Somit sind auch bei Niedrigwasser die Bühnenkronen überströmt.

Durch die Berechnungen konnte nachgewiesen werden, dass sich durch den Einbau von Lenkbuhnen die Fließgeschwindigkeit im rechtsseitigen Uferbereich auf 1,2 m/s reduzieren lässt und damit ein ingenieurbiologischer Ausbau möglich ist. Weiterhin wird aus Abbildung 8 (rechts) deutlich, dass eine Verlagerung der Zirkulation im Ketzerbach an der Mündung des Gebindebaches in nordöstliche Richtung erfolgt und somit eine deutliche Verringerung der Sedimentation nach Hochwasserabfluss durch den Gebindebach zu erwarten ist.

Weiterhin ergaben Modellrechnungen für diese Variante unter Niedrigwasserbedingungen geringste Wassertiefen von 5 cm bis 7 cm, sodass unter diesen Bedingungen die Durchgängigkeit gewährleistet ist.

Ebenfalls war mit den Modellergebnissen die Bemessung der Lenkbuhnen möglich. Entsprechend *LfU* (2000) und *Mende* (2014) lässt sich die Steingröße zur Befestigung von Sohle und Bühnen entsprechend Strömungs- bzw. Hangabtriebskraft und Haftreibung ermitteln. Da im Bereich der Bühnen mit Auskolkungen zu rechnen ist, müssen die Lenkbuhnen mehrreihig im Blocksteinaufbau errichtet werden. Weiterhin ist an den Bühnenköpfen wegen unterschiedlicher Fließgeschwindigkeiten Zirkulation zu erwarten, sodass hier ein besonderer Schutz mit Stützsteinen erforderlich ist. Wesentlich für die Standsicherheit von Lenkbuhnen und Böschung ist die Anbindung an das Ufer zur Vermeidung von Hinterspülungen.

4 Literatur

- Casuli, V.; Lang, G. (2002): „Mathematical Model UnTRIM, Validation Document“, Trento University, Italy/BAW Hamburg.
- Hassinger, R. (1991): „Beitrag zur Hydraulik und Bemessung von Blocksteinrampen in flexibler Bauweise“, In: Mitteilungen Heft 74, Institut f. Wasserbau, Universität Stuttgart, Eigenverlag des Instituts f. Wasserbau der Universität Stuttgart, 1991.
- Hervouet, J.-M. (2007): „Hydrodynamics of Free Surface Flows – modelling with the finite element method“, Electricité de France (EDF), France; John Wiley & Sons Ltd, ISBN 978-0-470-03558-0.
- Mende, M. (2014): „Naturnaher Uferschutz mit Lenkbuhnen – Grundlagen, Analytik und Bemessung“, Dissertation, TU Braunschweig, 2014.

- LfU (2000): „Anlagen zur Herstellung der Durchgängigkeit von Fließgewässern – Raue Rampen und Verbindungsgewässer“, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Oberirdische Gewässer, Gewässerökologie 63, Karlsruhe.
- Mende, M. (2013): „Instream River Training: Naturnaher Flussbau mit minimalem Materialeinsatz“, GFG mbH – 17. Betreuertagung, Wiesbaden-Naurod, 19./20.07.2013.
- Mende, M.; Koll, K. (2006): „Wissensch. Beratung u. Begleitung innov. Sicherungs- u. Strukturmaßnahmen an Gewässern 1. Ordnung (haupts. Wiese in Lörrach), LWI-Bericht Nr. 932, Leichtweiß-Institut f. Wasserbau, TU Braunschweig.
- Odgaard, A. J. (2009): „River Training and Sediment Management with Submerged Vanes“, American Society of Civil Engineers, ASCE Press, ISBN 978-0-7844-0981-7, 2009.
- Shewchuk, J. R. (1996): „TRIANGLE – A Two-Dimensional Quality Mesh Generator and Delaunay Triangulator“, Programmhilfe, Version 1.3.
- Sindelar, C.; Mende, M. (2009): „Lenkbuhnen zur Strukturierung und Stabilisierung von Fließgewässern“, In: WasserWirtschaft 1-2/2009, S. 70 – 75, Vieweg + Teubner Verlag, Wiesbaden, 2009.
- Stowasser, A. (2011): „Potenziale u. Optimierungsmöglichkeiten bei der Auswahl und Anwendung ingenieurbiolog. Bauweisen im Wasserbau“, Institut f. Umweltplanung, Leibnitz Universität Hannover, Schriftenreihe Umwelt u. Raum, Bd. 5, ISBN 978-3-86955-795-3.
- van Zwol, J. A. (2004): „Design aspects of submerged vanes“, M. Sc. Thesis, Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Section of Hydraulic Engineering, Delft 2004.
- Werdenberg, N.; Meile, T.; Steiner, R. (2012): „Erfahrung mit Lenkbuhnen bei Hochwasserschutz und Renaturierung – Instream River Training am Voralpenfluss Taverna, Gemeinschafts-Symposium der Wasserbau-Institute TU München, TU Graz und ETH Zürich vom 12.-15.09.2012 in Graz, Steiermark, S. 533 – 540.
- Wurms, S. (2004): „Parametrisierung von Buhnen in 2D-HN-Modellen anhand numerischer Modellrechnungen und Naturdaten der Donau“, Diplomarbeit, Institut f. Wasserbau, Lehrstuhl f. Hydromechanik u. Hydrosystemmodellierung, Universität Stuttgart 2004.

Autoren:

Diplom-Hydrologe, Fachhydrologe für
Grundwasser Gert Hammer

Rainer Miersch

Büro f. Hydrologie und Bodenkunde
Gert Hammer
Beethovenstraße 3
01465 Dresden OT Langebrück

Landesamt f. Straßenbau und Verkehr
NL Meißen
Ref. 24, Umweltschutz
Heinrich-Heine-Straße 23c
01662 Meißen

Tel.: +49 35201 71065
Fax: +49 35201 71085
E-Mail: hydrologie@t-online.de

Tel.: +49 3521 7189-1233
Fax: +49 3521 7189-1999
E-Mail: rainer.miersch@lasuv.sachen.de

Berechnung des Transportes von Treibgut bei Hochwasser

Bernhard Peters
Gabriele Pozzetti
Yu Liao

Hochwasser, hervorgerufen durch natürliche Ursachen wie Schneeschmelze oder durch bauliche Maßnahmen wie Flussbegradigung, verursacht häufig eine Flutkatastrophe mit verheerenden Überschwemmungen. Zu den schon katastrophalen Folgen von Hochwasser addieren sich häufig noch die Schäden von gefährlichem Treibgut, das mit den Fluten mitgerissen wird und unter Umständen über weite Strecken transportiert wird. Mitgerissenes Treibgut kann zur Verklausung von Brücken führen oder auch Bauwerke zerstören. Um die Folgen eines Hochwassers einschließlich Transport von Treibgut abschätzen zu können, sind numerische Werkzeuge eine adäquate Ergänzung zu experimentellen Methoden, die oft mit einem sehr hohen Aufwand verbunden sind.

Deshalb wird im vorliegenden Beitrag ein neuer und innovativer numerischer Ansatz vorgestellt, der den Transport von Treibgut bei Hochwasser aber auch bei Normalwasser beschreibt. Dazu werden die beiden numerischen Methoden beruhend auf einem diskreten und kontinuierlichen Ansatz gekoppelt. Letzterer beinhaltet die Euler Methoden, mit denen die Strömung des Wassers im Rahmen von bewährten Rechenmethoden der Computational Fluid Dynamik (CFD) bestimmt wird. Treibgut wird diskret betrachtet, in dem es mit der Diskreten Element Methode (DEM) beschrieben wird. Damit kann sowohl jedes einzelne Element des Treibgutes berücksichtigt werden als auch seine Eigenschaften wie Größe, Form und Gewicht. Innerhalb dieses Ansatzes kann der Kontakt zwischen den einzelnen Elementen des Treibgutes berechnet werden, der Geschwindigkeit, Position und Orientierung des Treibgutes bestimmt. Zusätzlich wird über eine Kopplung zur fluiden Phase der Einfluss sowohl der Wassergeschwindigkeit als des Auftriebs mit berücksichtigt.

Stichworte: Extended Discrete Element Method (XDEM), numerische Simulation, Treibguttransport

1 Einleitung

Der Transport von Treibgut bei Hochwasser ist eine durch Schwerkraft dominierte Bewegung, wobei allerdings der Wasseranteil weit grösser ist als bei Muren. Murgänge sind eine Mischung aus Sand, Schlamm, Ton, Kies, Geröll, Was-

ser und anderen Substanzen, die sich unter dem Einfluss der Schwerkraft bewegen. In der Regel kosten sowohl Hochwasser mit Treibgut und Muren zahlreiche Menschenleben und verursachen enorme Schäden, wobei die Zerstörungskraft von Muren meistens grösser als die von Überschwemmungen ist. Entscheidend für den Grad der Zerstörung von Muren ist die Wechselwirkung der Feststoffe untereinander und Wasser. Deshalb ist es von entscheidender Bedeutung die Wechselwirkung zwischen Wasser und den Feststoffen zu verstehen, um die Wirkung zu erfassen und aber auch die mechanische Festigkeit von Schutzmaßnahmen zu bestimmen.

Experimentelle Untersuchungen sind nur schwierig durchführbar, da die Installation von Messgeräten sehr schwierig ist, auch wegen ihrer mechanischen Festigkeit. Trotzdem sind experimentelle Messdaten verfügbar von *Hu et al.* (2011), *Zhang* (1993), *Iverson* (1997), *Major* (1996), und *Iverson et al.* (2010), die allerdings skaliert werden müssen, um auf reale Ereignisse übertragen werden zu können.

2 Numerische Methode

Der Transport von Treibgut wird über einen hybriden Ansatz beschrieben, für den diskrete mit kontinuierlichen Methoden gekoppelt werden. Zu diesem Zweck wird die Bewegung von Treibgut mit der Discrete Element Method (DEM) beschrieben, während die umgebende Fluidphase bestehend aus Wasser und Luft mit den klassischen Methoden der Computational Fluid Dynamics (CFD) als Zweiphasenströmung beschrieben wird wie bei *Tryggvason et al.* (2011). Mit dem diskreten Ansatz für feste Objekte im allgemeinen werden ihre Bewegungsbahnen im Sinne der Newtonschen Mechanik berechnet. Kräfte, die zwischen Wasser und Treibgut wechselwirken, beinhalten im wesentlichen Auftrieb, Widerstandskräfte, Kontaktkräfte zwischen dem Treibgut und Bauwerken. Dies führt zu einem Austausch von Impuls zwischen der fluiden Phase und dem Treibgut, wobei entsprechende Terme sowohl für die Objekte des Treibguts als auch für die Impulsgleichung des Fluides berücksichtigt werden.

3 Ergebnisse

Mit dem oben beschriebenen hybriden Ansatz wurde in einem ersten Schritt die Bewegung von kugelförmigem Treibgut berechnet, um den hybriden Ansatz an einfachen Geometrien zu verifizieren. Im weiteren Verlauf des Projektes werden reale Geometrien für Treibgut betrachtet, die über ein Oberflächengitter wie beispielsweise im STL-Format dargestellt werden. Dementsprechend wurde für ers-

te Rechnungen 3 Partikelagglomerationen mit verschiedener Dichte wie in Abbildung 1 dargestellt. Dabei wurde dem rechten Agglomerat eine Dichte leichter als Wasser zugewiesen, so dass diese Partikel ähnlich dem Treibgut auf Wasser aufschwimmen und an der Wasseroberfläche transportiert werden. Die mittlere Partikelfraktion ist schwerer als Wasser und setzt sich als Sediment am Grund ab und wird entsprechend der Wechselwirkung mit der Grundwasserströmung transportiert. Die rechte Fraktion enthält Partikel die sowohl schwerer als auch leichter als Wasser sind, so dass ein Teil absinken wird während die verbleibenden Partikel auf der Wasseroberfläche aufschwimmen.

Um dem Wasser eine ähnlich hohe Dynamik wie bei Überschwemmungen zu geben, wurde ein Dammbbruch simuliert, der augenblicklich die hinter dem Damm zurückgehaltene Wassermenge freisetzt (Abbildung 1).

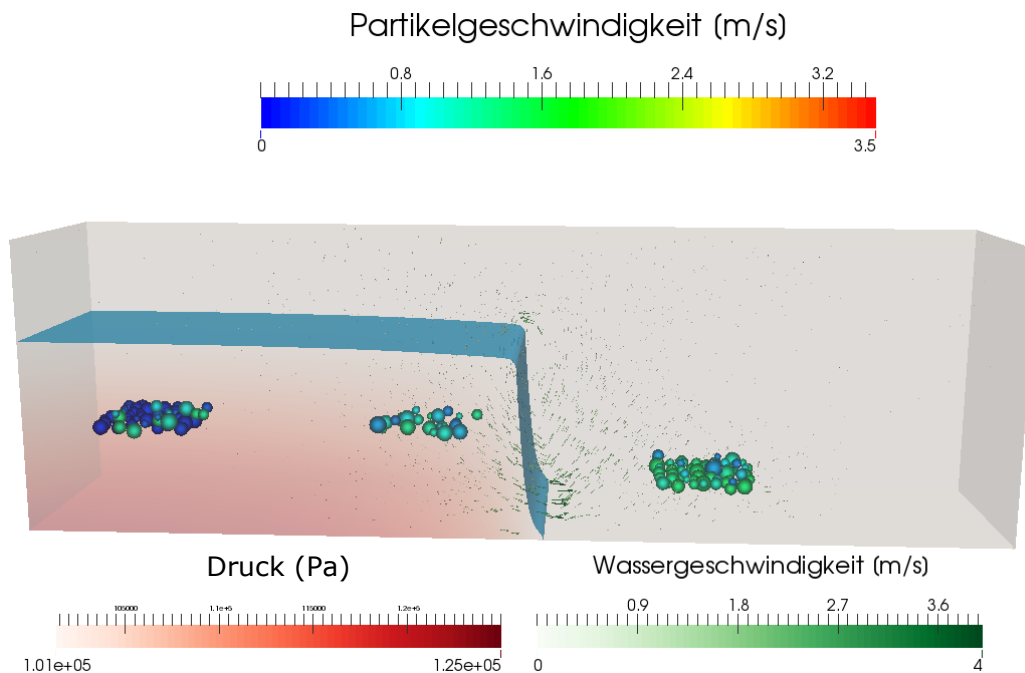


Abbildung 1: Ausgangskonfiguration mit drei verschiedenen Partikelagglomerationen, wobei die rechte Partikelfraktion leichter als Wasser ist und die Dichte der beiden verbleibenden Fraktionen größer als die von Wasser ist. Durch einen simulierten Dammbbruch wird die hinter dem Damm aufgestaute Wassermenge augenblicklich freigesetzt.

Die Bewegung des Wassers wird durch die Position der freien Oberfläche und die Vektoren der Wassergeschwindigkeit charakterisiert, wohingegen die Bewegung der Luft nur durch Geschwindigkeitsvektoren repräsentiert wird wie es in Abbildung 2 gezeigt ist. Erwartungsgemäß ergeben sich an der Front des herabstürzenden Wassers die größten Geschwindigkeiten mit Werten bis zu 4 m/s. Die rechte und leichte Partikelfraktion wird von der Frontwelle komplett erfasst

und erfährt dadurch eine starke Wechselwirkung mit der Strömung. Zunächst werden die Partikel von der Strömung erfasst und auf Geschwindigkeiten bis zu 3.5 m/s beschleunigt. Dabei tritt eine starke Wechselwirkung der Partikel untereinander, hervorgerufen durch Kontaktkräfte, auf, die die Bewegung und damit die Trajektorien der Partikel bestimmt. Da die mittlere und linke Partikelfraktion teilweise schwerer als Wasser ist, sinken die Partikel zunächst unter Einfluss der Schwerkraft auf den Grund ab, während die leichteren Partikel aufgrund des Auftriebs an die Wasseroberfläche aufsteigen. Im hinteren Bereich des Wassers treten zu diesem Zeitpunkt noch vernachlässigbare Wassergeschwindigkeiten auf, so dass die Partikel hauptsächlich unter dem Einfluss von Schwerkraft und Auftrieb stehen und die horizontalen Geschwindigkeitskomponenten vernachlässigbar sind.

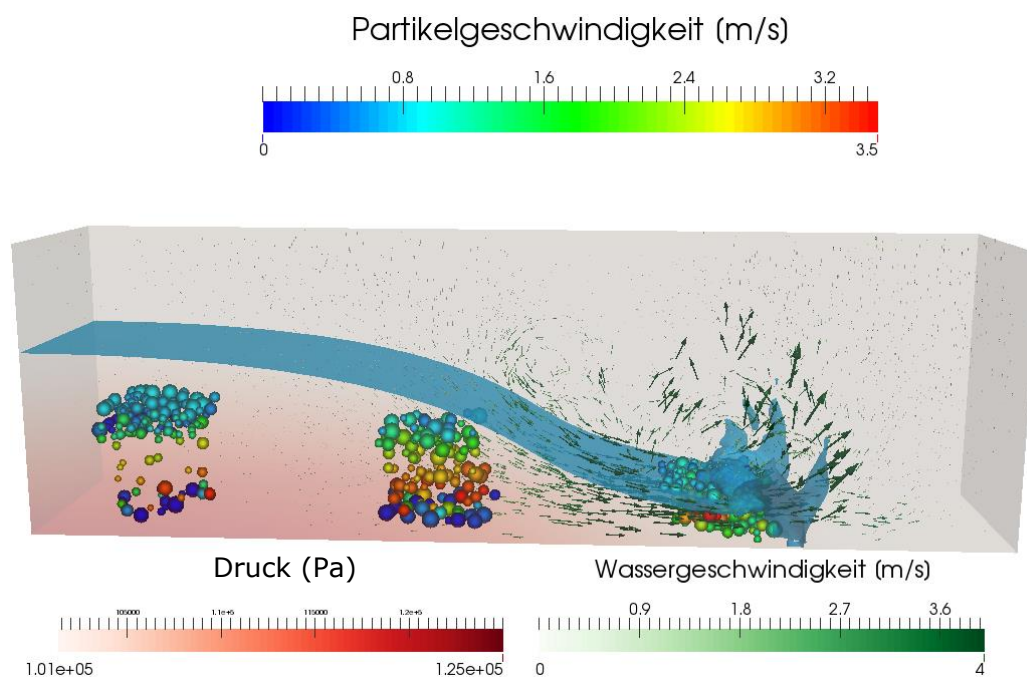


Abbildung 2: Darstellung der Strömungsverhältnisse für Wasser und Luft zusammen mit den Partikelgeschwindigkeiten zum Zeitpunkt 0.65 s. Während die vordere Partikelfraktion durch das herabstürzende Wasser auf Geschwindigkeiten bis zu 3.5 m/s beschleunigt wird, sinken die hinteren Partikelfraktionen unter dem Einfluss der Schwerkraft und vernachlässigbarer Wassergeschwindigkeiten auf den Grund.

Die folgende Abbildung 3 zeigt den Aufprall der Frontwelle auf die gegenüberliegende Wand, wobei eine starke Wechselwirkung zwischen Wand, Wasser und Partikeln auftritt, die als 4-Weg-Kopplung folgende Wechselwirkungen enthält:

1. Partikel-Partikel
2. Partikel-Wand

3. Partikel-Wasser

4. Wasser-Partikel (Wand)

und sowohl die Strömung des Wassers als auch die Bewegung der Partikel beeinflusst. Für die hinteren Partikelfractionen ist immer noch die Schwerkraft die dominierende Kraft, so dass sie weiterhin auf den Grund sinken. Nur die mittlere Partikelfraktion zeigt bereits eine Wechselwirkung mit dem Wasser, so dass bereits auf den Grund abgesunkene Partikel teilweise mit der Strömung mitbewegt werden und Sedimenttransport repräsentiert.

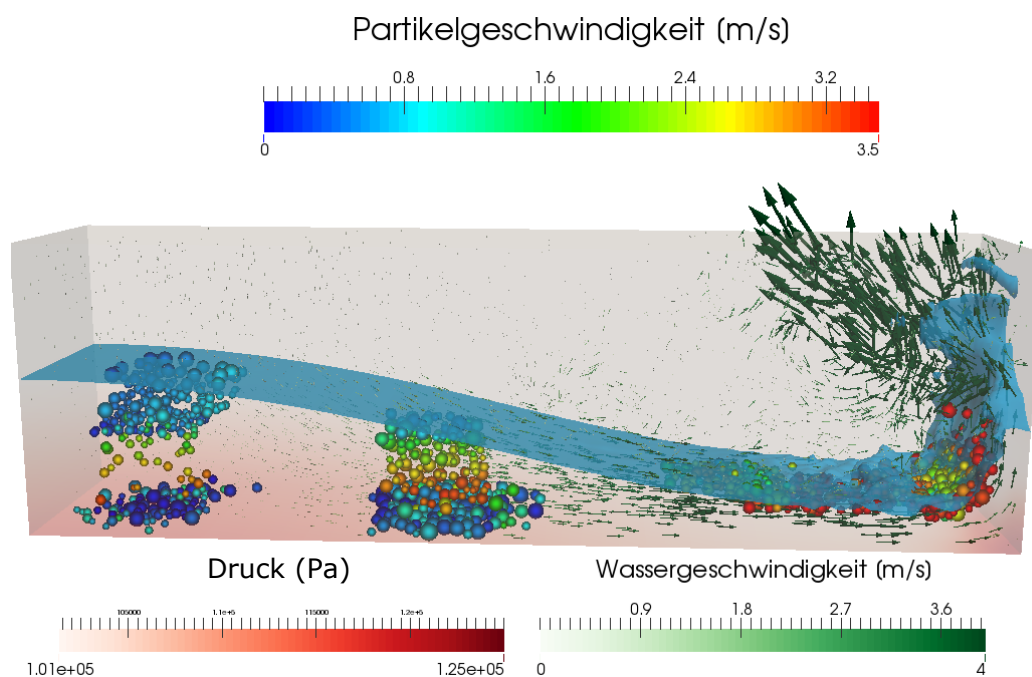


Abbildung 3: Darstellung der Strömungsverhältnisse für Wasser und Luft zusammen mit den Partikelgeschwindigkeiten zum Zeitpunkt 1.2 s. Beim Auftreffen der Frontwelle auf die Wand werden sowohl die Strömung des Wassers nach oben abgelenkt als auch die Partikel stark beschleunigt, sodass sie teilweise der Wassergeschwindigkeit folgen. Die hinteren Partikelfractionen sinken weiterhin unter dem Einfluss der Schwerkraft auf den Grund.

Die beiden folgenden Abbildungen 4 und 5 zeigen das Rückschlagen der Welle, hervorgerufen durch den Aufprall auf die Wand. Dadurch tritt ein starker Rückströmungseffekt auf, dem die Partikel wegen ihrer Trägheit mit einer Zeitverzögerung folgen. Zusätzlich ist die Wasseroberfläche nach der Reflektion an der Wand stark deformiert, wodurch einige Oberflächenpartikel mitgerissen werden und der turbulenten Strömung folgen. Die rechte Partikelfraktion hat sich bereits zu diesem Zeitpunkt entmischt, so dass schwere Partikel auf den Grund abgesunken sind und die Leichtereren auf der Wasseroberfläche aufschwimmen. Da bereits auch schon im hinteren Teil merkliche Wasserge-

schwindigkeiten auftreten, werden die leichteren Partikel an der Oberfläche bereits mit gerissen. Die mittlere Partikelfraktion, allesamt bestehend aus schweren Partikeln, sind auf den Grund abgesunken und werden ähnlich einem Sediment mit der Grundströmung bewegt.

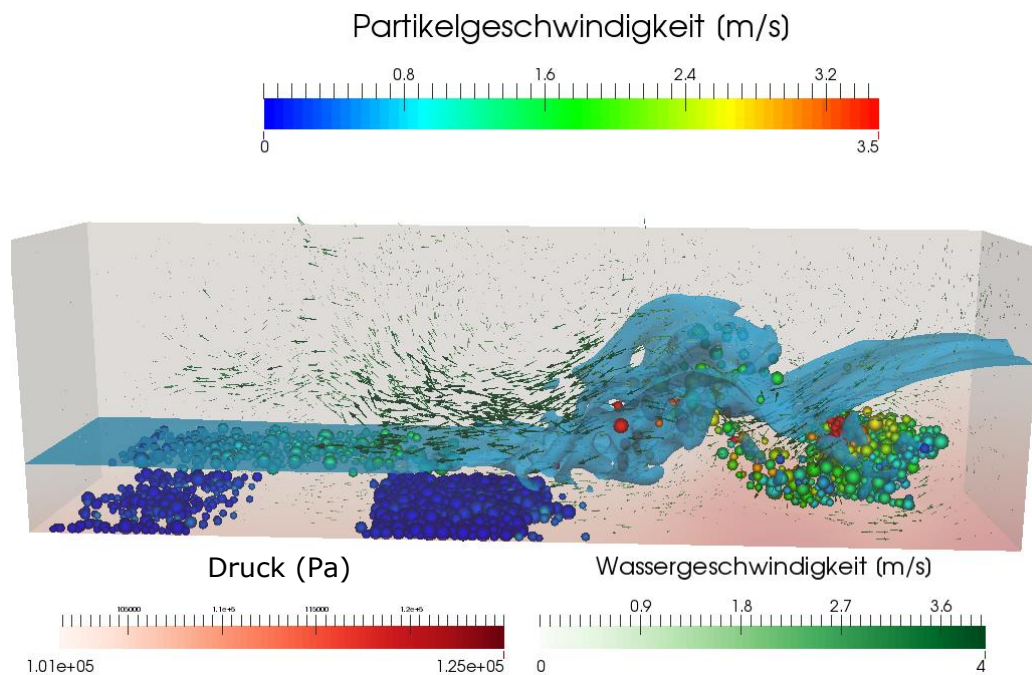


Abbildung 4: Darstellung der Strömungsverhältnisse für Wasser und Luft zusammen mit den Partikelgeschwindigkeiten zum Zeitpunkt 3.0 s. Durch das Zurückschlagen der Frontwelle wird die Wasseroberfläche stark deformiert und reißt einige Partikel mit sich. Schwere Partikel als Sediment abgesetzt werden durch die Grundströmung nur mäßig bewegt, während im hinteren Bereich aufschwimmende Partikel durch die turbulente Strömung mitgerissen werden.

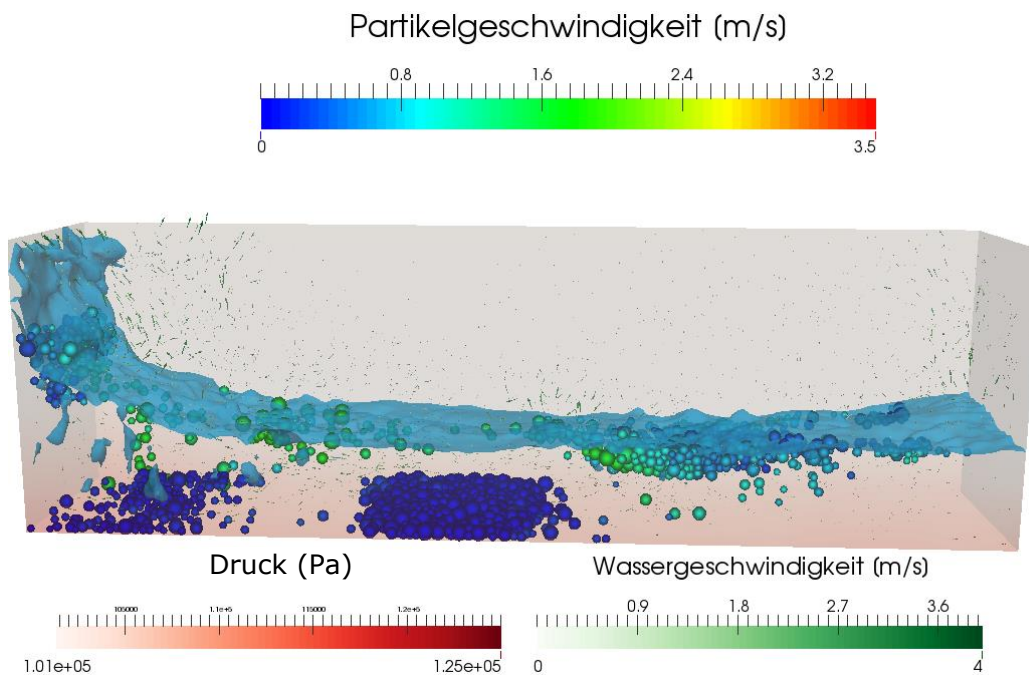


Abbildung 5: Darstellung der Strömungsverhältnisse für Wasser und Luft zusammen mit den Partikelgeschwindigkeiten zum Zeitpunkt 5.2 s. Durch den Aufprall der Welle an der rechten Wand wird die Wasseroberfläche wiederum stark deformiert und aufschwimmende Partikel werden mitgerissen. Auf den Grund abgesunkene Partikel werden nur mäßig bewegt.

4 Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurde eine Methode vorgestellt, mit der der Transport von Treibgut auf Wasseroberflächen beschrieben werden kann. Dazu wurde eine hybride Methode entwickelt, die die kontinuierlichen Methoden der klassischen Computational Fluid Dynamics (CFD) mit der Discrete Element Method (DEM) koppelt. Dabei wird das Treibgut bestehend aus einzelnen Objekten beschrieben, auf die Wasser- Kontakt-, Auftriebs- und Schwerkkräfte wirken. Damit können die Bewegung und die Trajektorien der Treibgutobjekte im Rahmen eines Lagrange-Ansatzes bestimmt werden. Die Strömung des Wassers wird als Zweiphasenströmung mit freier Oberfläche repräsentiert. Mit der numerischen Methode wurden erste Verifizierungsrechnungen durchgeführt, die sowohl den Transport von Partikeln an der Wasseroberfläche als die Bewegung von schwereren Partikeln auf dem Grund beschreiben.

5 Literatur

- Hu, K., Wei, F., and Li, Y. (2011): Real-time measurement and preliminary analysis of debris-flow impact force at Jiangjia Ravine, China., *Earth Surface Processes and Landforms*, 36(9), 1268-1278. doi:10.1002/esp.2155, 2011.
- Iverson, R. M. (1997): The physics of debris flows., *Reviews of Geophysics*, 35(97), 245. doi:10.1029/97RG00426, 1997.
- Iverson, R. M., Logan, M., LaHusen, R. G., and Berti, M. (2010): The perfect debris flow? Aggregated results from 28 large-scale experiments. *Journal of Geophysical Research*, 115(F3), F03005. doi:10.1029/2009JF001514, 2010.
- Major, J. J. (1996): Experimental studies of deposition by debris flows: process, characteristics of deposits, and effects of pore-fluid pressure. PhD, Washington, 1996.
- Major, J. J. and Iverson, R. M. (1999): Debris-flow deposition: Effects of pore-fluid pressure and friction concentrated at flow margins. *Bulletin of the Geological Society of America*, 111(10), 1424-1434. doi:10.1130/0016-7606(1999)111<1424:DFDEOP>2.3.CO 1999.
- Tryggvason, G., Scardovelli, R., Zaleski, S. (2011): Direct numerical simulations of gas-liquid multiphase flows, Cambridge University Press, 2011.
- Zhang S. A. (1993): Comprehensive approach to the observation and prevention of debris flows in China., *Natural Hazards* 7:123, 1993.

Autoren:

Prof. Dr.-Ing. Bernhard Peters

MSc Gabriele Pozzetti
MSc Yu Liao

Faculté des Sciences, de la Technologie et
de la Communication
Université du Luxembourg
6, rue Coudenhove-Kalergi
L-1359 Luxembourg

Faculté des Sciences, de la Technologie et
de la Communication
Université du Luxembourg
6, rue Coudenhove-Kalergi
L-1359 Luxembourg

Tel.: +352 46 66 44 54 96
Fax: +352 46 66 44 52 00
E-Mail: bernhard.peters@uni.lu

Tel.: +352 46 66 44 57 99
Tel.: +352 46 66 44 58 09
Fax: +352 46 66 44 52 00
E-Mail: gabriele.pozzetti@uni.lu
yuchung.liao@uni.lu

Die BMBF-Fördermaßnahme Regionales Wasser- ressourcen-Management für den nachhaltigen Gewässerschutz in Deutschland (ReWaM): Themen und Ziele

Dr. Sebastian Kofalk
Alexia Krug von Nidda
Dr. Berenike Meyer
Dominik Rösch
Stefanie Wienhaus

Inhalt der Fördermaßnahme „Regionales Wasserressourcen-Management für den nachhaltigen Gewässerschutz in Deutschland“ (ReWaM) sind die Erforschung, Erprobung und Etablierung neuer Ansätze in der Wasserwirtschaft. Damit wird das Ziel verfolgt, innovative Informations-, Wissens- und Entscheidungsgrundlagen für ein regionales Wasserressourcen-Management in Deutschland zu entwickeln.

Stichworte: Regionales Wasserressourcen-Management, BMBF-Fördermaßnahme, Gewässerschutz, Nachhaltigkeit, Wasserwirtschaft, Praxis

1 Regionale Antworten auf globale Herausforderungen

Wachsende Städte, Landnutzungsänderungen, Stoffeinträge und die Auswirkungen des Klimawandels: In vielen Regionen besteht dringender Handlungsbedarf, um die Qualität, Verfügbarkeit und den langfristigen Schutz der Oberflächen- und Grundwasserressourcen sicherzustellen. Die nachhaltige Bewirtschaftung der Gewässer unter Berücksichtigung der natürlichen und gesellschaftlichen Entwicklungen ist deshalb in den kommenden Jahren eine der drängendsten Herausforderungen für Deutschland. Menschen benötigen Wasser zum Trinken, für ihre Hygiene, zur Bewässerung und in der Industrie. Darüber hinaus sind Flüsse, Bäche und Seen beliebte Naherholungsgebiete sowie Lebensraum unzähliger Tier- und Pflanzenarten. Derzeit verfehlen jedoch 90 % der deutschen und über 50 % der europäischen Gewässer den guten Zustand im Sinne der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL).

Zur Bewältigung von Nutzungskonflikten in der Wasserbewirtschaftung bei gleichzeitig gesicherter ökologischer Leistungsfähigkeit der Gewässersysteme

benötigt die wasserwirtschaftliche Praxis anwendungsorientierte Wissens-, Informations- und Entscheidungsgrundlagen. Dafür gibt es keine allgemeingültigen Patentrezepte: Der Erfolg hängt deshalb auch davon ab, ob passfähige Ansätze und Konzepte gefunden werden, die alle regionalen Akteure und die Öffentlichkeit hinter dem Ziel einer nachhaltigen Bewirtschaftung der Wasserressourcen vereinen können. Denn bisher erfolgt das Management von Grundwasser, Flüssen, Bächen und Seen hierzulande überwiegend auf lokaler Ebene. Um die Ziele der WRRL zu erfüllen und das Wasserressourcen-Management in Deutschland auch langfristig daran auszurichten, benötigen die Einrichtungen der Kommunen, der Länder und des Bundes neue Planungsinstrumente sowie regionale Entscheidungsprozesse. Diese müssen von der Wissenschaft in Zusammenarbeit mit der wasserwirtschaftlichen Praxis entwickelt und eingeführt werden.

2 Forschung für die Praxis

Vor diesem Hintergrund hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) die Fördermaßnahme „Regionales Wasserressourcen-Management für den nachhaltigen Gewässerschutz in Deutschland“ (ReWaM) auf den Weg gebracht. Bis zum Jahr 2018 fördert das BMBF 14 Verbundprojekte und ein begleitendes Vernetzungs- und Transfervorhaben. ReWaM ist Teil des BMBF-Förderschwerpunktes „Nachhaltiges Wassermanagement“ (NaWaM) im Rahmenprogramm „Forschung für Nachhaltige Entwicklung“ (FONA3).

Durch ReWaM wird das NaWaM-Themenfeld „Wasser und Umwelt“ mit praxisorientierter Forschung untersetzt. Alle ReWaM-Vorhaben sind transdisziplinär ausgerichtet. Um die Übertragung der Ergebnisse in die Praxis zu gewährleisten und die Forschung und Entwicklungsarbeiten an den Bedürfnissen der Anwender auszurichten, arbeiten in allen Verbundprojekten Akteure aus der Wissenschaft sowie der wasserwirtschaftlichen Praxis eng zusammen. Insgesamt fördert das BMBF 97 Teilprojekte (siehe Abbildung 1). Diese werden zu etwa je einem Drittel von Institutionen aus der Wissenschaft, Wirtschaft sowie wasserwirtschaftlichen Praxis durchgeführt. Darüber hinaus sind weitere Organisationen als assoziierte Partner oder über Unteraufträge in die Fördermaßnahme eingebunden.

Alle ReWaM-Projekte adressieren die vielfältigen Herausforderungen des regionalen Wasserressourcen-Managements in Regionen mit Modellcharakter. Die Modellregionen und Untersuchungsstandorte sind über die gesamte Bundesrepublik verteilt (siehe Abbildung 2). Insgesamt untersuchen die Verbundprojekte Fließgewässer, Seen, Talsperren und Grundwasserkörper in 13 Bundesländern.

Damit ist eine Übertragbarkeit der Forschungsergebnisse auf andere Regionen in Deutschland, aber auch in das europäische Ausland möglich.

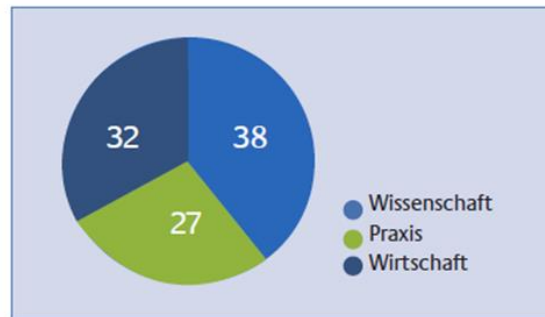


Abbildung 1: An der BMBF-Fördermaßnahme beteiligen sich Partner aus Wissenschaft, Wirtschaft und der Praxis (Behörden, Kommunen, Verbände und Verwaltung)

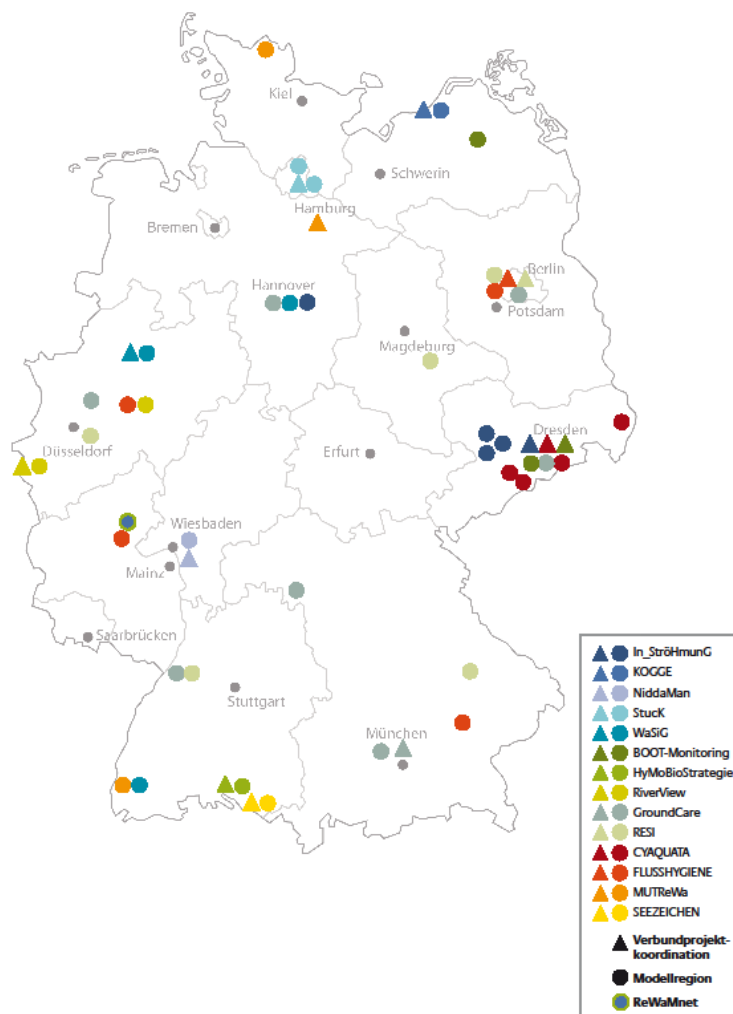


Abbildung 2: BMBF-Fördermaßnahme ReWaM –Modellregionen und Standorte der Verbundprojektkoordinationen

3 Auftrag von ReWaM

Ziel von ReWaM ist es, Wege aufzuzeigen, wie sich verschiedene Nutzungsformen von Gewässern mit ihrem Schutz in Einklang bringen lassen, um die Vielfalt und Leistungsfähigkeit der unterschiedlichen Gewässerökosysteme dauerhaft zu erhalten. Dies betrifft sowohl ländliche, stadtnahe als auch urbane Regionen. Die Erkenntnisse sollen die Akteure der Wasserwirtschaft bei ihrer Arbeit unterstützen und ihnen Grundlagen für neue Methoden, innovative Instrumente und Entscheidungsgrundlagen liefern.

4 Forschungsthemen

In ReWaM entwickeln Wissenschaft, Wirtschaft und öffentliche Verwaltung gemeinsam innovative Informations-, Wissens- und Entscheidungsgrundlagen für ein regionales Wasserressourcen-Management in Deutschland. Die Verbundprojekte bearbeiten ein breites Themenspektrum mit unterschiedlichen Forschungsansätzen. Die vier Projektcluster (Tabelle 1) verdeutlichen die gemeinsamen Aufgabenfelder der Projekte mit ihrer jeweils individuellen Forschungs- und Entwicklungsarbeit:

Tabelle 1 Zuordnung der ReWaM-Verbundprojekte in Projektcluster

PROJEKTCLUSTER	BETEILIGTE VERBUNDPROJEKTE
Gewässerentwicklung und Wasserbewirtschaftung	In_StröHmunG KOGGE NiddaMan StucK WaSiG
Gewässermonitoring	BOOT-Monitoring HyMoBioStrategie RiverView
Gewässerökologische Bewertungsverfahren	GroundCare RESI
Management der Wasserqualität	CYAQUATA FLUSSHYGIENE MUTReWa SEEZEICHEN

4.1 Gewässerentwicklung und Wasserbewirtschaftung

Die in diesem Cluster zusammengeführten Verbundprojekte adressieren innovative, integrative Entwicklungs- und Handlungsstrategien für das Wasserressourcen-Management. Im Vordergrund steht die Vereinbarkeit von Hochwassermanagement und Gewässerentwicklung. Schwerpunkte bilden die Gewässerbewirtschaftung im urbanen Raum, Stadtgewässerentwicklung, Einzugsgebietsmanagement sowie der Siedlungswasserhaushalt und die Regenwasserbewirtschaftung.

4.2 Gewässermonitoring

Innovative Methoden zur Erfassung von physikalischen und chemischen Parametern in Oberflächengewässern verbinden die Verbundprojekte dieses Clusters. Gewässer sind dynamische Systeme und reagieren in unterschiedlicher Weise auf Stoffeinträge und Veränderungen. Um die Prozesse besser als bisher zu erfassen, arbeiten die Verbünde an Messsystemen mit hoher räumlicher, zeitlicher und inhaltlicher Auflösung. Neben klassischen Verfahren werden autonome Messfahrzeuge entwickelt.

4.3 Gewässerökologische Bewertungsverfahren

Die Verbundprojekte dieses Clusters haben die Analyse und Bewertung von Ökosystemleistungen im Blick. Ziel der Forschungsaktivität ist die Entwicklung neuartiger Entscheidungsgrundlagen für eine nachhaltige Bewirtschaftung von Grund- und Oberflächengewässern. Betrachtet werden Bioindikatoren sowie Leistungen, die durch das Gewässer und daran angrenzende Bereiche zur Verfügung gestellt und durch den Menschen in Anspruch genommen werden.

4.4 Management der Gewässerqualität

Die Verbünde dieses Clusters untersuchen neuartige Gewässerverunreinigungen und entwickeln Methoden zur Gefährdungsabschätzung und neue Lösungsstrategien. Im Fokus stehen die Trink- und Badegewässerqualität sowie die Wirkungspfade zwischen Grund- und Oberflächengewässern. Eine besondere gesellschaftliche Relevanz ergibt sich aus dem Einfluss auf die menschliche Gesundheit.

5 Lenkungsreis

Ein begleitendes Gremium steht den Verbundprojekten in der BMBF-Fördermaßnahme ReWaM bei ihrer Arbeit zur Seite: Der Lenkungsreis setzt sich zusammen aus ausgewählten externen Experten, den Leitern der 14 Verbundprojekte und des Vernetzungs- und Transfervorhabens ReWaMnet sowie

Vertretern des BMBF und des Projektträgers. Er soll als Schnittstelle zu Praxis und Öffentlichkeit fungieren und damit insbesondere die Übertragbarkeit und Vermittlung der fachübergreifenden Gesamtergebnisse der Fördermaßnahme unterstützen. Eine weitere Aufgabe des Gremiums besteht darin, Querschnittsthemen zu definieren, die verbundprojektübergreifend in eigenen Arbeitsgruppen behandelt werden.

6 Das Vernetzungs- und Transfervorhaben ReWaMnet

Die Fördermaßnahme ReWaM wird durch das Vernetzungs- und Transfervorhaben ReWaMnet begleitet. Spitzenforschung alleine genügt für eine erfolgreiche Nachhaltigkeitspolitik nicht. Ergebnisse müssen in Form von anwendungsorientierten Lösungen für Gesellschaft, Wirtschaft und Praxis übersetzt und kommuniziert werden – dies ist das Hauptanliegen von ReWaMnet. Das BMBF legte die Durchführung des Vernetzungs- und Transfervorhabens in die Hände der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG). Die BfG engagiert sich als Ressortforschungseinrichtung traditionell an der Schnittstelle von Wissenschaft und Politik und ist in verschiedenen Gremien des Bundes und der Länder aktiv. Somit bestehen beste Voraussetzungen, um den Transfer von Wissen und Erkenntnissen aus ReWaM in die deutsche Wasserwirtschaft zu gestalten. Weitere Aufgaben von ReWaMnet sind die öffentliche Präsentation der Fördermaßnahme sowie die Stärkung der Zusammenarbeit der Verbundprojekte untereinander. Darüber hinaus möchte ReWaMnet den internationalen Austausch fördern. Anknüpfungspunkte bilden nationale sowie internationale Foren rund um das Thema Wasser.

Die BMBF-Fördermaßnahme „Regionales Wasserressourcen-Management für den nachhaltigen Gewässerschutz in Deutschland“ (ReWaM) ist Teil des BMBF-Förderschwerpunktes „Nachhaltiges Wassermanagement“ (NaWaM) im Rahmenprogramm „Forschung für Nachhaltige Entwicklung“ (FONA³).

7 Literatur

BfG Bundesanstalt für Gewässerkunde (Hrsg.) (2015): ReWaM - Regionales Wasserressourcen-Management für den nachhaltigen Gewässerschutz in Deutschland, DOI: 10.5675/ReWaM_2015.

Autor:

Alexia Krug von Nidda

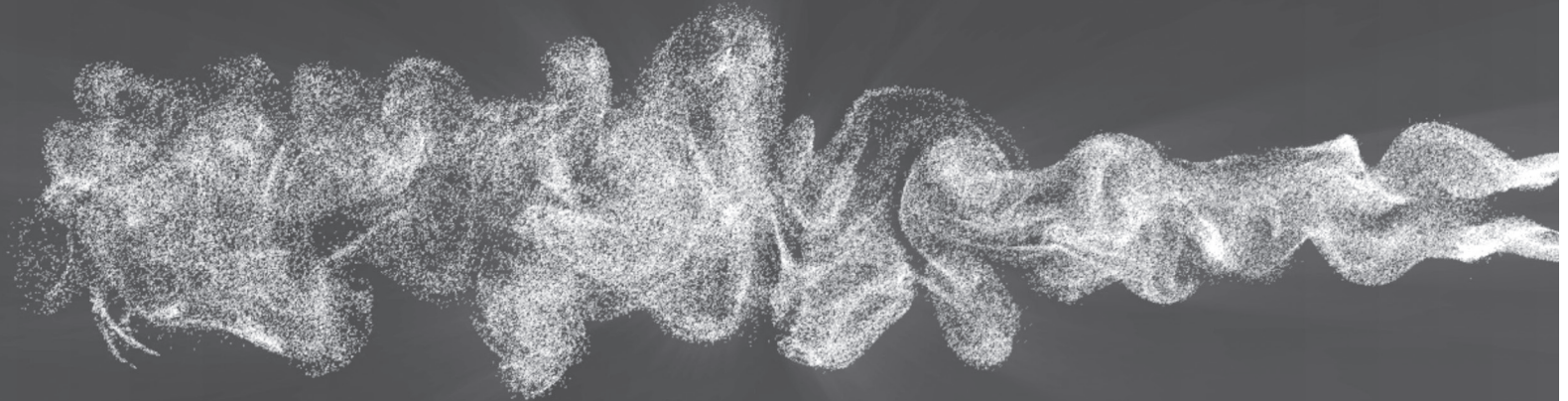
Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)
ReWaMnet
Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz

Tel.: +49 261 1306 5331
Fax: +49 261 1306 5302
E-Mail: rewamnet@bafg.de

Signature 1000/500

AN IDEAL PLATFORM FOR TURBULENCE STUDIES

The Signature 1000 and Signature 500 systems are designed for unprecedented performance in high energy turbulent environments, while also fulfilling standard current profiling needs.



- Concurrent measurement mode operation
- 5-beam configuration
- Average current profiling
- Vertical beam current profiling
- High-resolution altimeter data
- Ethernet interface
- LED power & transmit confirmation



CURRENT AND WAVE MEASUREMENTS IN THE OCEAN, LAKE AND LABORATORY



Nortek AS
Vangkroken 2
1351 Rud, Norway
Tel: +47 6717 4500
E-mail: inquiry@nortek.no



www.nortek.no
True innovation makes a difference

Das Projekt BOOT-Monitoring: Entwicklung eines Messsystems für die räumlich kontinuierliche Erfassung von Hydrometrie, Morphometrie und Wasserqualität zur Bewertung der Gewässergüte

Björn Helm
Stefanie Wiek
Pierre Karrasch
Sebastian Hunger
Karin Kuhn
Achim Six
Peter Krebs

Im Rahmen des Projektes BOOT-Monitoring wird ein bootgestütztes Messsystem zur räumlich-kontinuierlichen Erfassung der Hydrometrie, Wasserqualität und Morphometrie entwickelt. Im Fokus stehen dabei kleine und mittlere Gewässer, die einen Großteil der deutschen Gewässerlandschaft ausmachen und die mit bisher verfügbaren Messbooten nicht befahren werden können. Mit Hilfe von Online-Messtechnik und unter der zusätzlichen Einbindung von Fernerkundungsdaten sowie Methoden der Geodatenanalyse mit GIS, werden die Freiburger Mulde in Sachsen und die Tollense in Mecklenburg-Vorpommern analysiert. Ziel des Projekts ist es, eine bessere Zustandsbeschreibung und Bewertung der kleinen und mittleren Fließgewässer in Deutschland zu ermöglichen, damit die Oberflächengewässer nachhaltiger bewirtschaftet werden können. Dafür sollen die raum- und zeitkonkreten Daten bei unterschiedlichen Randbedingungen in urbanen und natürlichen Fließgewässern erhoben werden. Auf dieser Basis werden der hydromorphologische Zustand und die Wasserqualität beschrieben, klassifiziert und die Gewässergüte integriert bewertet. Kritische Belastungssituationen und Gewässerabschnitte sollen identifiziert werden um die Aussagekraft des regulären Gewässermonitorings zu optimieren. Schließlich werden Bewirtschaftungs- und Entwicklungsmaßnahmen des Gewässers auf Grundlage der verbesserten Beschreibung in Simulationsmodellen bewertet und Handlungsempfehlungen abgeleitet und deren Wirksamkeit nachgewiesen.

Stichworte: Gewässergüte, longitudinale Messung, Morphometrie, Gewässerstruktur, integriertes Monitoring

1 Einleitung

Die Europäische Wasserrahmenrichtlinie sieht vor, dass regulär 2015, jedoch nach drei Maßnahmenzyklen bis spätestens 2027, alle Gewässer in einen guten

ökologischen und chemischen Zustand überführt werden. Die Erfassung des Zustandes beschränkt sich bislang auf einzelne Standorte an Fließgewässern. Bei der Wahl eines geeigneten Messstandortes sollten stoffliche und hydraulische Belastungen in einem Gewässerabschnitt repräsentativ erfasst werden. Die stationäre Datenerhebung zur Wasserquantität und -qualität erfordert Annahmen zum Verlauf der betrachteten Parameter zwischen den Messstellen. Diese können zu epistemischen und aleatorischen Unsicherheiten führen, aber auch zu einer Fehleinschätzung der Belastungsursachen beitragen. Forschungsbedarf besteht daher in der Aufnahme kontinuierlicher, orts- und zeitkonkreter Kenndaten zur Wasserqualität und -quantität.

Im Rahmen des Projektes BOOT-Monitoring wird ein bootgestütztes Messsystem zur räumlich-kontinuierlichen Erfassung der Hydrometrie, Wasserqualität und Morphometrie entwickelt. Im Fokus stehen dabei kleine und mittlere Gewässer, die mit bisher verfügbaren Messbooten nicht befahren werden können. Ziel ist es dabei, durch einen modularen Aufbau, für unterschiedliche Befahrungssituationen angepasste Sensoren nutzen zu können. Eine redundante Erfassung der Parameter mit unterschiedlichen Messprinzipien erlaubt es, die erhobenen Messwerte zu plausibilisieren. Durch georeferenzierte Messungen können die Daten sowohl im zeitlichen- als auch im räumlichen Kontext ausgewertet werden. Eine zentrale Steuerungseinheit regelt das Energie- und Datenmanagement. Zusätzlich werden auf unterschiedlichen maßstäblichen Ebenen erhobene Fernerkundungsdaten integriert. Sie liefern einerseits bewertungsrelevante Informationen zum Gewässer-verlauf und -umfeld, andererseits können die in-situ Messungen zu Gewässer-oberfläche und Uferverlauf validiert werden.

2 Untersuchungsgebiete

Um eine Übertragbarkeit der eingesetzten und entwickelten Analyseverfahren auf unterschiedliche Gewässertypen zu gewährleisten sowie die Anwendbarkeit unter unterschiedlichen Randbedingungen zu demonstrieren, findet die Entwicklung des Messbootes konsequent an zwei Gewässern statt. Die Tollense in Mecklenburg-Vorpommern repräsentiert dabei Gewässertypen des Tieflandes. Die Freiberger Mulde ist ein sächsischer Vertreter von Gewässern des Hügel- und Berglandes. Zusätzlich finden auf Grund der guten Ausgangslage durch die Messungen im Rahmen des Urbanen Observatoriums (*Helm et al., 2015*) und der räumlichen Nähe zu den Projektbeteiligten Professuren der TU Dresden methodische Entwicklungen am Lockwitzbach in Sachsen statt.

Die in den gewässerspezifischen Unterabschnitten genannten Probleme treten in der Regel abschnittsweise an den Gewässern, z. T. auch in Kombination miteinander, auf. Mit dem longitudinalen Messansatz wird die Möglichkeit geschaffen, eine höhere und detailliertere räumliche und zeitliche Auflösung der Auswirkungen einzelner Belastungen nachzuweisen. Damit können zielgerichtete Maßnahmen zur Reduzierung der Belastungen abgeleitet sowie die Wirkung der Maßnahmen überwacht werden.

2.1 Lockwitzbach

Der Lockwitzbach fließt aus dem Erzgebirgsvorland in das Stadtgebiet von Dresden und mündet dort in die Elbe. Dabei nimmt er das Abwasser der Kläranlage Kreischa auf. Das Entwässerungsnetz ist im Einzugsgebiet von Dresden in Misch- und Trennsysteme unterschiedlicher topographischer und hydraulischer Randbedingungen gegliedert und entlastet an zwölf Einleitstellen in das Gewässer. Er ist als grobmaterialreicher silikatischer Mittelgebirgsbach eingeordnet und weist im Unterlauf gering bis vollständig veränderte Abschnitte auf.

Für die Untersuchungen finden Tests der Wasserqualitätssensoren und Hydrometriesensoren statt. Dabei können die Ergebnisse mit den Messungen des Urbanen Observatoriums der TU Dresden (*Helm et al.*, 2015) abgeglichen werden. Erste Ansätze zur fernerkundlichen Bewertung der Gewässerstruktur wurden ebenfalls am Unterlauf des Lockwitzbachs erarbeitet (*Karrasch et al.*, 2015).

2.2 Freiburger Mulde

Die Freiburger Mulde ist ein silikatischer Fluss der Mittelgebirge. Im Rahmen des Projekts wird der Fluss unterhalb des Pegels Nossen (Einzugsgebiet 586 km²) untersucht. Dabei steht zunächst der zwölf Kilometer lange Abschnitt bis zum Pegel Mahlitzsch. Im weiteren Projektverlauf ist eine systematische Erweiterung des Untersuchungsgebietes nach unterstrom vorgesehen.

Die fortschreitend intensivierete Nutzung des Gewässers und der direkten Uferbereiche führt zu Belastungen des ökologischen und chemischen Zustands. Dabei sind die Anforderungen an den Hochwasserschutz vor allem in Siedlungsbereichen von großer Bedeutung. Der technische Hochwasserschutz führt zu einer eingeschränkten Morphodynamik des Gewässers. Die meist im Mischsystem entwässerten, auf Grund der Topographie schnell reagierenden urbanen Gebiete, erzeugen im Regenwetterfall ausgeprägte hydraulische und stoffliche Belastungsspitzen im aufnehmenden Gewässer. Die zahlreichen bestehenden Querbauwerke stellen zum einen Wanderbarrieren für aquatische Organismen dar, zum anderen können sie den Sedimenttransport erheblich beeinträchtigen und in längeren Aufstaubereichen zu einer signifikanten Veränderung der Gewässereigenschaften beitragen.

2.3 Tollense

Als repräsentatives Tieflandgewässer wird die Tollense, mit einem Einzugsgebiet von 1892 km² betrachtet, im speziellen ein ca. 30 km langer Gewässerabschnitt vor der Einmündung in die Peene bei Demmin.

Der untere Teil des Flussabschnittes kann einer hydraulischen Beeinflussung durch Rückstau aus dem Haff unterliegen. Aufgrund von Begradigungen ist für die Fließgewässerstrukturgüte nach Sohle und Ufer überwiegend nur Güteklasse 4 ausgewiesen. Der Fließgewässertyp ist als organisch geprägter Fluss definiert. Bisherige Ergebnisse des biologischen Monitorings lassen die Zielerreichung "guter ökologischer Zustand" bis 2027 nicht erwarten. Es gilt daher zu untersuchen, in wie weit derzeitige Nutzungen des Gewässers eingeschränkt werden müssten und welche weiteren Maßnahmen erforderlich sind, um die Zielerreichung der WRRL zu ermöglichen.

3 Datenerhebung und –auswertung

In der frühen Projektphase 2015/16 stehen die Entwicklung des Messsystems sowie die zugeordnete Datenauswertung im Vordergrund. Entsprechend dem eingeführten Konzept findet eine Erfassung im Gerinne, wie auch im Gewässerumfeld statt. Die Messungen unter der Wasseroberfläche werden dabei in-situ mit dem Messboot durchgeführt. Für das Gewässerumfeld werden multiskalige Fernerkundungsdaten genutzt.

3.1 Bootsbefahrung

Das im Projekt aufzubauende Messboot wird durch die modulare Nutzung unterschiedlicher Messprinzipien ein breites Spektrum von Randbedingungen der Befahrung abdecken.

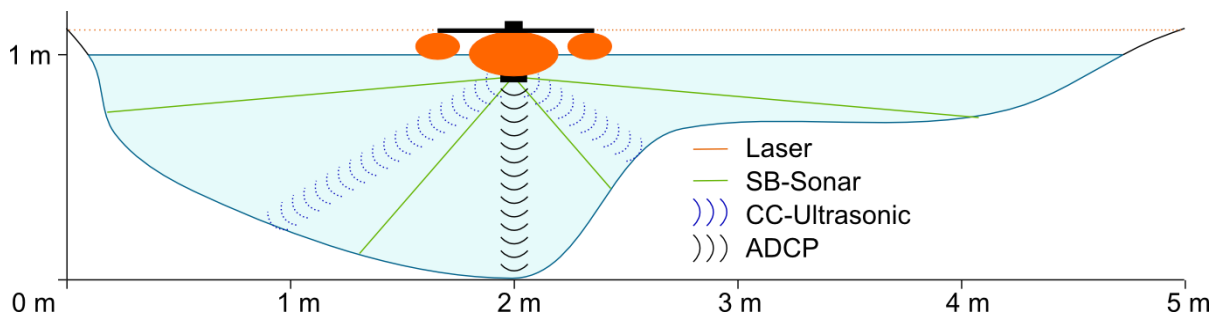


Abbildung 1: Prinzipschema zur Anordnung von Sensoren zur Abstands- und Fließgeschwindigkeitsmessung im modularen System des Messboots. Punktiert dargestellte Sensoren werden einer Machbarkeitsuntersuchung unterzogen.

Tabelle 1 Übersicht über die verwendeten Sensoren und zur Bestimmung der hydrometrischen Gewässereigenschaften (Sensorspezifikationen nach Herstellerangaben). Grau hervorgehobene Sensoren befinden sich in einer Machbarkeitsüberprüfung.

Sensor	Messprinzip	Messgröße	Messbereich	Unsicherheit	Auflösung
Simrad EK 15	Echolot (0.2 MHz)	Entfernung	0.1 – 200 m	n. a.	0.05 m 40 Hz
Nivus CS 2	Ultraschall Kreuzkorrelation (1 MHz)	Entfernung, Geschwindigkeit	0.08 – 5 m -1 – 6 ms ⁻¹	< 0.002 m < 0.06 ms ⁻¹	0.01 ms ⁻¹ 5 s
Teledyne WHRZ12 00	Ultraschall-Dopplerverschiebung (1.2MHz)	Entfernung, Geschwindigkeit	0.3 – 25 m -5 - 5 ms ⁻¹	< 0.01 m < 0.002 ms ⁻¹	0.05 m 0.001 ms ⁻¹ 1 s
Marsh-McBirney Flo-Mate	Elektro-magnetische Induktion	Geschwindigkeit	-0.15 – 6 ms ⁻¹	< 0.1 ms ⁻¹	0.01 ms ⁻¹ 2 s

In Abbildung 1 ist ein Prinzipschema für die Erfassung der hydrometrischen Eigenschaften des Gewässers dargestellt. Der Gewässerschlauch soll dabei möglichst weitgehend und räumlich differenziert durch Befahrung entlang der Stromlinie erfasst werden. Hierfür werden die Sensoren, unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Messprinzipien und -bereiche, so angeordnet, dass der Fließquerschnitt an mehreren Punkten und entlang der Messfenster der räumlich auflösenden Sensoren bemessen wird. Eine Interpolation der punkt- und linienförmig erfassten Messdaten erfolgt unter Nutzung geostatistischer Methoden.

In Tabelle 1 sind die für die hydrometrischen Messungen verwendeten Sensoren zusammengefasst. Im Sinne der modularen Bauweise kommen Geräte zum Einsatz, die für unterschiedliche Messbereiche geeignet sind. Während der magnetisch induktive Flo-Mate Sensor eine Geschwindigkeitsmessung auch noch bei unter zehn Zentimetern Wassertiefe ermöglicht, sind Messungen mit dem Nivus CS 2, in bis zu 16 Messfenster aufgelöst, ab acht Zentimetern bis fünf Metern Distanz möglich. Die tiefendifferenzierten Geschwindigkeitsmessmethoden geben zusätzlich Information über den Sohlabstand. Für eine zusätzliche reine Entfernungsmessung, wird für das Forschungsecholot Simrad EK 15 die Eignung beim Einsatz in Fließgewässern bewertet. Die tiefendifferenzierte Echo-grammauswertung ermöglicht die Lokalisation von submersen Makrophyten.

Bei ausreichend genauer Bestimmung des Fließquerschnitts und der Fließgeschwindigkeit kann ein längskontinuierliches Profil des Durchflusses bestimmt werden. Sowohl punktförmige (Zuflüsse, Ausleitungen) als auch laterale Zu- und Abflüsse können identifiziert und lokalisiert werden. Die Kontinuität des Volumenstroms ermöglicht außerdem eine Plausibilisierung der Mess- und Interpolationsergebnisse.

Tabelle 2 Übersicht über die verwendeten Sensoren zur Bestimmung der Wasserqualität (Sensorspezifikationen nach Herstellerangaben). Grau hervorgehobene Sensoren befinden sich in einer Machbarkeitsüberprüfung.

Sensor	Messprinzip	Messgröße	Messbereich	Unsi- cherheit	Auflösung
S::CAN Spectro:: lyser	Spektrometrie	Nitrat	0 – 70 mg l^{-1}	< 3 %	0.01 mg l^{-1}
	Spektrometrie	CSB	0 – 200 mg l^{-1}	< 2 %	0.01 mg l^{-1}
	Spektrometrie	Ges. Organ. Kohlenstoff	0 – 350 mg l^{-1}	< 3 %	0.01 mg l^{-1}
	Spektrometrie	Trübung	0 -1400 NTU	< 3 %	0.1 NTU
SEBA MPS-D8	Resistivität	Temperatur	-5 – 50 °C	< 0.1 K	0.01 K
	Resistivität	Leitfähigkeit	0 – 200 mScm $^{-1}$	< 0.5%	0.01mScm $^{-1}$
	Luminiszenz	Sauerstoff	0 – 25 mg l^{-1}	< 1%	0.001 mg l^{-1}
	Potentiometrie	pH	0 14	< 0.1 pH	0.01 pH
	Potentiometrie	Ammonium	0.2 – 18000 mg l^{-1}	< 5 %	0.01 mg l^{-1}
	Potentiometrie	Nitrat	0.4 – 60000 mg l^{-1}	< 5 %	0.01 mg l^{-1}
	Potentiometrie Absorption	Trübung	0 – 1000 NTU	< 3%	0.01 NTU
Go-Sys- tem- elekt- ronik BlueMon	Spektrometrie	s. S::CAN			
	Fotometrie	Nitrat	0 – 30 mg l^{-1}	< 10%	0.01 mg l^{-1}
	Fotometrie	Ammonium	0 – 30 mg l^{-1}	< 4 %	0.01 mg l^{-1}
	Fotometrie	CSB	0 – 80 mg l^{-1}	< 5 %	0.01 mg l^{-1}
Fotometrie	Phosphor	0 – 30 mg l^{-1}	< 3%	0.01 mg l^{-1}	

In Tabelle 2 sind die Sensoren zusammengefasst, die für die Erfassung der Wasserqualitätsparameter genutzt werden sollen. Ein besonderes Augenmerk wird auf die redundante Messung mit unterschiedlichen Messprinzipien gelegt.

Die unter Laborbedingungen erreichbaren guten Genauigkeiten der spektrometrischen und potentiometrischen Messgeräte werden in Feldbedingungen auf Grund von Störeinflüssen meist nicht erreicht (*Snazelle*, 2015). Insbesondere die bei Normalabfluss auftretenden niedrigen Nährstoffkonzentrationen können derzeit nur photometrisch mit hoher Genauigkeit bestimmt werden. Für die Entwicklung

eines Kompaktanalysators BlueMon als Komponente des Messsystems müssen noch Anpassungs- und Machbarkeitsuntersuchungen durchgeführt werden.

Aus der Synopse von Durchfluss- und Konzentrationswerten können Profile der Stofffrachten abgeleitet werden. Diese erlauben es erstmals, Umsatz- und Transportprozesse längskontinuierlich zu quantifizieren.

3.2 Fernerkundungsdaten

Die Nutzung fernerkundlicher Daten im Rahmen der Fließgewässerstrukturkartierung lässt auf Grund des flächenhaften Charakters der Daten insbesondere im Umfeld der Testgewässer (Lockwitzbach, Freiburger Mulde) einen Mehrwert erwarten. Neben der Nutzung von amtlichen Daten der betrachteten Fließgewässer werden fernerkundliche Daten unterschiedlicher maßstäblicher Ebenen in die Analyse der Fließgewässerstruktur integriert. Dabei kommen sowohl Satellitenbilder unterschiedlicher Anbieter und Orthophotos der sächsischen Landesvermessung zur Anwendung, als auch für ausgewählte Abschnitte der Testgewässer Infrarotaufnahmen die mit Hilfe eigener UAV-Befliegungen durchgeführt werden. Im Rahmen einer multiskaligen Analyse der Bilddaten werden, orientiert an den Vorgaben des Übersichtsverfahren der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA, 2003), unterschiedlichste fernerkundliche und geostatistische Analyseverfahren genutzt, entwickelt, erprobt und validiert. Die Parameter der Linienführung, des Uferverbau, der Querbauwerke, der Abflussreglung, des Uferbewuchs, der Hochwasserschutzbauwerke, des Ausuferungsvermögens, der Auennutzung und der Uferstreifen bilden die Grundlage der Bewertung des Strukturbildungsvermögens, der Retention und des Entwicklungspotentials, welche wiederum Aussagen zur Gewässerbett- und Auendynamik zulassen und damit die Basis für eine Bewertung der Gewässerstrukturgüte eines Flussabschnittes bilden (LAWA, 2003). Gleichzeitig erfolgt ein Vergleich der durch Fernerkundungsmethoden erhobenen Daten und Gütemaße mit denen, die durch die amtlichen Erhebungen zur Verfügung stehen. Diese dienen einerseits der Validierung der erprobten Verfahren, andererseits erlauben sie Rückschlüsse auf die Nutzbarkeit dieser Verfahren für zukünftige Bestandsaufnahmen. Dabei soll perspektivisch der derzeitige Parametersatz des Übersichtsverfahrens sukzessive erweitert werden.

Beispielhaft stellt die Analyse der Landnutzung im Einzugsgebiet sowie im direkten Umfeld des Lockwitzbachs einen ersten Arbeitsschwerpunkt der Datenanalyse dar. Dem multiskaligen Gedanken folgend wurden erste Untersuchungen auf der Basis von Satellitendaten durchgeführt. Mit dem amerikanischen LANDSAT-System stehen regelmäßig Daten mit einer geometrischen Auflösung im Bereich zwischen 15 m und 80 m in unterschiedlichen Spektralbereichen zur Verfügung. Soweit möglich soll durch retrospektive Analysen auch die Entwick-

lung der Fließgewässer quantitativ zu beschreiben werden. Dafür konnten in Abhängigkeit der Wolkenbedeckung seit dem Jahr 1990 elf geeignete Datensätze akquiriert werden (LANDSAT-4 bis LANDSAT-8). Der radiometrischen und geometrischen Vorverarbeitung der Daten durch atmosphärische Korrekturen (ENVI FLAASH) sowie einer Koregistrierung der Datensätze (ENVI) folgte die eigentliche Analyse der Daten mit Hilfe eines Maximum-Likelihood Verfahrens, welches auf der Basis von operativ zu ermittelnden Trainingsflächen eine Landnutzungsklassifikation für alle verfügbaren Zeitschnitte generiert (Lillesand *et al.*, 2015). Etablierte Verfahren des Accuracy Assessments und die daraus resultierenden Konfusionsmatrizen bilden abschließend die Grundlage für eine finale Bewertung der Klassifikationsgüte (Congalton und Green, 2008).

4 Erste Ergebnisse

In Abbildung 2 ist das Ergebnis eines frühen Prototypentests bei einer Befahrung auf der Großen Röder dargestellt. Die Sauerstoffkonzentration und insbesondere die Fließgeschwindigkeit sind dabei kleinräumig variabel. Abschnitte mit Sauerstoffminima fallen mit lokal verminderten Fließgeschwindigkeiten, z. B. durch Aufstau oder Querschnittsweitung zusammen.

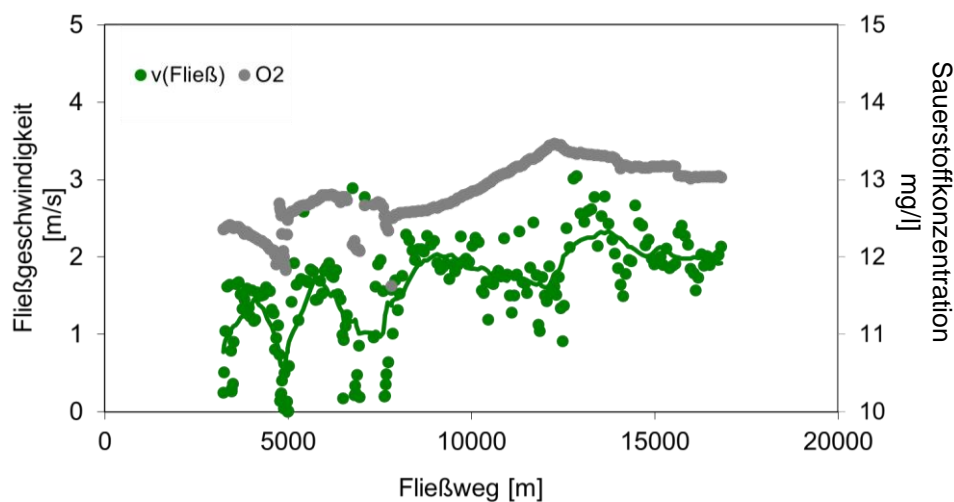


Abbildung 2: Beispiel des Längsprofils von Sauerstoffkonzentration und Fließgeschwindigkeit bei einer Befahrung mit einem Prototypen des Messbootes auf der Großen Röder.

Die Variabilität der Fließgeschwindigkeit liefert Hinweise auf diversifizierte Strömungsbedingungen und damit vielfältige abiotische Einflussfaktoren für Gewässerorganismen.

Als Resultat der Analyse der Satellitendaten stehen Landnutzungsinformationen für elf zeitliche Epochen seit dem Jahr 1990 für das gesamte Einzugsgebiet des Lockwitzbaches zur Verfügung (vgl. Abbildung 3). Die Klassifikationsgüte lag dabei zwischen 87 und 91,5 %. Die thematische Auflösung von fünf Klassen (Wasser, Urbane Gebiete, Brachland, genutzte landwirtschaftliche Flächen, Wälder) erlaubte erste Rückschlüsse über die Entwicklung im Einzugsgebiet. Dafür wurde die Analyse einerseits auf das direkte Umfeld des Lockwitzbaches beschränkt (150 m links und rechts des Baches), andererseits wurden für diese Betrachtungen nur die letzten 8 km des Unterlaufs bis zur Mündung genutzt. Die Ergebnisse zeigen, dass sich vor allem der Anteil der urbanen Flächen von ca. 39 % im Jahr 1990 auf ca. 53 % im Jahr 2014 erhöht hat. Dabei kann ebenfalls festgestellt werden, dass der größte Teil dieser Zunahme ab dem Jahr 2010 (ca. 45 %) zu verzeichnen ist. Damit kann festgehalten werden, dass die Annahme einer, im Sinne der Wasserrahmenrichtlinie negativ zu bewertende Entwicklung des Lockwitzbaches, auf dieser Maßstabsebene nicht unbegründet ist. Um detailliertere Aussagen über den Einfluss einer sich verändernden Landnutzung im Umfeld des Lockwitzbaches zu erheben, ist es nun möglich den Maßstabsbereich zu vergrößern und in ausgewählten Gebieten, verdichtende Untersuchungen auf Grundlage von Orthophotos mit einer geometrischen Auflösung von 20 cm durchzuführen.

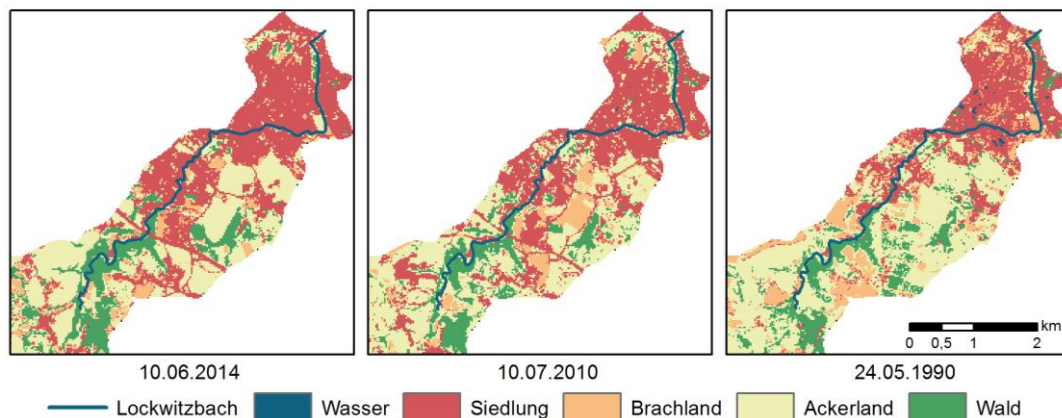


Abbildung 3: Änderung der Landnutzung im Unterlauf des Lockwitzbachs (gesamtes Einzugsgebiet) als Ergebnis einer Klassifikation von LANDSAT Satellitendaten.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Im Projekt BOOT-Monitoring wird ein Messsystem entwickelt, das die Erfassung von Gewässereigenschaften entlang der Fließstrecke ermöglicht. Multiskalige Satellitendaten werden einbezogen, um Gewässerkörper und Gewässerumfeld integriert zu beschreiben und zu bewerten. Erste Ansätze für die Gewässerbefahrung

und Datenauswertung konnten erfolgreich umgesetzt werden. Im weiteren Projektverlauf sollen die Sensoren unter den Bedingungen der Längsbefahrung getestet werden. Daten- und Energiemanagement werden in einer zentralen Steuerungseinheit zusammengeführt. Die Ansätze zur Datenaufbereitung und -auswertung werden hinsichtlich Genauigkeit und erfassbaren Untersuchungsgrößen erweitert. Auf Grundlage der räumlich und zeitlich hoch aufgelösten Daten können Prozesse des Stofftransports quantifiziert und defizitäre Gewässerabschnitte lokalisiert werden. Sie bilden damit die Grundlage um Bewirtschaftungs- und Entwicklungsmaßnahmen des Gewässers auf Grundlage der verbesserten Beschreibung in Simulationsmodellen zu bewerten, Handlungsempfehlungen abzuleiten und deren Wirksamkeit nachzuweisen.

Das Forschungsvorhaben BOOT-Monitoring (FKZ 033W039A) wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.

6 Literatur

- Congalton, R. G. and Green, K., (2008): Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices], CRC Press Inc., 2. ed..
- Helm, B., Schiffner, S., Krause, T., Grüner S., Weber S., Käseberg, T., Zhang, J., Krebs, P. (2015): Das Urbane Observatorium Dresden - Integriertes Monitoring für ein verbessertes Systemverständnis in der Siedlungswasserwirtschaft. In: Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen (53), ISBN 978-3-86780-420-2, S. 561-570
- Karrasch, P. ; Henzen, D. ; Hunger, S. ; Hörold, M. (2015): Determination of water body structures for small rivers using remote sensing data. In: Proc. SPIE, 9637; Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XVII, 96370W (October 14, 2015); doi:10.1117/12.2194891.
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., and Chipman, J. W. (2015): Remote Sensing and Image Interpretation], John Wiley Sons, Inc., 7. ed..
- LAWA - Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (2003): Arbeitshilfe zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie. Teil 1: Einführung;
http://lawa.de/documents/Arbeitshilfe_30-04-2003_314.pdf
- Snazelle, T. (2015): Results from Laboratory and Field Testing of Nitrate Measuring Spectrophotometers. Open-File Report 2015–1065, U.S. Geological Survey;
<http://pubs.usgs.gov/of/2015/1065/pdf/ofr2015-1065.pdf>

Autoren:

Björn Helm,
Prof. Dr. Peter Krebs
Stefanie Wiek

Sebastian Hunger
Dr. Pierre Karrasch

Professur Siedlungswasserwirtschaft
TU Dresden
01062 Dresden

Professur Geoinformatik
TU Dresden
01062 Dresden

Tel.: +49 351 46334616
E-Mail: bjoern.helm@tu-dresden.de

Tel.: +49 351 463
E-Mail: pierre.karrasch@tu-dresden.de

Karin Kuhn,
Achim Six

Referat Oberflächenwasser, Wasserrahmenrichtlinie
Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Postfach 540137
01311 Dresden

Tel.: +49 351 89284400
E-Mail: karin.kuhn@smul.sachsen.de

Erzeugung von Rehen: Eine experimentelle Studie

Till Branß
Andreas Dittrich

Hochwasserereignisse führen u. a. zu erheblichen Sedimentablagerungen auf den Vorländern der Fließgewässer, häufig auch in Form von sog. Uferreihen. Durch die Ablagerungen wird der Hochwasserabflussquerschnitt dauerhaft reduziert und es kommt zu lokalen Wasserstandsanehebungen, die insbesondere bei extremen Hochwässern katastrophale Folgen haben können. Da die Prozesse der Rehenbildung bis heute nicht quantifiziert werden können und diese vornehmlich bei Hochwasserabflüssen stattfinden, ist es sinnvoll die Erforschung dieser Prozesse im Labor vorzunehmen. Hierzu wurden am LWI Laborversuche an einem typischen, halben Doppeltrapezgerinne mit ausgeprägtem Vorland durchgeführt.

Stichworte: Uferreihen, Sedimentablagerungen, gegliederte Gerinne

1 Einleitung

Eine Rehne ist ein uferbegleitender Wall aus Sedimenten und Uferbewuchs, der an nahezu allen Flüssen mit auenartigen Vorländern anzutreffen ist. Sie entstehen, wenn bei Hochwasser mitgeführtes Sediment in die angrenzenden Vorländer transportiert wird und dort in Bereichen mit niedrigen Fließgeschwindigkeiten sedimentiert.

1.1 Bedeutung der Rehen

Rehen sind vor allem an Gewässern zu beobachten, die in ihrem Verlauf festgelegt sind und deren Gewässerkorridor durch Deiche begrenzt ist. Entlang dieser Flussläufe findet nur noch eine geringe Seitenerosion statt, sodass die Sedimentationsprozesse auf dem Vorland überwiegen. Folglich wachsen die Rehen mit jedem Hochwasser an und beeinflussen somit zunehmend das Abflussgeschehen (*Hudson, 2005*). Durch die Rehen wird der Hochwasserabflussquerschnitt des Gewässerkorridors reduziert und die Quervernetzung zwischen dem Gerinne und den Vorländern durch ein späteres Ausuferndes des Gewässers verschlechtert (*Klasz et al., 2014; Rommel, 2013*).

Da mit steigender Rehenhöhe weniger Sediment in die Vorländer eingetragen wird, lagert sich auf den Vorländern weniger Sediment ab und der Fließquerschnitt verkleinert sich auf Dauer langsamer als ohne vorhandene Rehen. Zu-

sätzlich verhindern Rehen an durch Eisstau gefährdeten Gewässern den Eintrag von Eisschollen auf die Vorländer und schützen die vorhandenen Deiche.

1.2 Rehnengenese

Nach *Adams et al.* (2004) existieren grundsätzlich zwei unterschiedliche Transportprozesse, durch die Sediment aus dem Hauptgerinne auf das Vorland transportiert wird und die zu zwei unterschiedlichen morphologischen Phänomenen führen. Zum einen wird Sediment durch eine Scherströmung zwischen Hauptgerinne und Vorland, und der damit verbundenen turbulenten Diffusion, auf das Vorland transportiert (Uferrehne in Abbildung 1). Zum anderen kann ein advektiver Transport stattfinden, der aus den Wasserstandsdifferenzen zwischen Hauptgerinne und Vorland resultiert (großflächige Ablagerungen in Abbildung 1). Das Hauptaugenmerk der vorliegenden Untersuchungen lag auf der Erzeugung von Rehen, die durch diffusiven Transport entstehen. In diesem Fall sind die im Bereich zwischen Hauptgerinne und Vorland auftretenden Strömungen von zentraler Bedeutung.

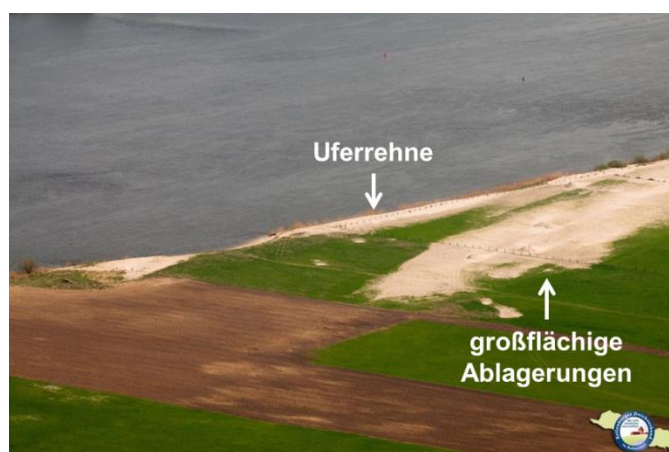


Abbildung 1: Sedimentablagerungen auf dem Vorland der unteren Mittelbe (Quelle: Artlenburger Deichverband)

Durch die Überflutung der Vorländer stellen sich in den Gerinneteilen unterschiedliche Fließgeschwindigkeiten ein. In der Folge entsteht eine Scherschicht, die zur Bildung von Turbulenz- und Wirbelstrukturen führt und einen Massen- und Impulsaustausch zwischen den Gerinneteilen hervorruft (*Sellin*, 1964 und *Dittrich*, 1998). Die Stärke der Interaktion ist maßgeblich von dem Verhältnis zwischen den Fließgeschwindigkeiten auf dem Vorland (u_V) und im Hauptgerinne (u_H) abhängig. Dementsprechend haben, über die Änderung der Fließgeschwindigkeiten, sowohl das Sohlgefälle, das Verhältnis der Wasserstände auf dem Vorland und im Hauptgerinne, als auch die Vorlandrauheiten einen starken Einfluss auf die Intensität der Wirbel im Interaktionsbereich (*Fernades et al.*, 2012 und *Knight & Shiono*, 1990).

Sekundäre Strömungen, sowie von der Gewässersohle des Hauptgerinnes induzierte Turbulenzen, besitzen ebenfalls einen Einfluss auf die Wirbelstrukturen, sodass der Interaktionsbereich durch die Überlagerung verschiedener Wirbel geprägt ist (Czernuszenko *et al.*, 2007 und Nezu *et al.*, 1999).

Die an der Böschungskante zwischen Hauptgerinne und Vorland stark ausgeprägten turbulenten Strukturen führen zu einem turbulenzinduzierten Transport von im Hauptgerinne suspendiertem Sediment auf das Vorland. Diese Art des Sedimenttransports konnte u. a. von James (1985) beobachtet werden. Der Transport wird dabei zusätzlich von den im Gerinne vorherrschenden sekundären Strömungen beeinflusst. Die Sekundärströmungen unterstützen oder verhindern, je nach Wasserstand, den Sedimenttransport zwischen Hauptgerinne und Vorland. Nach Nezu *et al.* (1999) wird ab einem Tiefenverhältnis von $h_H/D \geq 1,6$ (mit: h_H = Wasserstand im Hauptgerinne, D = Vorlandhöhe) der Momenten- und Impulsaustausch zwischen Vorland und Hauptgerinne durch ein an Stärke zunehmendes Sekundärströmungspaar unterbunden.

1.3 Fazit

Aus den vorangegangenen Ausführungen wird deutlich, dass über die Hydraulik bereits zahlreiche Informationen vorliegen, die morphodynamischen Zusammenhänge aber noch weitgehend unbekannt sind. Aus diesem Grund wurden vor allem die Auswirkungen direkter Einflussparameter auf die Rehnenbildung wie unterschiedliche Wasserstände, Sohlengefälle, Sohlenformen und Versuchsdauern im Laborexperiment untersucht. Der wichtige Einfluss der Ufervegetation auf die Rehnenbildung war nicht Gegenstand dieser Untersuchungen. Auf diesen soll in zukünftigen Experimenten detaillierter eingegangen werden.

2 Versuchsaufbau und -programm

2.1 Hydraulisch / sedimentologische Randbedingungen

Für die Versuche war die Ausbildung eines Interaktionsbereichs zwischen Hauptgerinne und Vorland sicherzustellen, damit sich ein diffusiver Sedimenttransport auf das Vorland einstellen kann. Zum anderen wurde im Hauptgerinne eine ausreichende Sedimentmenge benötigt, die in suspendierter Form transportiert wird.

Für die Modelleinbauten wurde der Querschnitt eines geraden Flusslaufs mit einem halben Doppeltrapezgerinne zu Grunde gelegt, dessen Vorland mit Gras bewachsen ist (Abbildung 2). Die genauen Abmessungen sind in Branß (2015) zu finden.



Abbildung 2: Fertiggestellte Modelleinbauten

Die Versuche wurden mit verschiedenen Sedimentmengen durchgeführt, sodass sich neben der ebenen Sohle auch Transportkörper im Hauptgerinne ausbilden konnten. Zur Gewährleistung einer ausreichenden Sedimentsuspension im Hauptgerinne wurden die Fließgeschwindigkeiten auf $u_H/u_{krit} = 3-4$ (mit: u_H = Fließgeschwindigkeit im Hauptgerinne und u_{krit} = kritische Geschwindigkeit) eingestellt. Damit sich das aufgewirbelte Sediment ablagern konnte, mussten zusätzlich die Fließgeschwindigkeiten auf dem Vorland unter der kritischen Geschwindigkeit des Sediments liegen.

Als Sediment wurde ein Polystyrolgranulat mit einem Korndurchmesser von $d = 2,06$ mm und einer Dichte von $\rho_s = 1058$ kg/m³ gewählt. Sämtliche sedimentbezogenen Daten konnten dem Bericht *HSMD* (2012) entnommen werden.

2.2 Versuchsstand

Die Laborversuche wurden in der Wasserbauhalle des LWI in Braunschweig an einer neigbaren Geschieberinne durchgeführt. Die Rinne besitzt eine Gesamtlänge von 36,4 m, eine Breite von 2 m sowie eine Höhe von 0,8 m. Geschiebe und Sediment können über einen Sedimentkreislauf an den Anfang der Rinne zurückgeführt werden (Abbildung 3).

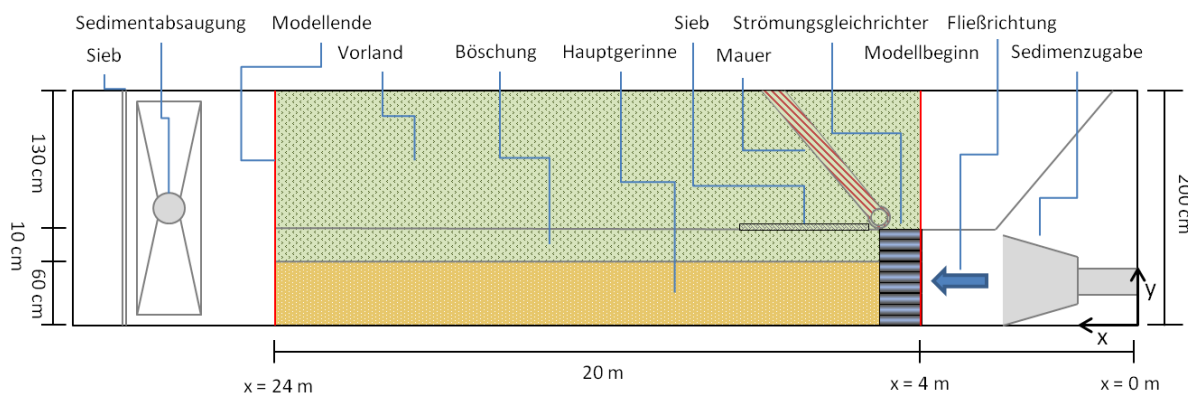


Abbildung 3: Schematische Übersicht der Modelleinbauten.

Für die Versuche wurde in der Rinne, auf 20 m Länge, ein halbes Doppeltrapezgerinne eingebaut. Das Vorland wurde 130 cm breit konstruiert. Die Böschung zum Hauptgerinne besaß eine Neigung von 1:1. Zur Simulation der grasartigen Vorlandrauheit wurden Böschung und Vorland mit einem 3 cm hohen Kunstrasen belegt. Die Gewässersohle wurde 60 cm breit aus Siebdruckplatten konstruiert und mit einer Einkorn-Schicht Kunststoffgranulat beklebt. Die Vorlandhöhe betrug 10,4 cm.

Zur Vermessung des Wasserspiegels und der Sedimentablagerungen wurden zwei Spitzentaster genutzt. Dafür wurde die Fließrichtung als x-Richtung definiert, die y-Richtung als horizontal, lateral zur Fließrichtung stehend und die z-Richtung als vertikale Komponente. In der gleichen Reihenfolge wurden die Geschwindigkeitskomponenten u , v und w definiert. Weitere Informationen zum Versuchsaufbau können der Arbeit von *Branß* (2015) entnommen werden.

2.3 Versuchsprogramm

Die für die Rehrenversuche benötigten Durchflüsse, Sohlengefälle und Wasserstände mussten in Vorversuchen ermittelt werden. Ein Sohlengefälle von 0,5 ‰ stellte sich als bester Kompromiss zwischen den geforderten unterkritischen Geschwindigkeiten auf dem Vorland und einer Suspension des Granulates im Hauptgerinne heraus.

Insgesamt wurden neun Rehrenversuche durchgeführt. Die nachfolgende Zusammenstellung und Aufbereitung der Versuchsergebnisse konzentriert sich auf Versuche mit und ohne Transportkörpern im Hauptgerinne. Das Verhältnis der Wasserstände für die Rehrenversuche ergab sich aus dem bereits erwähnten Kriterium von *Nezu et al.* (1999) und den Ergebnissen der Voruntersuchungen zu $Dr = h_V/h_H = 0,35$.

Der Versuchsaufbau jedes Versuchs war in zwei Bereiche eingeteilt. Bereich 1 erstreckte sich vom Modellbeginn bei $x = 4$ m bis $x = 17,3$ m und Bereich 2 reichte vom Ende des Bereichs 1 bis zum Ende des Modellaufbaus bei $x = 24$ m. Im Bereich 2 wurde die Uferkante, im Gegensatz zu Bereich 1, mit einer Reihe von zufällig angeordneten Steinen ($d \approx 2$ cm) besetzt, um die Auswirkung stark idealisierter Vegetation am Übergangsbereich zum Vorland abschätzen zu können.

Es wurden zwei Versuche (Versuche 1 und 2) ohne Transportkörper durchgeführt, die in den Versuchen 6 und 7 mit leicht veränderten Randbedingungen wiederholt wurden ($u_H/u_{krit} \approx 4$, $Dr = 0,35$, $Fr \approx 0,3$, $I_S = 0,5$ ‰, $\Delta t = 19$ h). Daneben fanden Versuche mit Transportkörpern im Hauptgerinne statt ($u_H/u_{krit} \approx 3$, $Dr = 0,35$, $Fr \approx 0,23$, $I_S = 0,5$ ‰, $\Delta t = 19$ h). Von diesen Versuchen wurde ein Versuch mit einem 1 cm niedrigeren Wasserstand durchgeführt (Versuch 4,

$Dr = 0,3$), ein Versuch mit doppelter Versuchsdauer (Versuch 9, $\Delta t = 38$ h) und ein Versuch (Versuch 5) mit einem niedrigeren Sohlengefälle von $I_s = 0,1$ ‰ ($u_H/u_{krit} \approx 2,2$, $Dr = 0,35$, $Fr \approx 0,2$, $\Delta t = 19$ h).

3 Ergebnisse

Im Experiment konnten durch diffusiven und advektiven Transport hervorgerufene Ablagerungen erzeugt werden. Advektive Transportvorgänge führten im Laborversuch, analog wie an der Elbe (Abbildung 2), zur Bildung von großflächigen Sedimentablagerungen auf dem Vorland, während diffusive Transportprozesse zur Ausbildung einer Rehne führten. Da, wie bereits erwähnt, der Schwerpunkt der Untersuchungen in der Analyse der diffusiven Transportprozesse lag, sind diese Gegenstand der nachfolgenden Ausführungen.

Die erzeugten Rehnen wiesen in allen Versuchen eine schmale bandartige Struktur und eine nahezu konstante Breite über die Länge des Modellaufbaus auf. In Richtung des Vorlands liefen die Rehnen diffus aus. Die Höhe der Rehnen erreichte maximal die Höhe des Kunstrasens. Kunststoffgranulat, das sich kurzfristig über die Höhe des Kunstrasens ablagerte, wurde durch die Strömung weitertransportiert obwohl auf dem Vorland im Mittel unterkritische Fließgeschwindigkeiten herrschten. Eine genaue Vermessung von Rehnenhöhe und -breite war somit nur bedingt möglich.

Die Versuche ohne Transportkörper (Versuch 6 und 7) wiesen im Versuchsbereich 1 im Mittel eine Rehne mit einer Breite von 6,5 cm auf. In Bereich 2 ergab sich eine mittlere Breite von $\Delta y = 5,7$ cm (Abbildung 4a). Die maximale Höhe der Rehne betrug ca. 2 cm (1 cm unter der Rasenhöhe).

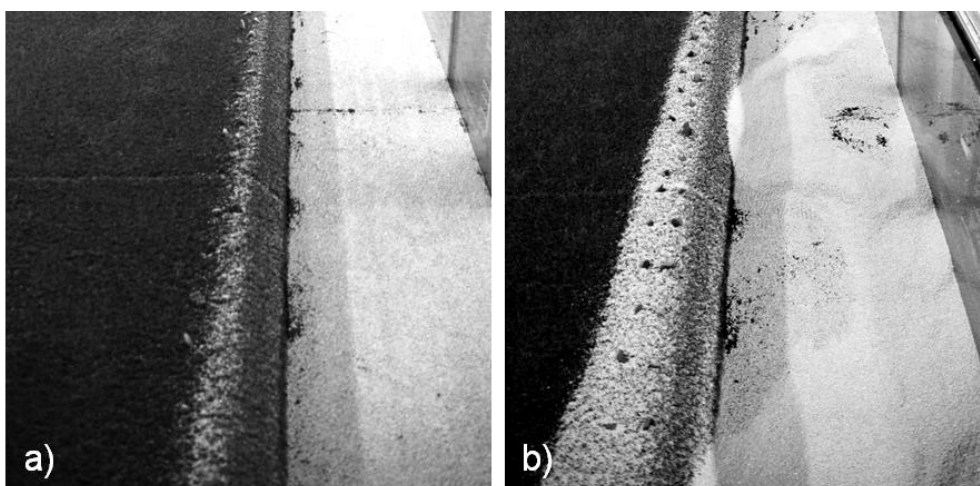


Abbildung 4: Im Laborversuch erzeugte Rehnen a) ohne Transportkörper im Hauptgerinne b) mit Transportkörpern

In den Versuchen 3 und 8, die mit Transportkörpern durchgeführt wurden, bildete sich eine signifikant breitere Rehne aus. Die Transportkörper wiesen eine durchschnittliche Höhe von 6 cm bei einem durchschnittlichen Abstand von 2 m auf. Im Bereich 1 zeigten die Rehen im Mittel eine Breite von $\Delta y = 11,35$ cm. Die maximale Mächtigkeit wurde zu 2,2 cm bestimmt. In Bereich 2 wiesen die Rehen, mit $\Delta y = 11,75$ cm im Mittel, eine ähnlich Breite wie in Bereich 1 auf (Abbildung 4b).

Die Absenkung des Wasserstands um 1 cm (Versuch 4) führte im Bereich 1 zur Halbierung der Rehenbreite ($\Delta y = 5,9$ cm). Dies stimmt tendenziell mit den Beobachtungen von *Cazanacli & Smith* (1998) überein, die bei niedrigeren Wasserständen ebenfalls die Entstehung kleinerer Rehen beschreiben und dies auf den kleineren Interaktionsbereich zwischen Hauptgerinne und Vorland zurückführen.

Die Verdopplung der Versuchszeit, von 19 h auf 38 h (Versuch 9), bewirkte eine Verbreiterung der Rehne um maximal 1 cm. Die Werte lagen damit in y-Richtung im Bereich der Messgenauigkeit.

Die Rehenbildung war auch bei einem niedrigeren Sohlengefälle von $I_s = 0,1$ ‰ (Versuch 5) und den daraus resultierenden, niedrigeren Fließgeschwindigkeiten möglich. Mit einer mittleren Rehenbreite von $\Delta y = 9,8$ cm in Bereich 1 und $\Delta y = 9,1$ cm in Bereich 2 entstanden breitere Rehen als in den Versuchen 6 und 7, jedoch schmalere Rehen als in den Versuchen 3 und 8.

Die Abschätzung der Auswirkungen von an der Uferkante angeordneten Steinen auf die Rehengeometrie stellte sich als schwierig heraus, da diese in den meisten Versuchen vernachlässigbar gering waren. Lediglich Versuch 4 mit einem 1 cm niedrigeren Wasserstand führte im Bereich der Steinanordnung zur Verbreiterung der Rehne um 3,5 cm. Die signifikante Auswirkung der Steinanordnung ist in diesem Fall durch den niedrigeren Wasserstand bedingt.

4 Diskussion

4.1 Turbulenzstruktur

Während der Versuche war im Übergangsbereich zwischen Hauptgerinne und Vorland eine Vielzahl unterschiedlicher Strömungsstrukturen zu beobachten. Abbildung 5 zeigt eine schematische Darstellung der beobachteten Strukturen. Der unausgefüllte Pfeil deutet die Fließrichtung des Wassers an.

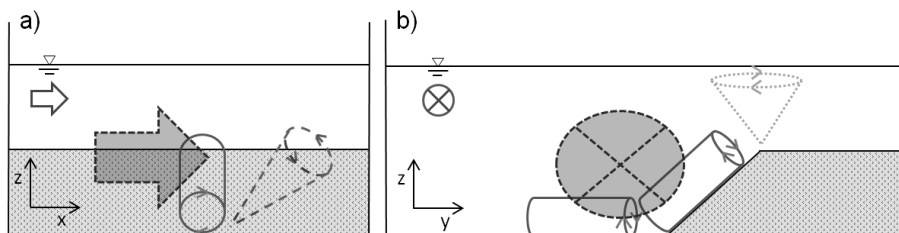


Abbildung 5: Schematische Darstellung der im Interaktionsbereich beobachteten Strömungsstrukturen a) Blick in y-Richtung b) Blick in x-Richtung

Im Bereich der oberen Böschungskante zeigten sich, sobald das Vorland überdeckt war, im gesamten Modell horizontale Verwirbelungen (gepunkteter Kreis in Abbildung 5b). Die Wirbel waren bei geringen Wasserständen auf dem Vorland am stärksten ausgeprägt. Durch die Rauheit der Gewässerberandungen wurden weitere Wirbelstrukturen induziert, deren laterale Achse parallel zu der jeweiligen Wandung lag (durchgezogene Zylinder in Abbildung 5a und b). Des Weiteren war in jedem Versuch eine markante longitudinale Turbulenz zu beobachten, die bestehende Wirbelstrukturen verstärkte und zu einem verstärkten Sedimenttransport auf das Vorland führte (gestrichelter, ausgefüllter Pfeil Abbildung 5a). Die Turbulenz trat periodisch am Böschungsfuß im Hauptgerinne auf und bildete aus den rauheitsinduzierten Wirbeln schräg nach vorne gerichtete Wirbelstrukturen (gestrichelte Trichterstruktur Abbildung 5a)

4.2 Rehenbildung als Prozess der natürlichen Sukzession

In den Versuchen zeigte das verwendete Polystyrolgranulat eine Anfälligkeit für geringe Geschwindigkeitsschwankungen. In der Folge konnte in den Laborversuchen ein pulsartiger, durch die horizontalen Wirbelstrukturen induzierter Sedimenttransport auf dem Vorland beobachtet werden. Der Sedimenttransport fand statt, obwohl die mittlere Fließgeschwindigkeit auf dem Vorland unterhalb von u_{krit} lag.

Die Anfälligkeit des Polystyrolgranulats für Geschwindigkeitsfluktuationen kann mit der geringen Dichte, dem großen Korndurchmesser von $d_{50} \approx 2$ mm und der Kornform begründet werden.

Andererseits wird die Rehenhöhe möglicherweise von Natur aus durch die Höhe der anstehenden Vegetation limitiert. Das jährliche Rehenwachstum wird von *Klasz et al.* (2014) an der Donau in Österreich mit maximal 11 mm/Jahr und an der Elbe von *Rommel* (2013) mit durchschnittlich 6,4 mm/Jahr angegeben. Der Höhenzuwachs einer Rehne liegt demnach in der Regel im Bruchteil von Zentimetern und stellt einen mehrjährigen Prozess dar. Uferbewuchs, wie beispielsweise gemähter Rasen, Gras oder Schilf, weist dagegen mindestens Höhen

im Dezimeterbereich auf. Dementsprechend ist ein zyklischer, sukzessionsgesteuerter Prozess denkbar, der in Abbildung 6 schematisch dargestellt ist.

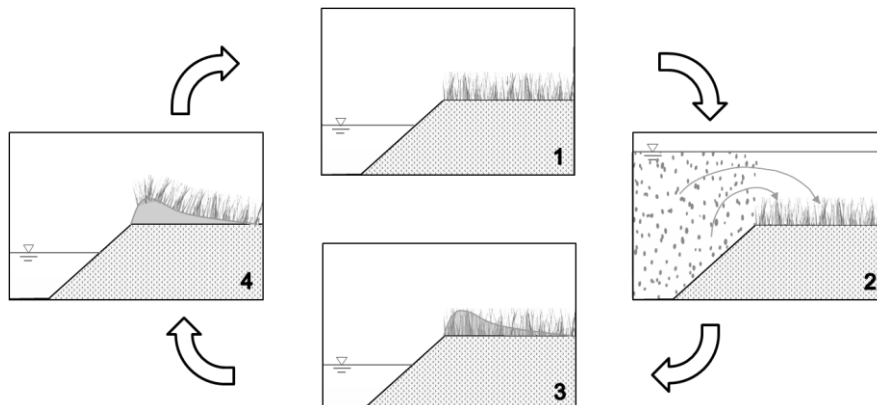


Abbildung 6: Sukzessionsgesteuerte Rehnengenese

Die Uferkante oder Altrehne eines Gewässers ist beispielsweise mit Gras bewachsen (1). Tritt ein Hochwasser auf, kommt es zum beschriebenen, diffusiven Transport von suspendiertem Sediment aus dem Hauptgerinne auf das Vorland (2). Unterstützt durch die strömungsberuhigende Wirkung des grasartigen Bewuchses, setzt sich das Sediment entlang der Uferkante ab und lagert sich bis zur Vegetationsoberkante an (3). Nach dem Hochwasser wächst auf den Sedimentablagerungen neues Gras. Das aufkommende Gras durchwurzelt die Ablagerungen und legt sie dadurch fest (4). Anschließend beginnt der Zyklus wieder von vorne.

5 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Rehnentstehung durch diffusive Transportprozesse von Sediment auf das Vorland untersucht. Im Laborversuch gelangen die Nachbildung der dafür nötigen Strömungsverhältnisse, sowie die erfolgreiche Nachbildung der zugehörigen Rehen. Die erhaltene Rehenmorphologie stimmt grundsätzlich gut mit den Informationen aus der Literatur überein.

Im Modell wurde die Bedeutung der unterschiedlichen Einflussfaktoren auf die Ausprägung der Rehen deutlich. Transportkörper und Wasserstand zeigten die stärksten Auswirkungen auf die Rehnenausbildung. Über die Fließgeschwindigkeiten hatte auch das Sohlgefälle einen geringen Einfluss auf die Ausbildung der Rehen. Die Versuchsdauer besaß dagegen nur einen untergeordneten Einfluss. Die Auswirkung von Ufervegetation auf die Rehnentstehung konnte in den Untersuchungen nicht erfasst werden. Dennoch legten die Versuche die Schlussfolgerung nahe, dass die Rehnentstehung möglicherweise neben der Strömung durch natürliche Sukzessionsprozesse bestimmt wird.

6 Literatur

- Adams, P.N.; Slingerland, R.L.; Smith, N.D. (2004): Variations in natural levee morphology in anastomosed channel flood plain complexes. *Geomorphology* 61.
- Branß, T. (2015): Experimentelle Untersuchungen zur Rehenbildung. TU Braunschweig Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Abt. Wasserbau.
- Cazanacli, D.; Smith, N.D. (1998): A study of morphology and texture of natural levees - Cumberland Marshes, Saskatchewan, Canada. *Geomorphology* 25, 43-55.
- Czernuszenko, W.; Koziol, A.; Rowinski, P.M. (2007): Measurements of 3D Turbulence Structure in a Compound Channel. *Archives of Hydro-Engineering and Environmental Mechanics* Vol. 54, 55–73.
- Dittrich, A. (1998): Wechselwirkung Morphologie/Strömung naturnaher Fließgewässer. (Habil.) Mitteilungen des Institutes für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe Heft 198.
- Fernandes, J.N.; Leal, J.B.; Cardoso, A.H. (2012): Flow structure in a compound channel with smooth and rough floodplains. *European Water* 38, 3-12.
- HSMD (2012): „Nachbildung von Sieblinien aus künstlichen Sohlmaterialien in experimentellen Untersuchungen“, Hochschule Magdeburg Stendal Fachbereich Wasser- und Kreislaufwirtschaft.
- Hudson, P.F. (2005): Natural Levees. *Encyclopedia of Water Science*.
- James, C.S. (1985): Sediment transfer to overbank sections. *Journal of Hydraulic Research* Vol. 23 No. 5, 435-452.
- Klasz, G.; Reckendorfer, W.; Gabriel, H.; Baumgartner, C.; Schmalfluss, R.; Gutknecht, D. (2014): Natural levee formation along a large and regulated river: The Danube in the National Park Donau-Auen, Austria. *Geomorphology* 215, 20-33.
- Knight, D.W.; Shiono, K. (1990): Turbulence measurements in a shear layer region of a compound channel, *Journal of hydraulic Research* Vol. 28 No.2, 175-196.
- Nezu, I.; Onitsuka, K.; Iketani, K. (1999): Coherent horizontal vortices in compound open –channel flows. Department of Civil & Global Environment Engineering, Kyoto University, Japan.
- Rommel, J. (2013): Anthropogen beeinflusste Ufer- und Vorlandentwicklung an der unteren Mittelelbe. *BAW Mitteilungen* Nr. 97, 149-170.
- Sellin, R.H.J. (1964): A Laboratory investigation into the interaction between the flow in the channel of a river and that over its flood plain. *La Houille Blanche* No. 7,793-802.

Autoren:

Prof. Dr.-Ing. habil. Andreas Dittrich

M. Sc. Till Branß

Leichtweiß-Institut für Wasserbau
Technische Universität Braunschweig
Beethovenstr. 51a
38106 Braunschweig

Leichtweiß-Institut für Wasserbau
Technische Universität Braunschweig
Beethovenstr. 51a
38106 Braunschweig

E-Mail: a.dittrich@tu-braunschweig.de

E-Mail: t.branss@tu-braunschweig.de

PROGEMIS[®] – „Software as a Service“ für das kommunale Gewässermanagement mit Planungs-, Dokumentations- & Kommunikationskomponente

Andreas Stowasser
Lars Stratmann
Jana Salim
Tabea Lagemann

Städte und Gemeinden haben den ökologischen Zustand der Gewässer 2. Ordnung gemäß den Anforderungen der EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) zu verbessern und Hochwasserrisiken gemäß Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie zu verringern. Um diesen Anforderungen in der Praxis mit den verfügbaren Mitteln nachzukommen, werden ökologische Aspekte der Gewässerunterhaltung und -entwicklung sowie der Umgang mit Hochwasserrisiken im PROZessgestützten GEWässerManagement- und Informationssystem PROGEMIS[®] zusammengefasst. Neben eingebundenen Daten und Planungen besteht das Managementsystem aus einem Basis- und einem Arbeitsplan, einer Dokumentationsebene und einem Maßnahmenkatalog. Eine implementierte Kommunikationsplattform ermöglicht die Beteiligung relevanter Akteure und der Bürger. Diese Bausteine sind in der Software über eine praxisorientierte Abbildung der maßgeblichen Prozesse verknüpft, die für eine erfolgreiche Umsetzung von Maßnahmen der Gewässerunterhaltung ablaufen sollten.

Stichworte: Gewässerunterhaltung, Managementsoftware, Informationssystem, PROGEMIS[®], Gewässerentwicklung, Hochwasserrisikomanagement

1 Hintergrund der Entwicklung von PROGEMIS[®]

Im Jahr 2015 befanden sich erst 10 % der Bäche und Flüsse in einem guten oder sehr guten ökologischen Zustand gemäß EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) – etwa ebenso viele wie im letzten Berichtsjahr 2009 (UBA, 2015). Vor diesem Hintergrund besteht weiterhin ein hoher Bedarf, Maßnahmen der Gewässerunterhaltung und -entwicklung konsequent an den ökologischen Bewirtschaftungszielen auszurichten und den Hochwasserschutz nachhaltig zu gestalten. Um diesen Anforderungen in der Praxis mit den verfügbaren Mitteln nachzukommen, bietet es sich an, ein integriertes Management von Hochwasserrisiken und zur Aufwertung der Gewässerqualität umzusetzen. Eine solche Vorgehensweise scheint insbesondere auch angesichts der im Zuge des Klimawandels zuneh-

menden Extremereignisse wie Starkregen und Trockenperioden sowie eines anhaltenden Biodiversitätsverlustes in Gewässerlebensräumen angebracht.

Städte und Gemeinden haben den ökologischen Zustand der Gewässer 2. Ordnung gemäß den Anforderungen der WRRL zu verbessern und Hochwasserrisiken gemäß Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (HWRM-RL) zu verringern. Für diese datenintensive und methodisch anspruchsvolle Aufgabe existiert bisher keine Software, welche die wesentlichen fachlichen und organisatorischen Aspekte der Gewässerunterhaltung (GU) mit integrierter Betrachtung von Hochwasserrisiken auf kommunaler Ebene praxis- und umsetzungsorientiert zusammenführt. Diese Situation besteht, obwohl zum Themenfeld GU und Gewässerentwicklung (GE) viele Studien vorliegen, die für dieses interdisziplinäre Fachgebiet umfangreiches Basiswissen enthalten (z. B. *TLUG*, 2011; *Koenzen et al.*, 2010; *DWA*, 2010; *Madsen & Tent*, 2000). In einer dieser Studien wurde festgestellt, dass GU-Maßnahmen oftmals nach veralteten Standards erfolgen und nachteilige Auswirkungen auf den ökologischen Zustand der Fließgewässer und/oder das Hochwasserrisiko haben (vgl. *Koenzen et al.*, 2010, S. 8).



Abbildung 1: Zur Gewährleistung der hydraulischen Leistungsfähigkeit können regelmäßige Gewässerunterhaltungsmaßnahmen erforderlich sein (*links: Böschungsmahd Hoyerswerdaer Schwarzwasser*). Je naturnäher ein Gewässerabschnitt, desto geringer sind die Unterhaltungsaufwendungen (*rechts: Auenbach in Colditz*).

In der Praxis führt die fehlende technische und praktische Umsetzung des punktuell vorhandenen Wissens tendenziell zu fachlich ungenügender Gewässerunterhaltungsplanung, Daten- und Wissensverlusten, erhöhtem Abstimmungsbedarf, höheren Kosten in Planung und Umsetzung sowie Nachsteuerungs-/Korrekturbedarf bei umgesetzten Maßnahmen. Nach Erfahrung der Autoren erfolgt die Gewässerunterhaltung oftmals überwiegend ereignisbezogen und ohne Entwicklungskonzept. Vielerorts ist die WRRL- und HWRM-RL-konforme Gewäs-

serunterhaltung nur eine Aufgabe von vielen, für die oft wenig bis keine Finanzmittel oder Personal verfügbar sind und Fachkompetenzen wie auch Verwaltungsstrukturen nicht ausreichen. Dennoch gilt es, prozessorientiert und methodisch qualifiziert den ökologischen Gewässerzustand mit den vorhandenen Ressourcen zu verbessern und gleichzeitig die Hochwasserrisiken zu verringern.

2 Ziel, Vorgehensweise und Modellregion

2.1 Zielstellung

Vor diesem Hintergrund wird im Rahmen des BMBF-Forschungsvorhabens „In_StröHmunG“ derzeit das webbasierte PROzessgestützte GEwässerManagement- und InformationsSystem „PROGEMIS®“ entwickelt. Die Software soll Städten und Kommunen ein fachlich qualifiziertes und organisatorisch effizientes Vorgehen bei der Erfüllung ihrer Pflichtaufgabe „Gewässerunterhaltung“ erleichtern. Maßgebliches Ziel von PROGEMIS® ist die Abbildung und Steuerung der wesentlichen Prozesse und Maßnahmen der Gewässerunterhaltung. Die Software soll dazu auch Schnittstellen zur Gewässerentwicklung und Vorgehensweisen zur Verringerung von Hochwasserrisiken aufzeigen. Sie erleichtert so die Erschließung von Synergieeffekten zwischen diesen Handlungsfeldern.

Planungs- und Umsetzungsprozesse sollen in der Software anschaulich abgebildet und praktische Anleitungen zur Maßnahmenrealisierung bereitgestellt werden, um das komplexe Aufgabenfeld und neues Fachwissen der Gewässerunterhaltung mit integrierten Effekten für die Gewässerentwicklung und die Verringerung von Hochwasserrisiken allen Akteuren einfach zugänglich zu machen. Dazu sollen ihre Funktionen in interaktiven Prozessdiagrammen und Maßnahmenblätter auf Basis von Expertenwissen nutzerfreundlich aufbereitet werden.

PROGEMIS® soll auch die wechselseitige Kommunikation mit den relevanten Akteuren und der allgemeinen Öffentlichkeit unterstützen. Vorgesehen sind einfache, internetbasierte Möglichkeiten zur Information und Kommunikation.

2.2 Fachlicher Hintergrund und Vorgehensweise

Fachlicher Hintergrund

Durch langjährige Tätigkeit für öffentliche Auftraggeber sind den Autoren die Prozesse und Abläufe der Fließgewässerentwicklung und -unterhaltung bekannt (*Stowasserplan*, 2012a/b, 2011, 2010a/b, 2006, 2004a/b; *Stowasser & Lagemann*, 2008a/b). Ebenfalls konnten mehrere planungspraktische und konzeptionell innovative Beiträge zum Hochwasserschutz und mit Bezug zum Themenfeld Ökologie/Naturschutz erbracht werden, z. B. im Rahmen des Plans Hoch-

wasservorsorge Dresden sowie verschiedener Pilotplanungen, u. a. im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (*Stowasserplan*, 2014a; *Stowasser*, 2013, 2006). Dabei konnten insbesondere ingenieurbiologische Bauweisen als Instrument für naturnahen Hochwasserschutz und die Entwicklung des ökologischen Zustands vertiefend analysiert und neue Planungsansätze entwickelt werden.

Der planerisch-konzeptionelle Ansatz für eine abschnittsweise Ermittlung von Entwicklungszielen, Handlungsbedarfen und Maßnahmen der Gewässerunterhaltung, die integriert einer ökologischen Aufwertung und Verringerung von Hochwasserrisiken dienen, konnte in der Modellregion Grimma, Colditz, Trebsen im Vorlauf zum Forschungsvorhaben „In_StröHmunG“ angewendet werden (vgl. *Kap. 2.3, Modellregion Grimma, Colditz, Trebsen*). Die dabei vorgenommene Überlagerung einer Ziel- und Bedarfsfestlegung im Sinne der Trittstein-Strahlwirkungskonzeption (vgl. *DRL*, 2008; *LANUV NRW*, 2011) und einer Vorläufigen Bewertung des Hochwasserrisikos (gemäß *Landesdirektion Sachsen*, 2012) dient der Auswahl von kosteneffizienten GU-Maßnahmen für eine integrierte Zielerreichung gemäß WRRL und HWRM-RL. Dieser planerische Ansatz bis zur Maßnahmenauswahl wird durch die Software PROGEMIS® unterstützt.

Dieser Vorgehensweise liegt die Überlegung zugrunde, dass der gute ökologische Zustand in der Modellregion Grimma, Colditz, Trebsen für etwa 38 % der Gewässerkilometer allein durch eine Umstellung der Gewässerunterhaltung erreicht werden kann und in den verbleibenden circa 62 % durch eine Kombination aus entsprechend ausgerichteter Gewässerunterhaltung und einzelnen umgestaltenden Gewässerausbaumaßnahmen. Eine Umstellung der Gewässerunterhaltung ist demnach der Schlüssel für eine effiziente und kostengünstige Maßnahmenumsetzung im Sinne der Ziele nach WRRL und HWRM-RL.

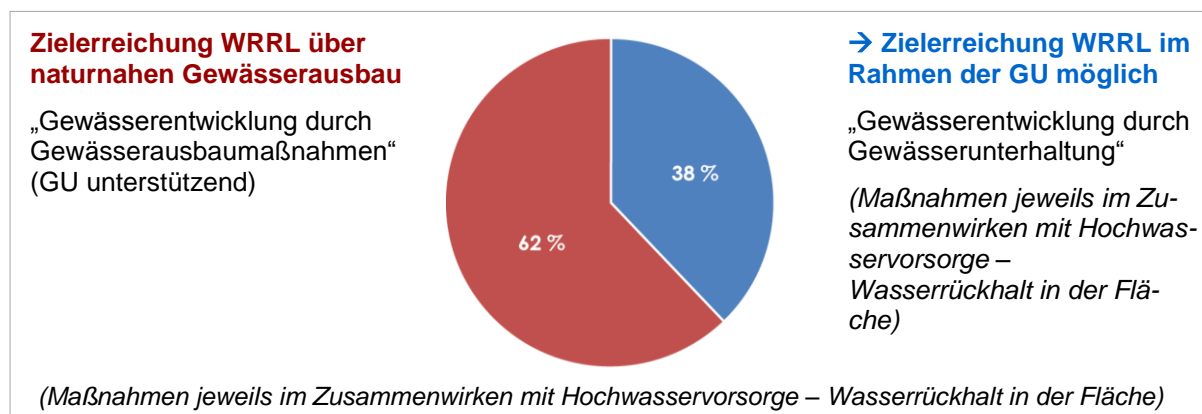


Abbildung 2: In Grimma können 38 % der Gewässerkilometer durch eine Umstellung der Gewässerunterhaltung (GU) den guten Zustand erreichen.

Vorgehensweise

Die Entwicklung der Software PROGEMIS[®] folgt dem Ansatz der agilen Softwareentwicklung und ist entsprechend der fachlich-planerischen und organisatorisch-umsetzungsorientierten Erfordernisse strukturiert. Sie gliedert sich in die Bausteine „Daten/Metadaten“, „Prozesse“, „Integration Maßnahmenkatalog“, „Management- und Informationssystem“ und „Kommunikationsplattform“.

Der Prototyp der Software wird in mehreren Kommunen ein Jahr lang hinsichtlich Funktionalität und Funktionsumfang erprobt. Anschließend erfolgt unter Nutzung der Erkenntnisse aus dieser intensiven Testphase die Verbesserung und Fertigstellung der ersten fertigen Version der Software PROGEMIS[®].

2.3 Modellregion Grimma, Colditz, Trebsen

PROGEMIS[®] wird im Forschungsvorhaben „In_StröHmunG“ unter anderem in den benachbarten Kommunen Grimma, Colditz und Trebsen erprobt. Die Software wird unter enger Einbeziehung von Gewässerunterhaltungslastträgern entwickelt. Dabei liegt ein Fokus der Testphase auf der Anwendung für die beiden interkommunal verlaufenden Fließgewässer 2. Ordnung „Mutzschener Wasser“ und „Launzige“. An ihnen kann sowohl die interkommunal abgestimmte Gewässerunterhaltung als auch der oben erwähnte planerisch-konzeptionelle Ansatz erprobt werden. Dafür genutzte Konzepte und Planungen konnten bereits im Vorfeld erarbeitet werden (*Stowasserplan, 2014b/c/d, 2013*).

Darüber hinaus kommt die Software auch für Planung, Umsetzung und Dokumentation sowie Fortschreibung der GU-Maßnahmen an allen Fließgewässern und Standgewässern 2. Ordnung zum Einsatz. Neben Mitarbeitern der Gemeinden werden auch Ausführungsbetriebe, Planer, Anlieger und die Bürger in die Testphase der Software einbezogen. Die Modellregion liegt im Übergangsbereich vom Mittelgebirge zum Tiefland. Somit erfolgt die Softwareerprobung für die wesentlichen Gewässertypen der Mittelgebirgs- und Tieflandregionen.

3 PROGEMIS[®]: Aufbau, Funktionen, Implementierung

Die Software PROGEMIS[®] wird als datenbankbasierte Managementsoftware mit Kartenmodul und einfacher Web-GIS-Funktionalität entwickelt. Kernbestandteile sind der mehrjährig ausgerichtete Basisplan, der jährliche Arbeitsplan, die Maßnahmendokumentation und -fortschreibung, ein Maßnahmenkatalog und eine Kommunikationsplattform.

3.1 Regelkreislauf und Datenmanagement

Grundlage der Software sind das Konzept für einen interaktiven Gewässerunterhaltungsplan und die dafür erforderlichen fachlichen Inhalte (*Stowasserplan*, 2012a). Dieses Konzept beinhaltet einen Maßnahmenkatalog, einen Basisplan, einen Arbeitsplan und eine Dokumentationsebene. Ausgehend von der Dokumentation können der Basisplan und der Arbeitsplan fortgeschrieben werden. Die Software unterstützt auch die zwischen Arbeitsplan und Dokumentation erfolgenden Schritte der Vergabe und Ausführung von GU-Maßnahmen.

Qualitätsstandards in Planung und Ausführung werden durch hinterlegte Maßnahmenblätter, optionale Standardleistungstexte für GU-Maßnahmen und durch visualisierte, erläuterte Planungsprozesse und Methodenbausteine gewahrt. Mit Einführung und Etablierung von PROGEMIS® beim Unterhaltungslasträger kann außerdem der kontinuierliche Wissenstransfer hinsichtlich aller relevanten Informationen zu Gewässern im jeweiligen Zuständigkeitsbereich gewährleistet werden. Entsprechende Geo- und Sachdaten sowie Karten sind einfach abrufbar.

Basis für einen gut funktionierenden Informationsfluss und ein erfolgreiches Management sind fachbezogene Regeln und Fachdatenbanken, in denen die Daten eines Fachthemas kompakt und übersichtlich aufbereitet sind. Demgemäß werden unterschiedliche Daten verschiedener Formate mit Relevanz für die GU, die Gewässerentwicklung (GE) und zum HWRM in einer Datenbank zusammengeführt. Die Nutzung dieser Daten wird durch Fachwissen und Regeln auf der Nutzeroberfläche der Software PROGEMIS® unterstützt. Damit wird eine auf andere Einzugsgebiete übertragbare Basis für effiziente und qualitätsgesicherte GU mit Effekten für die GE und das HWRM geschaffen.

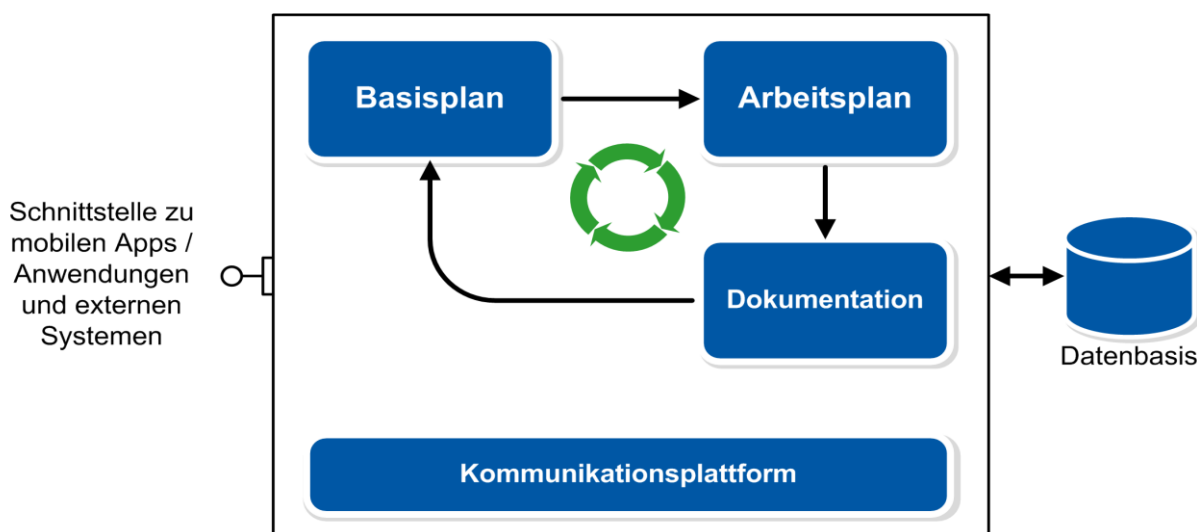


Abbildung 3: Regelkreis der Gewässerunterhaltung bestehend aus Basisplan, Arbeitsplan, Dokumentation und Fortschreibung in der Software PROGEMIS®

Der Einstieg in die Softwarenutzung kann in jedem Modul erfolgen. So kann der anfangs aufwändige aber mittelfristig effiziente Einstieg mit der Erstellung eines Basisplans beginnen. Es ist auch möglich, mit der einfacheren und fachlich weniger fundierten Erstellung eines jährlichen Arbeitsplans oder ganz einfach mit der Dokumentation der im aktuellen Jahr durchgeführten GU-Maßnahmen zu starten. Grundgedanke dabei ist, dass die dokumentierten Maßnahmen jährlich als Basis für die Fortschreibung (oder erstmalige Erstellung) des Basis- und/oder Arbeitsplans genutzt werden. Dabei kann eine schrittweise fachliche Verbesserung der Gewässerunterhaltungsplanung systematisch umgesetzt werden.

3.2 Basisplan

Der Basisplan stellt die Grundlage des GU-Maßnahmenplans dar. Seiner Erstellung liegen die Analyse der Bestandsdaten sowie Entwicklungsziele und Handlungsbedarf je Gewässerabschnitt zu Grunde. In ihm können – nach fachlichem Bedarf und unter der Maßgabe einer möglichst effizienten Zielerreichung sowie zunächst unabhängig von den im jeweils aktuellen Jahr verfügbaren Finanzmitteln – unterschiedliche Maßnahmetypen der Gewässerunterhaltung festgelegt werden. Dadurch kann im Basisplan die zur Zielerreichung erforderliche gesamte Maßnahmenpalette aufgezeigt werden, z. B. jährlich anfallende Arbeiten, alle zwei, drei oder fünf Jahre oder ereignisbezogen durchzuführende Maßnahmen.

Die Maßnahmen des Basisplans werden aus dem Maßnahmenkatalog ausgewählt und als Punkte, Linien oder Flächen verortet. Grundsätzlich unterschieden wird dabei in Routinemaßnahmen und Entwicklungsmaßnahmen. Routinemaßnahmen sind regelmäßig wiederkehrende Maßnahmen der GU wie z. B. Böschungsmahd oder Kontrolle von Treibgutrechen. Entwicklungsmaßnahmen werden gemäß der mit dem Basisplan angelegten Gesamtkonzeption für ein Einzugsgebiet festgelegt. Dabei handelt es sich z. B. um die schrittweise Entwicklung eines Gewässerabschnitts zur Verminderung des Hochwasserrisikos oder zur ökologischen Aufwertung und Verbesserung der fließenden Retention.

Zur Erstellung eines Basisplans wird es oftmals einer externen planerischen Dienstleistung bedürfen. Diese kann durch einen Planer über einen passwortgeschützten Zugang zur Web-GIS-Applikation der serverbasierten Datenbanksoftware PROGEMIS[®] erbracht werden. So kann der Planer die Maßnahmen direkt in den digitalen Gewässerunterhaltungsplan der Stadt/der Gemeinde einpflegen.

Qualität der geplanten GU-Maßnahmen und Konsistenz der eingepflegten Daten werden durch die in PROGEMIS[®] abgebildeten Prozesse und anerkannten methodischen Grundlagen von der Bestandserfassung bis zur Maßnahmenplanung gewährleistet.

3.3 Arbeitsplan

Die im Basisplan angelegten Maßnahmen werden von der Kommune oder ihrem Gewässerunterhaltungsdienstleister (z. B. Unterhaltungs- oder Landschaftspflegeverband) gemäß den im anstehenden Jahr verfügbaren personellen und finanziellen Ressourcen in einen Arbeitsplan übertragen. Damit besteht die notwendige Flexibilität, auf aktuelle Entwicklungen, z. B. kurzfristige Änderungen in der Verfügbarkeit von Finanzmitteln oder Ereignisse, wie z. B. Schäden am Gewässer nach einem Hochwasser, angemessen zu reagieren. Dazu kann der Arbeitsplan auch im laufenden Jahr ergänzt oder angepasst werden.

Eine Kommune kann auch ohne Basisplan mit einem Arbeitsplan für die Gewässerunterhaltung beginnen. Dieser würde dann vor allem auf den verfügbaren Bestandsdaten, der Ortskenntnis lokaler Akteure und Erfahrungswerten aus den vergangenen Jahren aufbauen. Sukzessive kann dann, ausgehend von diesem Arbeitsplan und den Bestandsdaten, Einzugsgebiet für Einzugsgebiet, fachlich qualifiziert ein Basisplan entwickelt werden.

3.4 Dokumentation und Fortschreibung

Der die Unterhaltungsmaßnahme ausführende Akteur (z. B. Bauhof, Landschaftspflegeverband oder Anlieger) dokumentiert gemäß dem Konzept für die Software PROGEMIS® die von ihm umgesetzten GU-Maßnahmen und schafft damit die Datenbasis für die nächste Fortschreibung des Arbeitsplans und des Basisplans. Er kann auch Erfahrungen bei der Umsetzung mit Text und Foto dokumentieren. Dafür bekommt er einen passwortgeschützten Zugang zu den an ihn vergebenen Maßnahmen des aktuellen Arbeitsplans freigeschaltet.

Mit der Dokumentation einer im Arbeitsplan terminierten Maßnahme wird diese in die GU-Dokumentation des laufenden Jahres verschoben. Die dokumentierten Maßnahmen ermöglichen einen Informationsrückfluss über Änderungen im Bestand oder erforderliche Folgemaßnahmen im nächsten Jahr. Sie können zur Aktualisierung des Basisplans und zur Erstellung des nächsten Arbeitsplans genutzt werden. Am Ende eines Jahres nicht durchgeführte Maßnahmen eines Arbeitsplans werden für die Übernahme in den Arbeitsplan des Folgejahres angeboten.

Diese jährliche Fortschreibung des Basis- und des Arbeitsplans wird softwareseitig durch Dialogfelder und Hilfestellung unterstützt. So können mit vergleichsweise geringem Aufwand beide Planungen stets aktuell gehalten werden.

3.5 Maßnahmenkatalog und Maßnahmenblätter

Ein wesentlicher Baustein der Software ist der in PROGEMIS® praxisgerecht aufbereitete Maßnahmenkatalog. In ihm sind GU-Maßnahmen in den drei Kategorien „Sohle“, „Ufer“ (einschließlich Gewässerrandstreifen) und „Kontrollen,

Abflusshindernisse, Schutzmaßnahmen“ gruppiert und mit anwenderfreundlichen Anleitungen, Abbildungen und Hinweisen zur Maßnahmenumsetzung aufbereitet. Das Risiko von Ausführungsfehlern oder ineffizientem Mitteleinsatz wird dadurch reduziert. Hintergrundinformationen zu Anwendungsmöglichkeit und Wirkung der jeweiligen Maßnahme sind schnell und einfach abrufbar.

Die Maßnahmenblätter enthalten je Maßnahme: Basisinformationen (z. B. Titel, Kategorie, Symbol), eine Kurzübersicht (z. B. Ziele, Kurzbeschreibung), Angaben zu Voraussetzungen und Folgen (z. B. Anforderungen an Bestand, minimale Maßnahmenlänge, Folgemaßnahmen), Informationen zur Ausführung (z. B. Zeitraum, Turnus der Durchführung, Kosten, Geräteeinsatz und naturschutzrechtliche Hinweise) sowie zur Wirkungsweise der Maßnahme (z. B. Wirkungszeitraum, Bedeutung für die Gewässerstruktur und den Hochwasserschutz).

3.6 Kommunikationsplattform

PROGEMIS[®] ermöglicht den Informationsaustausch und die Kommunikation zwischen den relevanten GU-Akteuren wie Stadt-/Gemeindeverwaltung, Planer, Ausführungsbetrieb, Anlieger und Bürger. Kommunen und Planer können PROGEMIS[®] als Planungsleitfaden und Qualitätssicherungswerkzeug bei der Planung und Umsetzungsbegleitung von Maßnahmen nutzen. Bürger können Mängel oder Handlungsbedarf an Gewässern mit Position, Kurznachricht und Foto melden. Von Maßnahmen betroffene Anlieger können frühzeitig in Maßnahmenabstimmungen einbezogen werden. Auf diese Weise besteht die Möglichkeit, Fehlerrisiken und Informationsverluste zu reduzieren sowie lokales Wissen und Beobachtungen zu nutzen.

Für die Verwaltung der Inhalte der PROGEMIS[®]-Webseite wird ein Content-Management-System (CMS) verwendet. Es erlaubt die bundeslandspezifische Bereitstellung von beispielsweise Gesetzen, Richtlinien und Hintergrundinformationen. Darüber hinaus kann jede Stadt oder Gemeinde auf ihrer eigenen Nutzeroberfläche geplante oder durchgeführte Maßnahmen für die Ansicht der allgemeinen Öffentlichkeit freischalten und aktuelle Mitteilungen und Hinweise in einem Nachrichtefeld veröffentlichen. So kann neben den aktiv beteiligten GU-Akteuren auch jeder Bürger einfach auf die lokalen und regionalen Gewässerdaten zugreifen und Hinweise zum aktuellen Arbeitsplan oder zu durchgeführten Maßnahmen geben, wenn diese Maßnahmen freigeschaltet wurden.

3.7 Beteiligte Akteure

Vorrangige Nutzer der Managementsoftware sind die GU-Verantwortlichen in den Kommunen. Darüber hinaus sind Planer und ausführende Akteure (z. B. Bauhof, Ausführungsbetrieb, Unterhaltungsverband oder Anlieger) als weitere Nutzer vorgesehen. Ihnen kommt bei der Dokumentation ausgeführter Maß-

nahmen, die für die laufende Aktualisierung des Datenbestands essentiell ist, eine besondere Bedeutung zu. Weiterhin kann jeder Bürger Basisdaten zu den Gewässern, ggf. auch zur Gewässerqualität und zum Hochwasserschutz, sowie Maßnahmen der Gewässerunterhaltung transparent nachvollziehen.

4 Erprobung und Vermarktung

Eine intensive Erprobungsphase der Software ist von Ende 2016 bis Ende 2017 vorgesehen. Es schließt sich eine kurze Phase für Verbesserungen und Optimierung an. Die Markteinführung von PROGEMIS® erfolgt im 1. Halbjahr 2018.

Gefördert wird das Projekt „In_StröHmunG“ vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Es ist Teil der BMBF-Fördermaßnahme „Regionales Wasserressourcen-Management für den nachhaltigen Gewässerschutz in Deutschland (ReWaM)“ im Förderschwerpunkt „Nachhaltiges Wassermanagement (NaWaM)“.

5 Literatur

- DRL, Deutscher Rat für Landespflege, Hrsg. (2008): Kompensation von Strukturdefiziten in Fließgewässern durch Strahlwirkung. Schriftenreihe des deutschen Rates für Landespflege, H. 81, Bonn.
- DWA, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, Hrsg. (2010): Merkblatt DWA-M 610. Neue Wege der Gewässerunterhaltung – Pflege und Entwicklung von Fließgewässern. DWA-Regelwerk. Ergebnis des UBA F+E-Vorhabens von Koenzen et al. 2010. Hennef.
- Koenzen, U., Henter, H.-P., Brandt, H., Donauer, A., Borggräfe, K., Bostelmann, R., Nadolny, I., Renner, J., Stöckmann, A., Jandt, H., Leifels, K., Schackers, B., Schorsch, B., Braukmann, U., Rupp, B., Stein, U., Fröhlich, K.-D. (2010): Unterhaltung kleiner Fließgewässer. Ergebnisse, Zusammenfassung und Broschüre.
- Landesdirektion Sachsen (2012): Aufgabenstellung: Erstellung von Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten und eines Hochwasserrisikomanagementplans.
- LANUV NRW, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Hrsg. (2011): Strahlwirkungs- und Trittsteinkonzept in der Planungspraxis, LANUV-Arbeitsblatt 16, Recklinghausen.
- Madsen, B. L. & Tent, L. (2000): Lebendige Bäche und Flüsse. Praxistipps zur Gewässerunterhaltung und Revitalisierung von Tieflandgewässern. Edmund Siemers-Stiftung.

- Stowasser, A. (2013): Vom Habitatanspruch zur Baumsetzung – Maßnahmen auf Grundlage morphologischer und biologischer Leitbilder. Artikel im Tagungsband „Erfolgskontrollen von Renaturierungsmaßnahmen an Fließgewässern“, Fachtagung 10./11.Juni 2013, Paderborn, NUA Seminarbericht Band 11.
- Stowasser, A. (2006): Präventiver Hochwasserschutz durch Verbesserung der fließenden Retention und Aufwertung der Gewässerstruktur mittels ingenieurbioologischer Bauweisen. In Tagungsband DWA Landesverbandstagung am 9.5.2006 in Dresden.
- Stowasser, A. & Lagemann, T. (2008a): Pflege und Entwicklung von Ufergehölzbeständen aus ingenieurbioologischen Bauweisen - Teil 1: Pflege- und Entwicklungsgrundsätze. KW, Korrespondenz Wasserwirtschaft, 1. Jg. Heft 8, S. 417-422.
- Stowasser, A. & Lagemann, T. (2008b): Pflege und Entwicklung von Ufergehölzbeständen aus ingenieurbioologischen Bauweisen - Teil 2: Bauweisenspezifische Pflegeschritte, KW, Korrespondenz Wasserwirtschaft, 1. Jg. Heft 9, S. 487-492.
- Stowasserplan (2014a): Maßnahmenplanung zur gemeinsamen Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) und Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-RL) unter Berücksichtigung des Biotopverbundkonzeptes an einem ausgewählten Beispiel in Sachsen – Teil 1, Maßnahmenplanung und Teil 2, Handlungsanleitung. In LfULG Schriftenreihe, Heft 10/2014 und Heft 11/2014, Dresden.
- Stowasserplan (2014b): Hochwasserrisiko in der Gemeinde Grimma und Synergien für die Gewässerentwicklung – Vorläufige Bewertung. Im Auftrag der Großen Kreisstadt Grimma.
- Stowasserplan (2014c): Hochwasserrisiko in der Gemeinde Trebsen und Synergien für die Gewässerentwicklung – Vorläufige Bewertung. Im Auftrag der Stadt Trebsen.
- Stowasserplan (2014d): Hochwasserrisiko in der Gemeinde Colditz und Synergien für die Gewässerentwicklung – Vorläufige Bewertung. Im Auftrag der Stadt Colditz.
- Stowasserplan (2013): Modellprojekt Nachhaltige Gewässerlandschaft Grimma – Colditz – Trebsen 2027, Entwicklungskonzeption & Umsetzungsschritte, Synergien und Potenziale Hochwasserschutz und Gewässerentwicklung. Im Auftrag der Großen Kreisstadt Grimma.
- Stowasserplan (2012a): [Konzept für einen] Datenbank gestützter Gewässerunterhaltungsplan mit Bewertung naturschutzfachlicher Belange (unveröffentlicht). Im Auftrag der LTV, Landestalsperrenverwaltung Sachsen, Betrieb Zwickauer Mulde/ Obere Weiße Elster.
- Stowasserplan (2012b): Maßnahmenplanung zur gemeinsamen Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) und Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-RL) unter Berücksichtigung des Biotopverbundkonzeptes an einem ausgewählten Beispiel des Gewässers Lossa in Sachsen. Im Auftrag des LfULG, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie.
- Stowasserplan (2011): Beschreibung / Steckbriefe ingenieurbioologischer Bauweisen zur Initiierung eigendynamischer Gewässerentwicklung. Im Auftrag des TLUG, Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie.
- Stowasserplan (2010a): Untersuchung zur Auswirkung der Umstellung von konventionellen Gewässerunterhaltungspflegemaßnahmen auf ökologisch orientierte eigendynamische Gewässerentwicklung. Im Auftrag des LfULG, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie.

- Stowasserplan (2010b): Vorbereitung und Prüfung der Durchführbarkeit hydromorphologischer Maßnahmen zur Verbesserung des ökologischen Zustands an ausgewählten Fließgewässern II. Ordnung. U. a.: Ableitung von Lösungsansätzen und Handlungsoptionen für die Unterhaltungslastträger. Im Auftrag des LfULG, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie.
- Stowasserplan (2006): Gewässerunterhaltungsplan Sebnitz, km 0.000-21.000, Gewässer 1. Ordnung, Landkreis Sächsische Schweiz. Im Auftrag der LTV, Landestalsperrenverwaltung Sachsen, Betrieb Oberes Elbtal.
- TLUG, Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie, Hrsg. (2011): Handbuch zur naturnahen Unterhaltung und zum Ausbau von Fließgewässern. Autoren: U. Koenzen, H. Brandt S. Döbbelt-Grüne, T. Pottgiesser. – Schriftenr. TLUG 99.
- UBA, Umweltbundesamt (2015): Ökologischer Zustand der Fließgewässer. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/gewaesserbelastung/fliessgewaesser/oekologischer-zustand-der-fliessgewaesser>.

Autoren:

Dr.-Ing. Andreas Stowasser
Dipl.-Ing. Lars Stratmann
Dipl.-Ing. Jana Salim
Dipl.-Ing. Tabea Lagemann

Stowasserplan GmbH & Co. KG
Hauptstraße 47f
01445 Radebeul

Tel.: +49 351 32300 460
Fax: +49 351 32300 469
E-Mail: stowasser@stowasserplan.de
stratmann@stowasserplan.de
salim@stowasserplan.de
lagemann@stowasserplan.de

Anforderungen des Gewässerschutzes an eine zukunftsfähige Abwasserbehandlung - Aktuelle Aspekte aus dem Forschungsprojekt NiddaMan

Christian Schaum
Thomas Fundneider
Peter Cornel
Ulrike Schulte-Oehlmann
Jörg Oehlmann

Abwasser ist ein Vielstoffgemisch. Mit der Zunahme der Kenntnisse bezüglich der Zusammensetzung und Wirkweise von Abwasserinhaltsstoffen auf Mensch und Umwelt ging und geht die Installation und Erweiterung von Abwasserbehandlungsverfahren einher. Die Forschung hat in den vergangenen Jahren gezeigt, dass selbst geringe Stoffkonzentrationen Auswirkungen auf die aquatische Umwelt haben. So stehen aktuell die „neuen“ Stoffgruppen Mikroschadstoffe, Mikroplastik, Nanopartikel und auch antibiotikaresistente Keime im Fokus. Gerade kleinere und mittlere Flussläufe in Deutschland sind vor allem in Zeit von Niedrigwasser geprägt von Einleitungen aus Kläranlagen. In Bezug auf die chemische Gewässerqualität und damit auch auf die aquatische Artenvielfalt ist noch immer weitgehend unbekannt, inwiefern diese Belastungsfaktoren zum unbefriedigenden Zustand der Gewässer beitragen, was im Rahmen des Verbundprojektes NiddaMan untersucht werden soll.

Stichworte: Gewässerschutz, Abwasserbehandlung

1 Einleitung

Intakte (Oberflächen-)Gewässer stellen ein wertvolles Gut dar; bspw. als Trinkwasserquelle, aber auch für vielfältige andere Nutzungen bis hin als Freizeitgewässer, z. B. in Form von Badegewässern und zur Naherholung. Wasser ist dabei nicht nur Wirtschaftsgut, sondern auch aus sich heraus bereits wertvoll und schützenswert (*Petrella, 2000; WRRL, 2000; UNESCO, 2011*).

Die Entwicklung der Gewässergüte korrespondierte viele Jahre mit dem Ausbau der Abwasserbehandlung. Der ökologische sowie chemische Zustand der Flüsse in Deutschland war um das Jahr 1900, insbesondere in Ballungsgebieten, sehr schlecht. Zur Verminderung der Verschlammung wurden Rechen und

Sandfänge errichtet. Bereits 1887 wurde in Frankfurt am Main, aber auch in anderen Großstädten, eine mechanische und chemische Behandlungsstufe, bestehend aus Sandfang, Rechenanlage, Dosierung von schwefelsaurer Tonerde und Kalk sowie einem anschließenden Absetzbecken in Betrieb genommen, vgl. *SEF* (2008).

In den ersten Dekaden des 20. Jahrhunderts schloss sich die Errichtung von biologischen Anlagen zur Oxidation von organischen Substanzen an, um deren sauerstoffzehrende Wirkung im Gewässer zu vermindern, vgl. *ATV* (1997), *Tilley* (2011), *ATV* (1999). 1926 wurde in Deutschland die erste großtechnische Anlage in Essen-Rellinghausen mit dem Belebtschlammverfahren in Betrieb genommen (*ATV*, 1999). Dem gleichen Ziel diente die seit ca. 1980 umgesetzte Nitrifikation der Abwässer. Seit ca. 1990 wurde in Deutschland die Nährstoffelimination zum Schutz der Gewässer vor Eutrophierung durch Umsetzung der Denitrifikation sowie Phosphorelimination etabliert, vgl. *ATV* (1999).

Mit dem Jahrtausendwechsel hat sich der Ansatz des Gewässerschutzes gewandelt. Stand in der Vergangenheit vor allem ein emissionsbezogener Ansatz, d. h. eine Verminderung der Austräge in das Gewässer im Vordergrund, so setzt die Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Union (*WRRL*, 2000) auf den immissionsbezogenen Ansatz, d. h. auf die Betrachtung des Eintrags/ der Auswirkung auf die Umwelt (Gewässer, Tier/ Mensch). Mit dem Inkrafttreten der Wasserrahmenrichtlinie am 20.12.2000 wurde ein rechtlicher Ordnungsrahmen für einen umfassenden europaweiten Gewässerschutz geschaffen (*WRRL*, 2000). Die im Rahmen der Umsetzung der *WRRL* durchgeführte Bestandsdatenerfassung zeigt dabei deutliche Defizite des Gewässerzustands in Deutschland. Im Jahr 2009 erreichten lediglich 10 % der deutschen Bäche und Flüsse einen „guten“ oder „sehr guten“ ökologischen Zustand (*BMU*, 2010).

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Entwicklung eines nachhaltigen Wasserressourcen-Managements am Beispiel des Einzugsgebiets der Nidda (NiddaMan)“, gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung, soll ein Beitrag für den nachhaltigen Gewässerschutz durch die Entwicklung von Systemlösungen für die wasserwirtschaftliche Praxis geleistet werden.

2 Was bedeutet Gewässerschutz?

2.1 Guter ökologischer Gewässerzustand: Bestandsaufnahme und Perspektive am Beispiel der Nidda

Der gute ökologische Gewässerzustand wird dann erreicht, wenn sowohl die chemische Gewässerqualität als auch die biologischen und morphologischen Qualitätskriterien erreicht werden.

In Bezug auf die chemische Gewässerqualität und damit auch auf die aquatische Artenvielfalt ist weitgehend unbekannt, inwiefern Belastungsfaktoren, wie z. B. Neobiota, Schad- und Pflanzennährstoffe, weitere abiotische Stressoren, zum unbefriedigenden Zustand der Gewässer beitragen. Dies gilt zukünftig insbesondere im Hinblick auf die Folgen des demographischen, klimatischen und Landnutzungswandels.

Weitgehend unterschätzt wird zzt. die Bedeutung von Quellpopulationen auf die Artenvielfalt des Makrozoobenthos im Gewässer. Naturnahe Gewässeroberläufe und -abschnitte können damit einen wichtigen Beitrag zur aquatischen Artenvielfalt leisten. Aus diesem Grund können gerade dort Einleitungen und abiotische Stressoren negative Folgen haben.

Als Modellgebiet wird im Rahmen des Forschungsprojektes NiddaMan das Einzugsgebiet der Nidda betrachtet. Die Nidda ist ein rd. 90 km langes hessisches Gewässer mit dem Quellgebiet im Vogelsberg und der Mündung in den Main bei Frankfurt. Sie steht dabei exemplarisch für zahlreiche Gewässer in Deutschland:

- Quellgebiet in Mittelgebirgslandschaft
- Intensive landwirtschaftliche und industrielle Nutzung im Einzugsgebiet
- Hohe Siedlungsdichte mit entsprechend hoher Zahl an Kläranlagen-einläufen; der Wasseranteil aus den Abläufen der Kläranlagen liegt im Sommer bis zu 50 % des Gesamtablaufs
- Defizitäre Gewässerstruktur; mäßig bis schlechter ökologischer Zustand trotz bereits durchgeführten Renaturierungsmaßnahmen; hohe stoffliche Belastung
- Diverse Nutzungskonflikte, bspw. Hochwasserschutz, Angelsport, Badegewässer etc.

2.2 Aktuell diskutierte Stoffe aus Einleitungen von Kläranlagen

Minimierung des Nährstoffeintrags ins Gewässer

Ausgehend von der Nährstoffbelastung der Gewässer wird eine deutliche Verschärfung des Parameters Phosphor diskutiert. Für den Bodensee bedeutet dies Ablaufwerte von 0,3 mg/l P_{ges} ; der Berliner Senat fordert für die Abwasserbehandlungsanlage Ruhleben Ablaufwerte von $\leq 0,05$ mg/l P_{ges} , vgl. *Rosenwinkel and Lorey* (2009); Hessen diskutiert zzt. für Kläranlagen > 100.000 Einwohnerwerte (EW) und einige Anlagen zwischen 10.000 bis 100.000 EW bei Einleitung in Gewässer mit sehr hoher Abwasserbelastung oder größerer Empfindlichkeit (z. B. Talsperren) Ablaufwerte von 0,2 mg/l P_{ges} im arithmetischen Monatsmittelwert und 0,4 mg/l P_{ges} in der 2-h-Probe. Auch für alle weiteren Kläranlagen < 100.000 EW ist eine Verschärfung der Ablaufwerte in Diskussion, vgl. *Cornel et al.* (2015).

Neben Phosphor sind die Stickstoffemissionen im Gewässer aus Sicht der Wasserrahmenrichtlinie kritisch zu bewerten. Im Rahmen der Bearbeitung der Orientierungswerte für das Gewässer sollen für Deutschland die Ammoniumwerte von 0,3 auf 0,1 mg/l gesenkt werden (*LAWA*, 2014). Zusätzlich soll erstmals ein Orientierungswert für Nitrit eingeführt werden, vgl. *LAWA* (2014). Für Einleitungen aus Abwasserbehandlungsanlagen kann vor allem die Ammonium- und Nitritemission von Relevanz sein. Insbesondere im Jahresgang kann es im Frühjahr bzw. Herbst durch die Anpassung der Biozönose in der Kläranlage zu einem Anstieg der Nitritemissionen, als Resultat einer unvollständigen Nitrifikation oder Denitrifikation, kommen.

Mikroschadstoffe, Nanopartikel und Mikroplastik

Für den Bereich der Abwasserbehandlung stehen verschiedene „neue“ Stoffgruppen wie Mikroschadstoffe (*Daughton und Ternes*, 1999; *Deblonde et al.*, 2011; *Verlicchi et al.*, 2012; *Luo et al.*, 2014), Nanopartikel (*Abels*, 2012) oder Mikroplastik (*AWI*, 2014; *Bannick et al.*, 2015; *UBA-AUT*, 2015; *Yang et al.*; 2015) im Fokus. Diese Stoffe gelangen durch verschiedene diffuse und punktförmige Eintragspfade in die Umwelt. Der Eintrag erfolgt über den gesamten Produktlebenszyklus, von der Produktion über die Anwendung bis zur Entsorgung, sowie aus natürlichen Quellen, vgl. *DWA* (2015), *Braun et al.* (2015).

Als Haupteintragspfad von Mikroverunreinigungen wurden Kläranlagenabläufe von kommunalen Anlagen identifiziert, vgl. *Carballa et al.* (2004), *Abegglen & Siegrist* (2012), *DWA* (2015). Verkehrsflächen führen zudem zu Emissionen von Mikroverunreinigungen, die durch Niederschlagsereignisse direkt oder über

Regenwasser- bzw. Mischwassereinleitungen in die Umwelt eingetragen werden, vgl. *Hürlimann* (2011), *Staufer & Ort* (2012), *Braun et al.* (2013), *Wittmer et al.* (2014). Der Anteil aus der Industrie und dem Gewerbe, als Direkteinleitungen, wird hingegen als gering eingeschätzt (*Ternes et al.*, 1999; *Braun & Gälli*, 2014). Im Vergleich hierzu sind die Belastungen aus landwirtschaftlich genutzten Flächen infolge des Einsatzes von künstlichen oder synthetischen Düngemitteln kurzzeitig, z. B. durch Ausschwemmungen, deutlich höher als in stark abwasserbelasteten Oberflächengewässern (*Götz*, 2012; *Wittmer et al.*, 2014; *Braun et al.*, 2015).

Aufgrund ihrer teilweise schlechten biologischen Abbaubarkeit können etliche Mikroverunreinigungen in den Gewässern und in Spuren sogar im Trinkwasser nachgewiesen werden. Wenngleich ein direktes Gesundheitsrisiko der Mikroverunreinigungen im Gewässer für den Menschen (noch) nicht nachgewiesen ist, so zeigt sich hier doch eine Verknüpfung zwischen Gewässerschutz und vorsorgendem Gesundheitsschutz, vgl. *Prasse et al.* (2015), *Oehlmann et al.* (2014).

(Antibiotikaresistente) Keime

Die Einleitung von Kläranlagenabläufen bedingt eine mikrobiologische Belastung des Gewässers, wobei durch den Einsatz von entsprechenden Desinfektionsverfahren eine Badegewässerqualität erreicht werden kann, vgl. *Bischoff* (2013), *Gnirss et al.* (2015). Es sei allerdings darauf hingewiesen, dass selbst bei Desinfektion der Kläranlagenabläufe in der Regel keine durchgängige Badegewässerqualität in den nachgelagerten Gewässern erreicht werden kann, insbesondere aufgrund von Mischwasserentlastungen bei Regenereignissen oder durch Einträge aus landwirtschaftlich genutzten Flächen (*Englmann & Schraner*, 2015; *Merkel et al.*, 2015).

Des Weiteren stehen antibiotikaresistente Keime im Fokus, wobei die Forschung im Bereich der Abwasserbehandlung noch am Anfang ist. Primäre Quelle für die Verbreitung von Antibiotikaresistenzen sind Abwässer aus Kliniken, kommunalen Kläranlagen und Abwässer der Mast- und Lebensmittelbetriebe. Neben dem Einsatz von Antibiotika kann es auch durch die Emissionen von Bioziden als Desinfektionsmittel oder anderen antimikrobiell wirksamen Chemikalien zu einer Co-Selektion von Antibiotikaresistenzen kommen. Dabei sind Kläranlagen eine wichtige sekundäre Quelle, in der es zu einer Akkumulation der Resistenzen aus Primärquellen kommen kann (*Schwartz & Alexander*, 2014; *Exner und Schwartz*, 2015; *Kaeseberg et al.*, 2015; *Krebs et al.*, 2015).

3 Maßnahmen zur Reduktion von Einleitungen aus Kläranlagen

3.1 Verbot von Stoffen zum Gewässerschutz

Einhergehend mit der Einführung der Abwasserbehandlung wurden auch regulative sowie technische Maßnahmen ergriffen und z. T. internationale Vereinbarungen wie bspw. die Stockholm-Konvention über persistente organische Schadstoffe getroffen, damit schwer abbaubare bzw. eliminierbare Substanzen nicht in das Abwasser eingeleitet werden. Damit verbunden gab es Verbote von Stoffen, wie z. B. von eutrophierenden Enthärtern (Polyphosphaten) in Waschmitteln (ATV, 1997; Klöpffer & Scheringer, 2000).

Auch für Mikroschadstoffe werden vergleichbare Ansätze diskutiert. In Schweden sind bspw. Ärzte dazu angehalten, bei gleicher Wirksamkeit ein entsprechend umweltfreundlicheres Medikament zu verschreiben. Hierzu wurde ein PBT-Index (*Persistence, Bioaccumulation, Toxicity*) erarbeitet, der die Stabilität des Medikaments (Persistenz), die Anreicherung in der Umwelt (Bioakkumulation) und die Toxizität bewertet, vgl. Kümmerer (2004). In Deutschland, aber auch in anderen Ländern, wird eine gesetzliche Regelung zum Verbot von Mikroplastik in Kosmetik- und Körperpflegeprodukten diskutiert.

3.2 Verfahren für eine zukünftige Abwasserbehandlung

Abwasserableitung von Siedlungsstrukturen

Die Abwasserableitung von Siedlungsstrukturen erfolgt derzeit flächendeckend durch zwei Entwässerungssysteme (Misch- und Trennsysteme). Der Anschlussgrad betrug in Deutschland im Jahr 2013 an die öffentliche Kanalisation 96,9 %, wovon 42,2 % an eine Mischkanalisation angeschlossen waren (DESTATIS, 2015). Die Mischkanalisation leitet Schmutzwasser aus häuslichen, gewerblichen, landwirtschaftlichen oder sonstigen Quellen in die Kläranlage ab. Durch Niederschlagsereignissen werden Schadstoffe und Keime von Verkehrsflächen, Dächern, Fassaden und Grünflächen in die Kanalisation eingeleitet, vgl. Lye (2009), Lee & Bang (2000), Braun et al. (2015). Während starken Niederschlagsereignissen wird verschmutztes Niederschlagswasser sowie ein Teil des ungereinigten Abwassers direkt, durch Entlastungsanlagen in die Gewässer emittiert. Die Ableitung von Siedlungsstrukturen ist in der Regel nur einer von vielen Einflussfaktoren, der auf den ökologischen Zustand des Gewässers wirkt, vgl. Fischer (1998). Ein umfassender Gewässerschutz kann nur gewährleistet werden, wenn die Einträge aus diffusen Quellen und Entlastungsanlagen minimiert werden oder eine (Teil-)Behandlung erfolgt. Zudem ist eine verfahrenstechnische Anpassung der Abwasserbehandlung an die „neuen“ Schadstoffe notwendig.

Verfahrenstechnische Erweiterung von Kläranlagen

Die derzeit eingesetzten physikalischen, biologischen und chemischen Verfahren der Abwasserbehandlung sind nicht darauf ausgelegt, die in Kapitel 2.2 diskutierten weitergehenden Anforderungen an den Gewässerschutz zu erreichen, vgl. *DWA (2013)*, *DWA (2015)*.

Für die weitergehende Minimierung der Nährstoffeinträge gilt es, die vorhandenen, bereits installierten Verfahren der Abwasserbehandlung zu optimieren, bspw. durch Anpassung der Phosphatfällung oder der Denitrifikation zur Minimierung der Stickstoffeinträge.

Ein weitergehender Feststoffrückhalt, bspw. durch entsprechende Filtrations- und Membranverfahren, bildet die Basis für den Rückhalt von verschiedenen Stoffgruppen, bspw. Phosphor und Mikroplastik und als Vorbehandlung für eine Desinfektion (*Schaum, 2016*).

Für die Elimination von Mikroschadstoffen stehen vor allem die Adsorption und die Ozonierung zur Verfügung, auch hier in Kombination mit Verfahren für einen weitergehenden Feststoffrückhalt (*Cornel et al., 2015*).

Grundsätzlich sollte ein ganzheitlicher Ansatz für den weitergehenden Gewässerschutz verfolgt werden, wobei neue Verfahren mit bestehenden Verfahren (z. B. Fällung und Flockung, Feststoffrückhalt) zu verknüpfen sind und somit die Nutzung von Synergien ermöglicht wird.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Abwasser ist ein Vielstoffgemisch, geprägt durch die Ausscheidungen des Menschen, die verwendeten Wasch- und Reinigungsmittel, Arzneimittel sowie durch den Stoffeintrag aus Gewerbe- und Industriebetrieben.

Mit der Zunahme der Kenntnisse bezüglich der Zusammensetzung und Wirkweise von Abwasserinhaltsstoffen auf Mensch und Umwelt ging und geht die Installation und Erweiterung von Abwasserbehandlungsverfahren einher, angefangen vom Bau der Kanalisation im 19. Jahrhundert zur Sicherstellung einer hygienischen Grundversorgung bis hin zu unseren aktuellen Kläranlagen zur Elimination von Kohlenstoff, Stickstoff und Phosphor.

Die Forschung hat in den vergangenen Jahren gezeigt, dass selbst geringe Stoffkonzentrationen Auswirkungen auf die aquatische Umwelt haben. So stehen aktuell die „neuen“ Stoffgruppen Mikroschadstoffe, Mikroplastik, Nanopartikel und auch antibiotikaresistente Keime im Fokus.

Gerade kleinere und mittlere Flussläufe in Deutschland sind vor allem in Zeit von Niedrigwasser geprägt von Einleitungen aus Kläranlagen. In Bezug auf die chemische Gewässerqualität und damit auch auf die aquatische Artenvielfalt ist noch immer weitgehend unbekannt, inwiefern Belastungsfaktoren, wie z. B. Neobiota, Schad- und Pflanzennährstoffe, weitere abiotische Stressoren, zum unbefriedigenden Zustand der Gewässer beitragen.

Die Abwasserbehandlung der Zukunft wird die Anforderungen des Gesundheits- und Gewässerschutzes, aber auch des Ressourcenschutzes erfüllen (Schaum, 2016). Die Kläranlage wird damit zu einem Systemdienstleister: Sichere Abwasserableitung aus der Siedlung, Behandlung für den Gewässerschutz, Bereitstellung von Energie aus Abwasser/Klärschlamm, Erzeugung von Produkten bspw. Wasser zur Bewässerung oder Düngemittel.

5 Danksagung

Die Ergebnisse sind Bestandteil des Forschungsprojektes „Entwicklung eines nachhaltigen Wasserressourcen-Managements am Beispiel des Einzugsgebiets der Nidda (NiddaMan)“, gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung, Förderkennzeichen: 02WRM1367.

6 Literatur

- Abegglen C. und Siegrist H. (2012). Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser - Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen, Bundesamt für Umwelt, Bern.
- Abels A. (2012). Nanotechnologie und Wasserwirtschaft. KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall 59(2).
- ATV (1997). ATV-Handbuch - Biologische und weitergehende Abwasserreinigung. Ernst und Sohn Verlag, Berlin.
- ATV (1999). Geschichte der Abwasserentsorgung, 50 Jahre ATV: 1948 - 1998, Hennef.
- AWI (2014). Mikroplastik in ausgewählten Kläranlagen des Oldenburgisch-Ostfriesischen Wasserverbandes (OOWV) in Niedersachsen, Probenanalyse mittels Mikro-FTIR Spektroskopie, Abschlussbericht, Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI), Biologische Anstalt Helgoland.
- Bannick C. G., Brand K., Jekel M., König F., Miklos D. und Rechenberg B. (2015). Kunststoffe in der Umwelt - Ein Beitrag zur aktuellen Mikroplastikdiskussion. KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall 62(1), 36-41.
- Bischoff A. (2013). Desinfektion von behandeltem Abwasser - Vergleich verschiedener Desinfektionsverfahren, Dissertation. Schriftenreihe IWAR 225.
- BMU (2010). Die Wasserrahmenrichtlinie - Auf dem Weg zu guten Gewässern, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin.

- Braun C. und Gälli R. (2014). Mikroverunreinigungen aus Industrie und Gewerbe - Erste Grundlagenerhebung mittels Umfrage bei den Kantonen zu vorhandenen Informationen, BMG Engineering AG, Schlieren, Schweiz.
- Braun C., Gälli R. und Kammer C. (2013). Belastungen durch Gleisabwasser - Emissionen aus dem Bahnverkehr in Fließgewässern. *Aqua und Gas* 7/8, 40 - 9.
- Braun C., Gälli R., Leu C., Munz N., Wildhaber Y. S., Strahm I. und Wittmer I. (2015). Mikroverunreinigungen in Fließgewässern aus diffusen Einträgen, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern.
- Carballa M., Omil F., Lema J. M., Llombart M., García-Jares C., Rodríguez I., Gómez M. und Ternes T. (2004). Behavior of pharmaceuticals, cosmetics and hormones in a sewage treatment plant. *Water Research* 38(12), 2918-26.
- Cornel P., Schaum C. und Knopp G. (2015). Weitergehende Behandlung von Kläranlagenabläufen, DWA - WasserWirtschafts-Kurs P/2 (ISBN 978-3-88721-266-7), 04.-06. November 2015, Kassel.
- Daughton C. G. und Ternes T. A. (1999). Pharmaceuticals and personal care products in the environment: Agents of subtle change? *Environmental Health Perspectives* 107, 907-38.
- Deblonde T., Cossu-Leguille C. und Hartemann P. (2011). Emerging pollutants in wastewater: A review of the literature. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 214(6), 442-8.
- DESTATIS (2015). Öffentliche Wasserversorgung und öffentliche Abwasserentsorgung 2013, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.
- DWA (2013). 26. Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef.
- DWA (2015). Möglichkeiten der Elimination von anthropogenen Spurenstoffen, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef.
- Englmann E. und Schraner T. (2015). Obere/Mittlere Isar - Maßnahmen zur Verbesserung der Badegewässerqualität. *Gewässerschutz - Wasser - Abwasser (GWA)* 236, 31.1-11.
- Exner M. und Schwartz T. (2015). RiSKWa-Statuspapier, Bewertungskonzepte der Mikrobiologie mit den Schwerpunkten neue Krankheitserreger und Antibiotikaresistenzen, Ergebnisse des Querschnittsthemas „Bewertungskonzepte der Mikrobiologie“, Herausgeber DECHEMA e.V., Frankfurt am Main.
- Fischer J. (1998). Einfluß von Mischwassereinleitungen auf den Stoffhaushalt und die Biozönose kleiner Fließgewässer im ländlichen Raum. Dissertation, Universität Kassel, Verein zur Förderung der Fachgebiete Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik an der Univ.-Gh Kassel, Kassel.
- Gnirss R., Lüdicke C., Beraktschjan M., Renner P., Feuerpfeil I., Dizer H., Szewzyk R. und Selinka H.-C. (2015). Abwasserdesinfektion - Verfahrenvergleich in Bezug auf Indikatororganismen. *KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall* 62(3), 225-38.
- Götz C. W. (2012). Mikroverunreinigungen aus Nutztierhaltung. *Aqua und Gas* 11.
- Hürlimann J. (2011). Auswirkungen von Strassenabwasser auf Oberflächengewässer: Gewässerökologische Beurteilung. *GWA* 91(11), 793-801.
- Kaeseberg T., Blumensaat F., Zhang J. und Krebs P. (2015). Assessing antibiotic resistance of microorganisms in sanitary sewage. *Water Science and Technology* 71(2), 168-73.

- Klöpffer W. und Scheringer M. (2000). Persistente Organische Schadstoffe, in *Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung*, 12 (6), S. 3074-309.
- Krebs P., Berendonk T. U., Bernad L., Caucci S., Gurke R., Henzen D., Käseberg T., Knoche R., Kühn V., Lucke N., Marx C., Oertel R., Schubert S. und Timpel P. (2015). Antibiotika und Resistenzbildung im Abwasser. *Gewässerschutz - Wasser - Abwasser (GWA)* 236, 53.1-11.
- Kümmerer K. (2004). *Pharmaceuticals in the environment: sources, fate, effects and risks*, Springer Verlag, Berlin.
- LAWA (2014). *Rahmenkonzeption Monitoring, Teil B: Bewertungsgrundlagen und Methodenbeschreibungen*, Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), Ständiger Ausschuss Oberirdische Gewässer und Küstengewässer.
- Lee J. H. und Bang K. W. (2000). Characterization of urban stormwater runoff. *Water Research* 34(6), 1773-80.
- Luo Y. L., Guo W. S., Ngo H. H., Nghiem L. D., Hai F. I., Zhang J., Liang S. und Wang X. C. C. (2014). A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment. *Science of The Total Environment* 473, 619-41.
- Lye D. J. (2009). Rooftop runoff as a source of contamination: A review. *Science of the Total Environment* 407(21), 5429-34.
- Merkel W., Strathmann M., Tondera K., Klaer K., Schoenemann B. und Jardin N. (2015). *Sichere Ruhr - Stand und Perspektiven einer zukünftigen Badenutzung*. *Gewässerschutz - Wasser - Abwasser (GWA)* 236, 32/1-17.
- Oehlmann J., Schulte-Oehlmann U., Prasse C. und Ternes T. A. (2014). The Challenge: Chemical and ecotoxicological characterization of wastewater treatment plant effluent, In *Response: What are the challenges and prospects? An academic perspective*, *Environmental Toxicology and Chemistry*, 33, 2408-2410.
- Petrella R. (2000). *Wasser für alle - Ein globales Manifest*, Rotpunktverlag, Zürich, Schweiz.
- Prasse C., Stalter D., Schulte-Oehlmann U., Oehlmann J. und Ternes T. A. (2015). Spoilt for choice: A critical review on the chemical and biological assessment of current wastewater treatment technologies. *Water Res* 87, 237-70.
- Rosenwinkel K.-H. und Lorey C. (2009). *Gewässerschutz in Deutschland. Viel erreicht? Viel zu tun?* KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall 56(6), 570-6.
- Schaum C. (2016). *Abwasserbehandlung der Zukunft: Gesundheits-, Gewässer- und Ressourcenschutz*, Habilitation. Schriftenreihe IWAR 233 (Veröffentlichung in Vorbereitung).
- Schwartz T. und Alexander J. (2014). Antibiotikaresistenzen in Abwasser - Nachweis und Vermeidung der Verbreitung. KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall 61(3).
- SEF (2008). *Rein in den Main, Stadtentwässerung Frankfurt am Main (SEF)*.
- Stauer P. und Ort C. (2012). Diffuse Einträge aus Siedlungen: Ergebnisse einer Situationsanalyse. *Aqua und Gas* 92(11), 42-50.
- Ternes T. A., Hirsch R., Stumpf M., Eggert T., Schuppert B. und Haberer K. (1999). *Nachweis und Screening von Arzneimittelrückständen Diagnostika und Antiseptika in der aquatischen Umwelt.*, Bundesministerium für Bildung Wissenschaft Forschung, Bonn.
- Tilley D. (2011). *Aerobic Wastewater Treatment Processes, History and Development*, IWA Publishing, London.

- UBA-AUT (2015). Mikroplastik in der Umwelt, Vorkommen, Nachweis und Handlungsbedarf, REP-0550, Umweltbundesamt, Wien, Österreich.
- UNESCO (2011). Water Ethics and Water Resource Management, UNESCO Bangkok.
- Verlicchi P., Al Aukidy M. und Zambello E. (2012). Occurrence of pharmaceutical compounds in urban wastewater: Removal, mass load and environmental risk after a secondary treatment-A review. Science of The Total Environment 429, 123-55.
- Wittmer I., Junghans M., Singer H. und Stamm C. (2014). Beurteilungskonzept für Mikroverunreinigungen aus diffusen Einträgen, Eawag: Das Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs, Dübendorf.
- WRRL (2000). Richtlinie 2000/60/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik.
- Yang D., Shi H., Li L., Li J., Jabeen K. und Kolandhasamy P. (2015). Microplastic Pollution in Table Salts from China. Environ Sci Technol. 49 (22), 13622-13627.

Autoren:

Dr.-Ing. Christian Schaum
Thomas Fundneider, M.Sc.
Prof. Dr.-Ing. Peter Cornel

Prof. Dr. Jörg Oehlmann
Dr. Ulrike Schulte-Oehlmann

Technische Universität Darmstadt
Institut IWAR
Fachgebiet Abwassertechnik
Franziska-Braun-Straße 7
64287 Darmstadt

Goethe Universität Frankfurt
Abteilung Aquatische Ökotoxikologie,
Fachbereich Biowissenschaften
Max-von-Laue-Str. 13
60438 Frankfurt

Tel.: +49 (6151) 16 20319
Fax: +49 (6151) 16 20305
E-Mail: c.schaum@iwar.tu-darmstadt.de

Tel.: +49 (69) 798 42142
Fax: +49 (69) 798 42141
E-Mail: oehlmann@bio.uni-frankfurt.de



WEBAC – alles, was abdichtet.

WEBAC ist Erfahrung, Kompetenz
und Innovation in Sachen Bauwerks-
abdichtung.

Seit über 35 Jahren entwickeln wir
leistungsfähige und nachhaltige
Produkte zur Erhaltung und zum
Schutz von Bausubstanz.

Unsere Formel – Ihre Lösung.

WEBAC®

www.webac.de

Bestimmung der Hochwassergefahr für stau- geregelte und verzweigte Gewässersysteme unter Berücksichtigung verschiedener Steuerungs- szenarien am Beispiel der Stauhaltung Mühlendamm/Kleinmachnow in Berlin

Dr. Frank Schumacher
Dr. Benjamin Creutzfeldt

Das Erstellen von Hochwassergefahrenkarten und Überschwemmungsgebietskarten ist für staugeregelte und verzweigte Gewässersysteme eine Herausforderung. Durchflüsse können durch die Steuerung der Wehre aufgeteilt und zurückgehalten, die Wasserstände abhängig von der ereignisbezogenen Steuerung beeinflusst werden. Ein direkter Zusammenhang zwischen Durchflüssen und Wasserständen ist damit nicht gegeben und extremwert-statistische Verfahren sind alleine nicht geeignet, Hochwassergefahren zu beschreiben. Dies betrifft auch die Berliner Stauhaltung Mühlendamm/ Kleinmachnow mit ihren Stauanlagen Mühlendamm, Kupfergraben, Oberschleuse und Kleinmachnow, über die die Zuflüsse aus der Spree, dem Oder-Spree-Kanal und der Dahme sowie zahlreicher kleinerer Nebengewässer abgeführt werden.

Methodisch wird der Einfluss der Wehrsteuerung mittels einem hydronumerischen 1D-Modells berücksichtigt, wobei ausgehend von vergangenen Ereignissen vorausschauende Steuerungsszenarien entwickelt werden, mit dem Ziel das Risiko negativer Auswirkungen von Hochwasserereignissen zu minimieren. Mittels dem Programmpaket GERRIS/HYDRAX/QSim der Bundesanstalt für Gewässerkunde wurden dazu drei extreme Hochwasserereignisse (im Sinne hoher Wasserstände) aus den Jahren 1975, 1994 und 2011 mit Hilfe einer instationären hydronumerischen Berechnung untersucht. Die Modellrandbedingungen für unterschiedliche Jährlichkeiten wurden durch die Skalierung der gemessenen Ganglinien auf modellierte Zuflüsse (NA-Modellierung des Landes Brandenburg) sowie eine extremwertstatische Auswertung der Abflüsse abgeleitet. Durch einen iterativen Bilanzausgleich unter Berücksichtigung der Retention wurden anschließend plausible Zu- und Abfluss-Randbedingungen bestimmt.

Gegenüber der Ist-Steuerung wurden anschließend in Zusammenarbeit mit dem WSA Berlin Steuerungsszenarien erarbeitet. Im Hochwasserfall sollte die Schifffahrt solange wie möglich aufrechterhalten, ein bestimmter schadensfreier Wasserstand nicht überschritten und Bauwerke mit Holzpfehlgründungen durch das notwendige Absenken des Wasserstandes im Wehrbereich nicht geschädigt werden.

Im Ergebnis konnte gezeigt werden, dass sich bei einheitlicher und vorausschauender Steuerung unter Berücksichtigung der genannten Restriktionen die maximalen Wasserstände aller drei Ereignisse lediglich um 2 cm unterschieden hätten und um bis zu 15 cm niedriger ausfallen als im Vergleich zu historischen Wasserständen gleicher Jährlichkeit. Dies bedeutet eine erhebliche Reduzierung der Überflutungsfläche für mittlere und extreme Ereignisse und somit des Konfliktpotentials in der Nutzung wassernaher Grundstücke.

Stichworte: HWRM-RL, Hochwasser, Stauhaltung, Steuerung, Berlin,

1 Einleitung und Problemstellung

Die Stauhaltung Mühlendamm/Kleinmachnow ist Teil des stauregulierten, kanalisiert und damit schiffbaren Berliner Gewässersystems. Hochwasserereignisse aus dem ca. 10.000 km² großen Einzugsgebiet der Spree gelangen über die Dahme (Neue Mühle), die Müggelspree (Große Tränke) und den Oder-Spree-Kanal (Wernsdorf) nach Berlin (siehe Abbildung 1).

Durch die Steuerung an den Wehren Mühlendamm, Kupfergraben, Kleinmachnow und Oberschleuse bis in den Bereich auch extremer Hochwasserereignisse hinein, ist in dieser Stauhaltung ein direkter Zusammenhang zwischen der Jährlichkeit der Durchflüsse und der Wasserstände – wie ihn *HWRM-RL* (2007), *LAWA* (2010) und *DWA-M 552* (2012) voraussetzen – nicht gegeben.

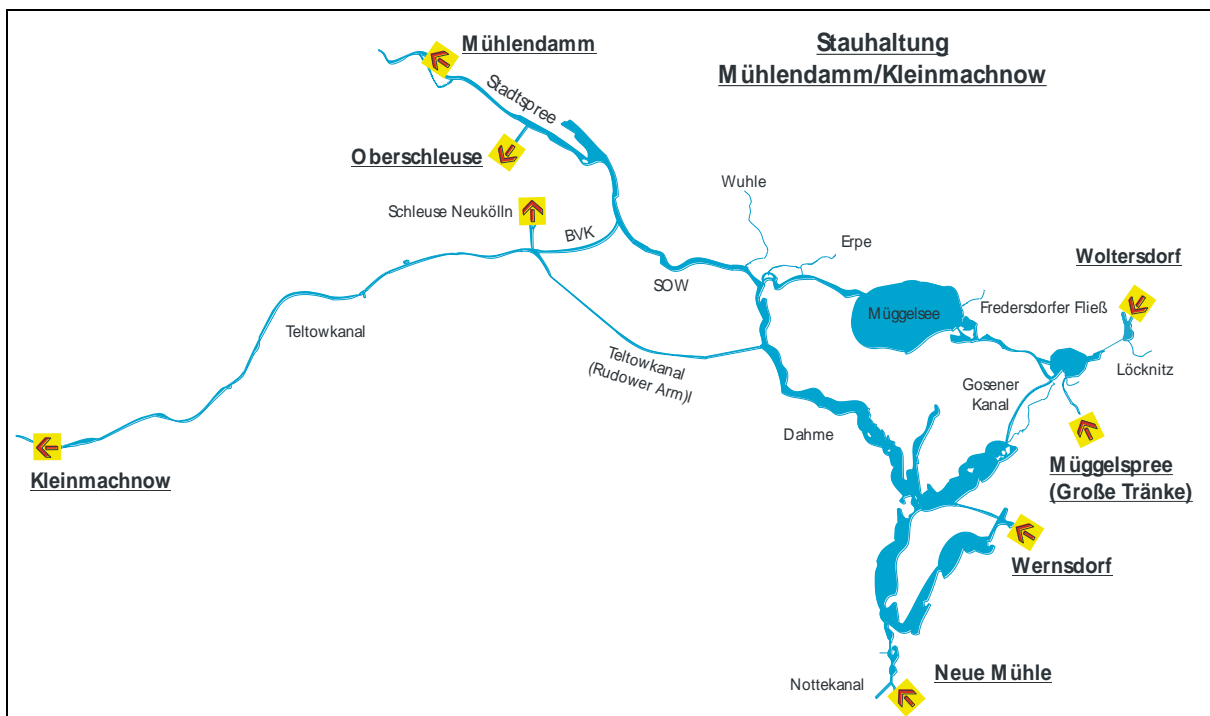


Abbildung 1: Gewässerskizze des Berliner Spree-Dahme-Systems (Stauhaltung Mühlendamm / Kleinmachnow)

Gegenüber der klassischen w, Q -Beziehung (Abbildung 2, links) werden während eines Hochwasserereignisses am Oberpegel der Stauanlage Mühlendamm die niedrigsten Wasserstände gemessen (Abbildung 2, rechts). Denn erst das (rechtzeitige) Absenken des Wasserspiegels schafft das hydraulisch erforderliche Gefälle, um auch außergewöhnlich hohe Zuflüsse möglichst schadensfrei abführen zu können.

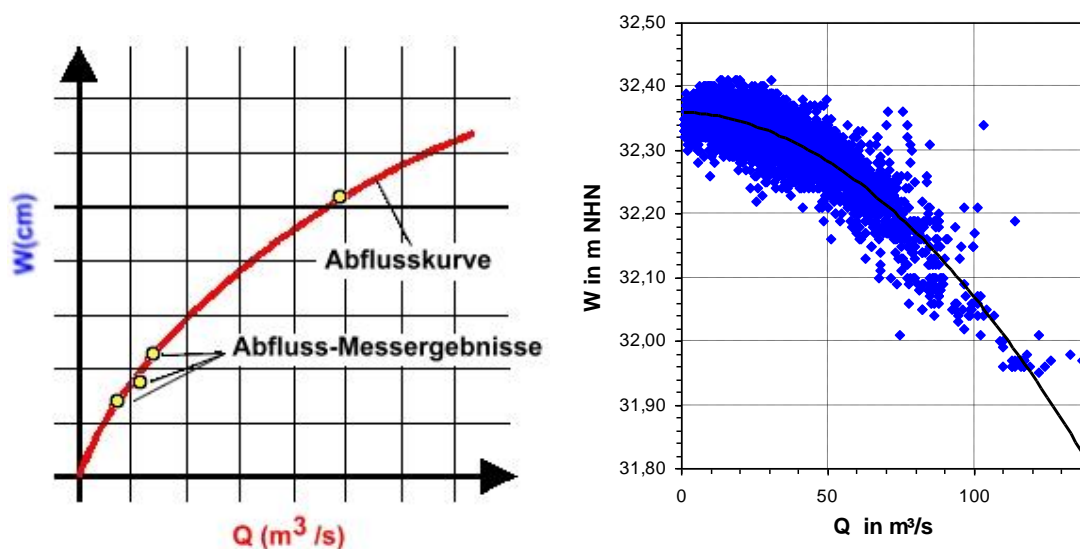


Abbildung 2: stetig steigende w, Q -Beziehung bei freifließenden und (tendenziell) fallende Abflusskurve im Oberwasser der Stauanlage Mühlendamm

Die Hochwasserabfuhr erfolgt dabei nach situationsbedingten Steuerungsvorgaben für die Wehre, ggf. auch unter Mitnutzung der Schleusen nach Vorgabe durch das WSA Berlin. Außergewöhnlich hohe Wasserstände sind daher das Ergebnis praktizierter Steuerungen im Einzelfall. Diese stellen somit eher zufällige Ereignisse dar und können nicht im Sinne der Extremwert-Statistik verwendet werden.

2 Beschreibung des Istzustands

2.1 Ausgewählte Hochwasserereignisse

Um dennoch zwischen zufälligen Ereignissen, denen im Sinne der HWGK eine bestimmte Jährlichkeit zugeordnet werden kann und Extremereignissen (infolge Versagens) zu unterscheiden, sind drei Hochwasserereignisse (im Sinne hoher beobachteter Wasserstände) aus den Jahren 1975, 1994 und 2011 für die weitere Betrachtung ausgewählt worden.

Dabei ist die rückblickende Betrachtung bis zum Zeitpunkt der sicheren Betriebsweise der Talsperre Spremberg mit Hochwasserschutzfunktion ab 1970 begrenzt worden.

Abbildung 3 zeigt die jeweiligen Wasserstands-Ganglinien am Pegel Köpenick – jeweils zeitlich normiert auf den Scheitelwert der Durchflüsse (Tag 0). Auffallend ist insbesondere das 1975er-Ereignis mit besonders hohen Wasserständen. Der Pegel Köpenick liegt zentral innerhalb der Stauhaltung und ist repräsentativ für die Wasserstandverhältnisse der Stauhaltung. Mit BWu und BWo sind ergänzend der obere und untere Betriebswasserstand in die Grafik eingetragen.

Werden die Wasserstände mit den Zuflüssen in die Stauhaltung über den Oder-Spree-Kanal (Pegel Wernsdorf), die Müggelspree (Pegel Hohenbinde) und die Dahme (Pegel Neue Mühle) verglichen (siehe Abbildung 4), so ist zu erkennen, dass diese 1975 nur unwesentlich höher waren als während des HW-Ereignisses 2011 – und in 1994 wurde bei deutlich niedrigeren Zuflüssen ebenfalls ein höherer Scheitelwasserstand als in 2011 gemessen.

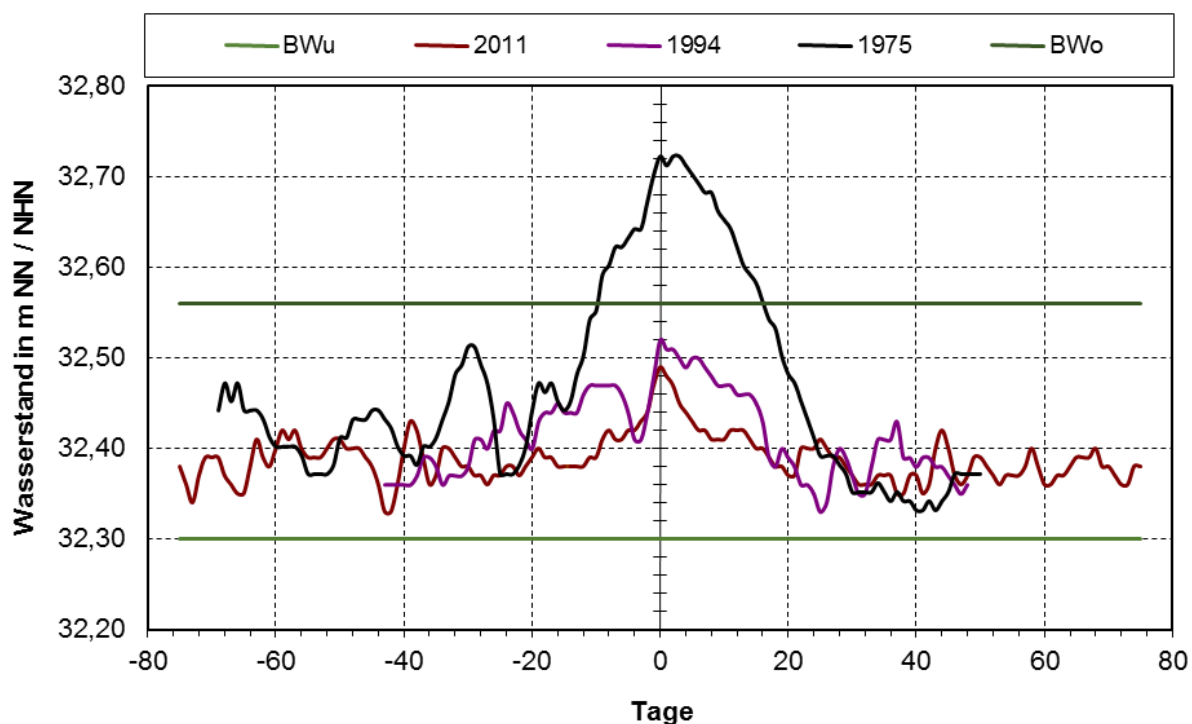


Abbildung 3: Wasserstandsganglinien während der Hochwasserereignisse 1975, 1994 und 2011 am Pegel Köpenick

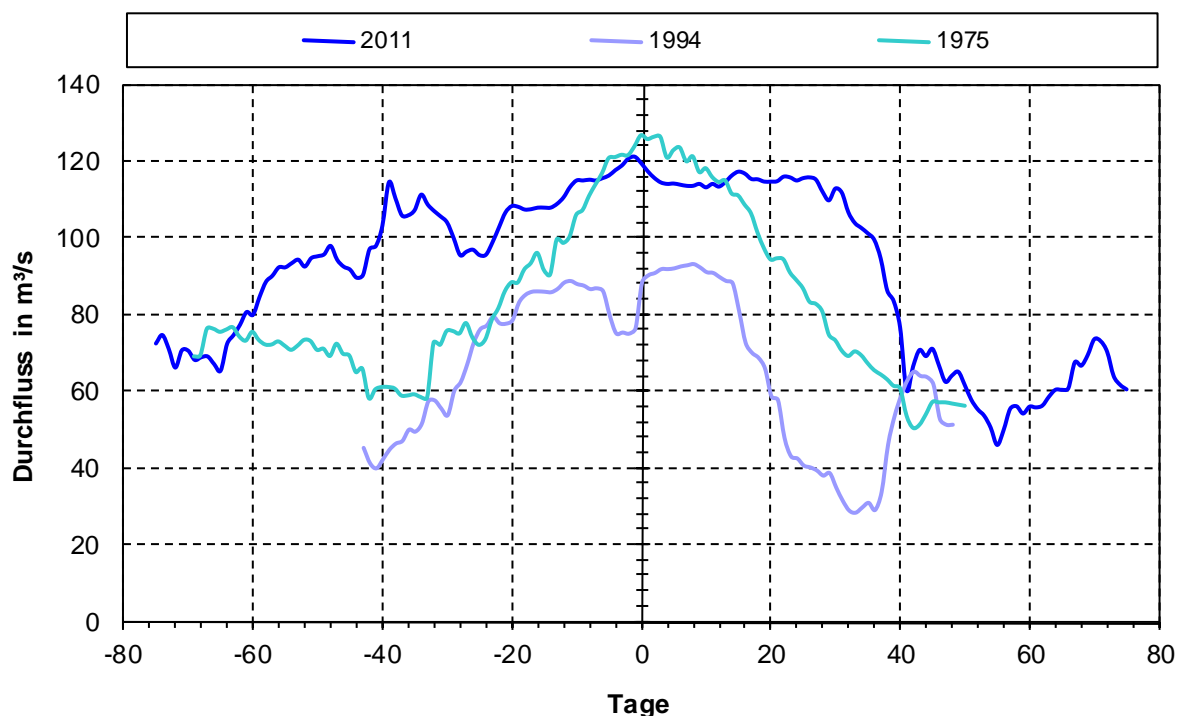


Abbildung 4: Zuflussganglinien¹⁾ während der Hochwasserereignisse 1975, 1994 und 2011
¹⁾ Summe der Messwerte an den Pegeln Wernsdorf, Hohenbinde und Neue Mühle

2.2 Steuerung und Restriktionen

Der Zusammenhang zwischen Wasserstand und Durchfluss ist das Ergebnis der Steuerung am OP Mühlendamm (siehe Abbildung 5). Zu erkennen ist insbesondere, dass in 2011 rechtzeitig vor dem Zuflussscheitel (vgl. Abbildung 4) der Wasserstand sehr tief abgesenkt wurde. Dadurch wurden zwar höhere Wasserstände in der Stauhaltung vermieden, im Bereich der innerstädtischen Schleuse Mühlendamm lagen jedoch die Köpfe von historischen Holzspundwänden frei.

In Absprache zwischen SenStadtUm Berlin und WSA Berlin ist ein zukünftiges Steuerungsszenario entwickelt worden, das bei der Wasserstandssteuerung der Stauhaltung die Belange der Schifffahrt (1), der Bausubstanz (2) und der möglichst weitgehenden Hochwasserfreiheit (3) – siehe Tabelle 1 – berücksichtigt.

Um bei steigenden Zuflüssen einen Wasserstand von $W = 32,56$ m NHN am Pegel Köpenick nicht zu überschreiten, ist ein gewisses Vorhaltemaß erforderlich, so dass das Stauziel auf $BW_0 - 6$ cm, also Steuerung auf $W = 32,50$ m NHN, festgelegt wurde.

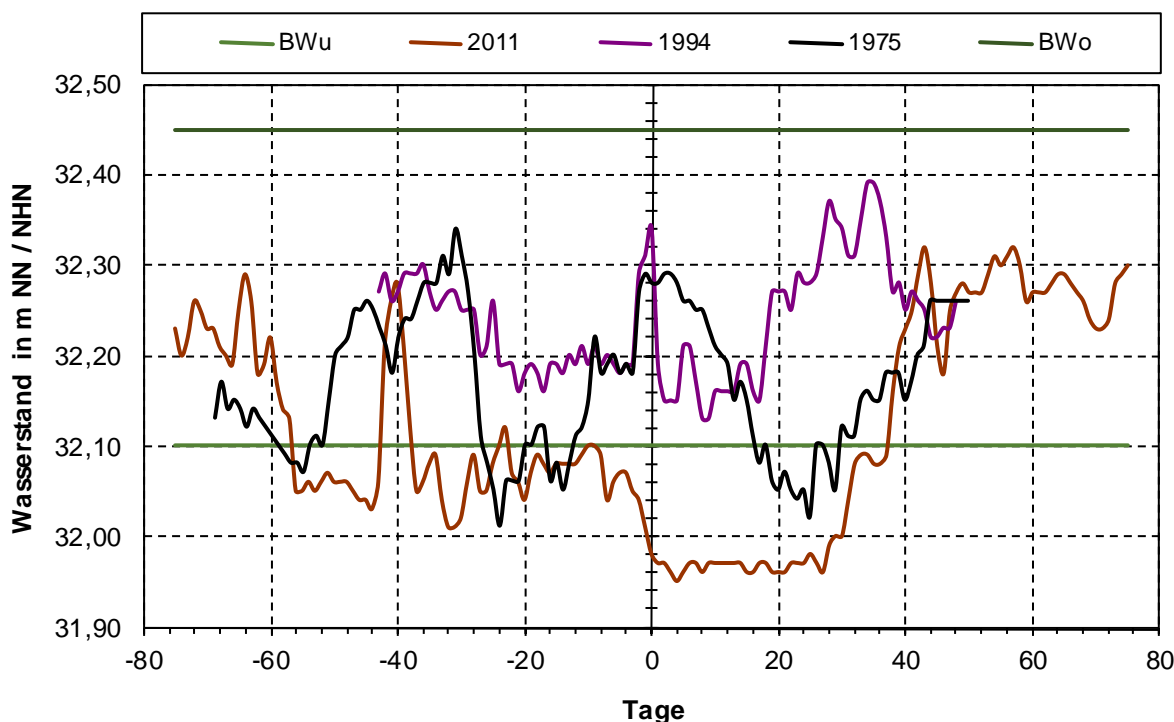


Abbildung 5: Ist-Steuerung am OP Mühlendamm während der Hochwasserereignisse 1975, 1994 und 2011

Tabelle 1 Steuerungsvorgaben für die Stauhaltung Mühlendamm/Kleinmachnow im Hochwasserfall

Nr.	Aufgabe	Wasserstand	Pegel
1.	Möglichst lange Aufrechterhaltung der Schifffahrt	$W > 32,10 \text{ m NHN (BWu)}$	OP Schleuse Mühlendamm
2.	Keine Freilegung der historischen Hohlpundwände im Bereich Mühlendamm Schleuse und Spreekanal	$\text{min } W > 32,00 \text{ m NHN}$	OP Schleuse Mühlendamm
3.	Möglichst geringe, schadensfreie Hochwasserstände	$W < 32,56 \text{ m NHN (BWo)}$	Köpenick

Neben der Wasserstandssteuerung am OP Mühlendamm hat – untergeordnet – auch die Steuerung der Zuflüsse nach Berlin einen Einfluss. Während des HW-Ereignisses 2011 betrug der Scheiteldurchfluss an der Schleuse Wernsdorf $Q_{\text{max}} = 38,5 \text{ m}^3/\text{s}$ und lag somit deutlich über der bemessungstechnisch schadensfrei abzuführenden Wassermenge von $20 \text{ m}^3/\text{s}$. Da dieser zukünftig nicht mehr überschritten werden soll, ist davon auszugehen, dass der darüber hinausgehende Zufluss künftig am Wehr Große Tränke in die Müggelspree abgegeben

wird. Damit gelangt ein deutlich höherer Zufluss über die Müggelspree (Dämeritzsee) nach Berlin.

3 Berechnung von HQT-Szenarien

Mittels einer hydronumerischen Modellierung können die drei unterschiedlichen Ereignisse bei Vorgabe der zuvor beschriebenen instationären Steuerung verglichen werden. Gleichzeitig können auch die damals stadtteilungsbedingten Besonderheiten (Sperrung des Teltowkanals bis zum Jahr 2000) auf den heutigen Gewässerzustand bezogen werden.

3.1 Hydronumerische Modellierung

Die Modellierung der drei Hochwasserereignisse erfolgte mit dem Programmpaket GERRIS/HYDRAX/QSim der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG). HYDRAX ist die Bezeichnung für ein von der BfG entwickeltes Programmsystem zur eindimensionalen hydrodynamischen Berechnung von Fließgewässern auf der Grundlage der Saint-Venant-Gleichungen (*Oppermann et al.*, 2015).

Das dazugehörige Modell der Stauhaltung (siehe Abbildung 6) wird durch die SenStadtUm Berlin vorgehalten und ist für die vorliegende Fragestellung erweitert und an den drei Hochwasserereignissen nachkalibriert worden.

3.2 Skalierung

Für die Erstellung der Hochwassergefahrenkarten aber auch für die Ausweisung der Überschwemmungsgebiete werden durch die SenStadtUm die Scheitelwasserstände mit einer Jährlichkeit (T) von 10, 100 und 200 Jahren benötigt. Da diese aufgrund der Steuerung, aber auch wegen des großen Retentionsvermögens der vielen seenartigen Erweiterungen, nur instationär hydronumerisch ermittelt werden können, sind die Zuflussganglinien der drei Hochwasserereignisse anhand der Ergebnisse (HQT an den Pegel) einer im Auftrag des Landesamts für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg erstellten Niederschlag-Abfluss-Modellierung (*BAH*, 2012) skaliert worden. Die jeweiligen Skalierungsfaktoren entsprechen dabei dem Verhältnis der gemessenen Scheitelwerte zum NA-modellierten HQT-Wert am Pegel.

In einem weiteren Szenario (vgl. Kapitel 2.2) ist, abweichend vom Ergebnis der NA-Modellierung, der Zufluss über den Oder-Spree-Kanal auf 20 m³/s begrenzt und die skalierte Zuflussdifferenz der Ableitung in die Müggelspree am Wehr Große Tränke zugeschlagen worden.

Die Skalierung der Abflüsse erfolgte über die durch die SenStadtUm Berlin extremwert-statistisch ermittelten HQT-Werte. Auch dabei war die hydraulische

Leistungsfähigkeit der Wehre zu beachten. Ergab die Skalierung, dass die Kapazität der Wehre Kupfergraben (Spreekanal), Kleinmachnow (Teltowkanal) und Wehr Oberschleuse (Landwehrkanal) überschritten ist, wurde die Differenz dem Abfluss über das leistungstärkste Wehr Mühlendamm zugeschlagen.

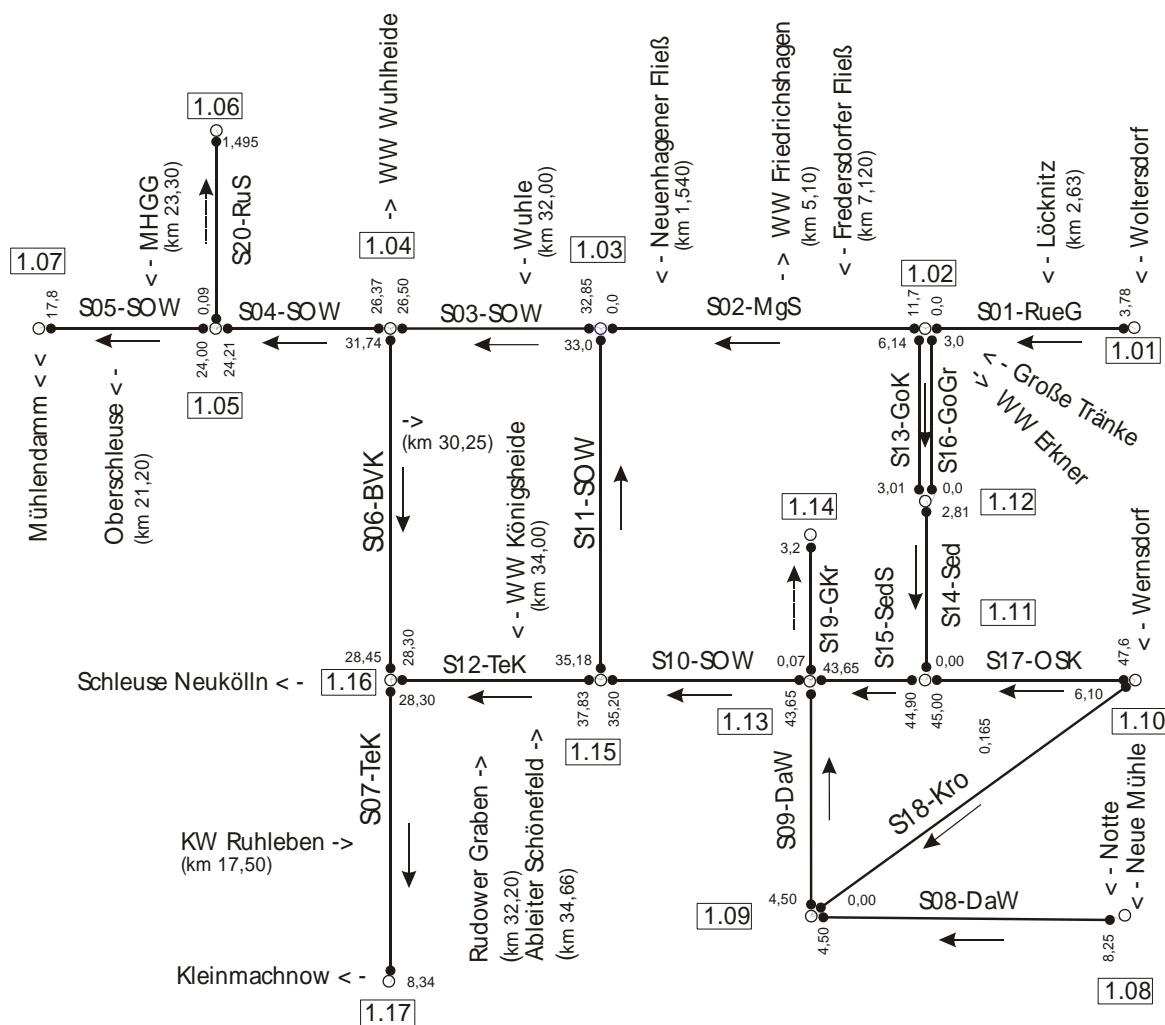


Abbildung 6: Systemskizze des hydraulischen 1D-Modells der Stauhaltung Mühlendamm / Kleinmachnow (unmaßstäblich)

3.3 Bilanzausgleich

Bei den beiden unterschiedlichen Ansätzen für die Jährlichkeiten war nicht zu erwarten, dass in der Summe aller Randbedingungen eine ausgeglichene, instationäre Bilanzdifferenz erhalten wird. Deshalb ist ein instationärer Bilanzausgleich durchgeführt worden, mit dem das große Retentionsvermögen durch die vielen seenartigen Erweiterungen innerhalb der Stauhaltung berücksichtigt wird.

Um die mit Brandenburg abgestimmten Hochwasserzuflüsse für die weiteren Berechnungsszenarien zugrunde legen zu können, erfolgte der Bilanzausgleich der skalierten Ereignisse allein über die Korrektur des Abflusses an der Schleuse Mühlendamm.

3.4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Beispielhaft sind in Tabelle 2 die modellberechneten Scheitelwasserstände am Pegel Köpenick der drei auf T=100 Jahre skalierten HW-Ereignisse mit der Ist- und zukünftig angestrebten Soll-Steuerung gegenübergestellt.

Zu erkennen ist, dass mit den für alle drei skalierten Ereignisse zukünftig angestrebten einheitlichen Steuerungsvorgaben (vgl. Tabelle 1) auch nahezu gleich hohe Scheitelwasserstände berechnet werden.

Tabelle 2 Zusammenstellung der berechneten Scheitelwerte der drei skalierten Hochwasserereignisse am Pegel Köpenick im Vergleich von Ist- und Soll-Steuerung für die Jährlichkeit T = 100 Jahre

Jahr	Messwert	Ist- Steuerung	Soll- Steuerung
	m NHN	m NHN	m NHN
2011	32,49	32,53	32,55
1994	32,52	32,66	32,57
1975	32,72	32,70	32,56

Gegenüber einer rein extremwertstatistischen Betrachtung konnten somit z.B. die Überschwemmungsgebiete (HW_{100}) für um 15 cm niedrigere Wasserstände ausgewiesen werden. Dies bedeutet eine erhebliche Reduzierung der Überflutungsfläche für mittlere und seltene Ereignisse und somit des Konfliktpotentials in der Nutzung wassernaher Grundstücke.

4 Literatur

- BAH (2012): Erstellung eines Niederschlag-Abfluss-Modells für das Flussgebiet der Spree / Dahme im Land Brandenburg. Büro für Angewandte Hydrologie, Endbericht vom 04. Dezember 2012 im Auftrag des Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg (LUGV). Berlin.
- 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.
- LAWA (2010): Empfehlungen zur Aufstellung von Hochwassergefahrenkarten und Hochwasserrisikokarten, beschlossen auf der 139. LAWA-VV am 25./26. März 20

10 in Dresden Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser - ständiger Ausschuss der LAWA "Hochwasserschutz und Hydrologie (AH).

Merkblatt DWA-M 552 (2012): Ermittlung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten. DWA Regelwerk, Merkblatt DWA-M 552. Herausgeber: DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef.

Oppermann, R. (2015): HYDRAX: Ein hydrodynamisches 1-D Modell. Mathematisches Modell und Datenschnittstellen. BfG-Bericht 1872. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz.

Autoren:

Dr. Frank Schumacher

Ingenieurbüro für Wasser und Umwelt
Südwestkorso 70
12161 Berlin

Tel.: +49 30 269 329 90

Fax: +49 30 269 329 98

E-Mail: schumacher
@wasserundumwelt.de

Dr. Benjamin Creutzfeldt

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und
Umwelt Berlin
Integrativer Umweltschutz - Abteilung VIII
Wasserrecht, Wasserwirtschaft und
Geologie
Referat VIII E

Brückenstraße 6
10179 Berlin

Tel.: +49 30 9025 2452

Fax: +49 30 9025 2947

E-Mail: benjamin.creutzfeldt
@senstadtum.berlin.de

Instream Restaurieren – jüngere Beispiele aus Hamburg-nahen Fließgewässern

Björn Tent
Ludwig Tent

Im Zieljahr der Wasserrahmenrichtlinie, 2015, war der gute Gewässerzustand in den Bächen und Flüssen Deutschlands längst nicht erreicht. Zum Teil ist dies Politik-induziert, wurde doch lange Zeit das Missverständnis hochgehalten, man brauche so gut wie gar nichts zu tun, wenn man Gewässer als „erheblich verändert“ einstufe. Diese Ansicht ist falsch. Es gilt (auch) für diese Gewässer in einer Landschaft mit z. T. extremem Nutzungsdruck: Was getan werden kann, muss getan werden.

Bäche und kleine Flüsse machen 80 % der Fließstrecken aus. Wenn also der gute Zustand bzw. das gute ökologische Potenzial an allen Gewässern per rechtlicher Anforderung mit zeitlicher Ansage erreicht werden muss, kann diese überwiegende Mehrzahl der Strecken nicht vernachlässigt werden. – Wie deren Lebensraumverbesserung in Tieflandgewässern auf Moräne möglich ist, ist detailliert bei *Madsen und Tent* (2000) und *Tent* (2008) beschrieben. Der vorliegende Text bringt jüngere Beispiele aus der Praxis, die seitdem südlich Hamburgs umgesetzt wurden: Kies- und Geröllschüttungen zum Induzieren der Eigendynamik der Gewässer, Lenkbuhnen aus Kies und Geröll sowie der Einsatz von Treibseltsammeln, die sowohl als „Speisekammern“ fungieren, als auch zerstörte natürliche Strukturen wie die wichtigen Gleithänge durch Festlegen von Geschiebe wieder herstellen. Die Gewässer werden durch bessere Struktur und Hydraulik wieder lebendig.

1 Da war Leben vor der Wasserrahmenrichtlinie – Beispiel Instream Restaurieren

Nach den Erfolgen durch konsequente Intensivierung der Abwasserreinigung in den 1970er und 1980er Jahren wurde anhand der biotischen Wasserqualitätsindikatoren (z. B. Wirbellose und Fische) deutlich, dass die anschließend verbesserte Wasserqualität nicht einherging mit einer entsprechenden, naturnäheren Besiedlung der aquatischen Lebensräume (*Friedrich und Lacombe*, 1992). Die Gewässerstruktur erwies sich als so denaturiert, dass die Realität weit entfernt blieb von standorttypischen Bestandszahlen. Notwendige Verbesserungen des Lebensraums Gewässer in seiner Struktur (Habitat – das zu Hause der Lebewe-

sen) sind in intensiv genutztem Gelände allerdings nur gegen erhebliche Widerstände zu realisieren. Um naturnah fließende Bäche und Flüsse zurückzuerhalten, wäre Fläche erforderlich (Meier, 2003). Kann sie zur Verfügung gestellt und können die erforderlichen finanziellen Mittel pro laufenden Meter Gewässer aufgebracht werden, sind aufwändige Remäandrierungen die Methode der Wahl. Wo Derartiges ausscheidet (und das ist die Mehrzahl der Strecken), können allerdings innerhalb der vorherrschenden überbreiten und übertiefen Profile (Abbildung 1, nach Madsen, 1997) erhebliche Freiräume für Verbesserungen genutzt werden. Ein solches Handeln im Sinne lebensraumfördernder Gewässerunterhaltung wurde unter dem Begriff „instream measures“ an Beispielen aus Stadt und Land ausführlich auf einer internationalen Konferenz Ende der 1990er in Silkeborg, DK, vorgestellt (Tent, 1998). Erfahrungen aus drei Jahrzehnten Praxis sind in Heft 63 der Hamburger Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft detailliert enthalten (Tent, 2008). Dass die in Abbildung 1 dargestellte Situation flächendeckend im Norddeutschen Tiefland vorherrscht, zeigt so gut wie jede Facharbeit (vgl. Grabowsky, 2007; Heins; 2011; Tent, 2014).

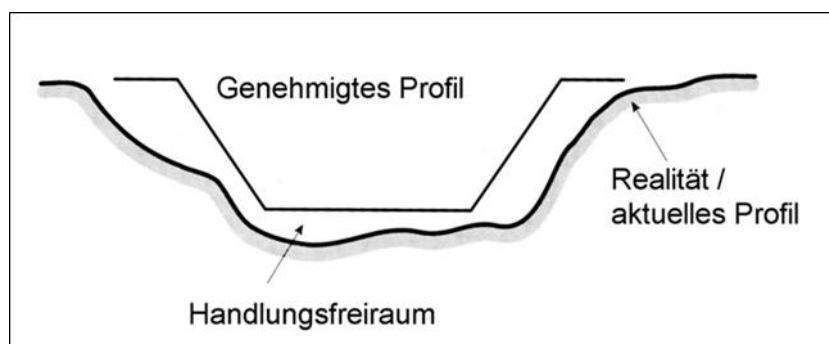


Abbildung 1: Egal, ob natürliche, erheblich beeinflusste oder künstliche Gewässer, fast auf gesamter Gewässerlänge ist an den meisten Fließgewässern ein überbreites, übertiefes Profil vorzufinden

2 Hoffnung Wasserrahmenrichtlinie / „Drawback“ – zurück in die 1960er ?

Im Zieljahr der Wasserrahmenrichtlinie, 2015, ist weder eingetreten, was Fachlichkeit und Recht einfordern, noch sind die Hoffnungen erfüllt worden, das Thema Lebensraum Gewässer würde sich im täglichen Umgang der nötigen Wertschätzung erfreuen. Das nach dem im deutschen Wasserrecht seit 1977 geltenden Verschlechterungsverbot 2000 hinzugekommene Verbesserungsgebot für alle Gewässer zeigt so gut wie keine systematische Wirkung.

Verschärfend sind gut gemeinte, aber einmal mehr schlecht gemachte Rechtsnormen inzwischen in Kraft, wie z. B. das Erneuerbare Energiegesetz. Über den

Strompreis über(!)subventionierter Maisanbau hat zur Folge, dass nicht nur Boden und Wasser vom obersten Punkt der Einzugsgebiete bis ins Meer in Mitleidenschaft gezogen werden, sondern dass über Gelddruck die Pachtpreise für Land in einer Form gestiegen sind, die dem normalen, ernährungsbezogenen Agrarbetrieb die finanziellen Möglichkeiten sprengen.

Unmittelbar auf die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie bezogen ist weiterhin der zielgerichtete Einfluss der Politik zwischen Bestandsaufnahme und Bewirtschaftungsplan 2004 / 2009 zu erwähnen, der bei *Bathe* (2010) und *Möckel und Bathe* (2012) mit den daraus resultierenden Begründungs- und Rechtfertigungsdefiziten trefflich dargestellt ist. So wurden die Einstufungen der Gewässerstrecken in fachlich unerträglicher Form von „natürlich“ Richtung „erheblich verändert“ verschoben – unter der Fehleinschätzung, man brauche dann keine Verbesserungen am Gewässer vorzunehmen. Im Bundesland Niedersachsen z. B. ergab sich eine Verschiebung von 18,2 (2004) auf 62,8 % (2009) der Gewässerstrecken.

Die richtige Einschätzung notwendigen Handelns für „erheblich veränderte Gewässer“ gibt *Ramers* (2011) mit dem sinnigen Vers:

„Ob Zustand oder Potenzial, dem Wasserlauf ist das egal.

Zu tun ist das, was möglich ist und das in ziemlich kurzer Frist!“

Sinngemäß bedeutet das: Es muss getan werden, was getan werden kann. Und das ist viel, wie das nächste Kapitel, aufbauend auf *Tent* (2004, 2008) zeigt. Den unterschiedlichen Umgang mit der generellen Thematik verdeutlicht für die Stadtstaaten Berlin und Hamburg die Master-Arbeit von *Schröder* (2014).

Eine konkrete, weitere Verschlechterung für Boden und Wasser vor Ort ergab sich durch die eingeführte GPS-gesteuerte Bemessung der Agrarsubventionen. Abzug grüner Elemente wie Randstreifen, Baumbestand uvm. führten vielerorts in der Konsequenz zu deren Totalvernichtung. Der Lebensraum Gewässer (und andere) wird seitdem weiterem, stärkerem Druck ausgesetzt. Bis heute ist Politik nicht in der Lage, mit Subventionsdefinitionen für angemessenere Agrarpraktiken entsprechend gegenzusteuern.

Damit das Vorstehende nicht missverstanden wird als ein Lamentieren im Sinn „gute alte Zeit“ sei als Korrektiv ein Zitat aus der beginnenden Hochzeit des umsetzenden Umweltschutzes der 1970er gegeben (*DIE ZEIT*, 1978).

3 Jüngere Beispiele von Gewässern aus dem Umland Hamburgs

Auf dem 20. TUHH-Kolloquium wurden detailliert Beispiele des Instream Restaurierens an Bächen auf Moräne des Norddeutschen Tieflands dargestellt (*Tent*, 2008). Im Folgenden werden einige Entwicklungen bis 2015 beschrieben. Eine umfangreich bebilderte Veröffentlichung findet sich bei *Tent* (2015).

3.1 Kiesdepots und Laichbetten Seeve

Laichplätze sowie Verstecke für alle Lebensstadien z. B. der Fische blieben bislang ein wesentliches Defizit in den zerstörten Gewässerprofilen. Deren konsequente Wiederherstellung muss im Fokus weiterer Verbesserungen liegen. Nebenbei sei erwähnt, dass derartige Strukturverbesserungen eine ganz erhebliche „Speisekammerfunktion“ aufweisen – bieten sie doch Wirbellosen quasi aus dem Nichts nun unendliche Ansiedlungsflächen und –räume. Auch Wasserpflanzen, die im bewegten, unnatürlichen Sandbett der zerstörten Moränenbäche nicht dauerhaft wurzeln können, finden wieder ihren Dauerstandort, in Art und Menge gesteuert durch den standorttypischen Halbschatten des Baumsaums bis hin zum Auwald (*Madsen und Tent*, 2000, *Bild 5.3*, S. 126). Die Förderung des bisher vernachlässigten Baumsaums könnte als „no regret“-Maßnahme im Übrigen eine wesentliche Funktion bei der Anpassung an den Klimawandel übernehmen (*Janssen*, 2007; *Tent*, 2013).

Finanziert von der Fischereigenossenschaft Seeve und der Edmund Siemers-Stiftung, Hamburg, werden seit 2010 jährlich regelhaft mehrere Lkw Kies (i.d.R. 16-32 mm gewaschener Kies aus standortnahen Kiesgruben) vom Unterhaltungsverband Seeve so eingebracht, dass bei Hochwässern eine Neupositionierung des Materials erfolgen kann („Der Bach weiß besser als wir, wo das Material hingehört.“). Bach- und Flussneunaugen, Bach- und Meerforellen sowie Äschen nahmen die wiederhergestellten Laichplätze bereitwillig an.

Die Nordeuropäische Erdgasleitung (NEL) begleitet die Seeve-Aue über eine Länge von ca. 3 km. Die Planfeststellungsbehörde folgte der Forderung, hierfür Ausgleich und Ersatz zu leisten, quantitativ und qualitativ. 1.000 m³ Kies und Geröll wurden als strömungslenkende seitliche Depots in die Seeve eingebracht.

Die Schüttungen schützen das Ufer, am Rand lagern Sediment und Totholz ab – Flachwasser- und Ruhezonen entstehen neu.



Abbildung 2: Lebendige Strömung schafft variierende Ufer- und Sohlstruktur.

3.2 Lenkbuhnen Este und Seeve

Für von der Naturschutzverwaltung des Landkreises Harburg geforderte Ausgleich- und Ersatzmaßnahmen standen für die Este ca. 300 m³, für die Seeve (s. Kap. 3.3) ca. 400 m³ Kies und Geröll zur Verfügung. Das Material wurde von örtlichen Baufirmen unter gewässerökologischer Anleitung ins Gewässer eingebracht. Beispielgebend waren Arbeiten von *Mende und Sindelar* (2010), *Mende* (2013, 2014) sowie *Mende und Tent* (2014).



Abbildung 3: Seeve Wiedenhof, Lenkbuhnen- und Laichbettaufbau erfolgt mit Großgerät



Abbildung 4: Beispiel für eine Lenkbuhne

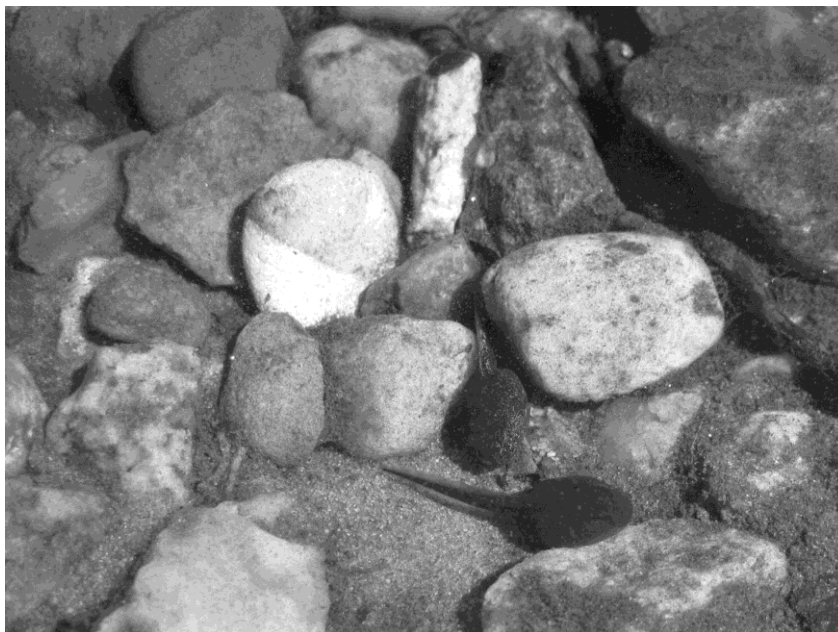


Abbildung 5: Neu entstandene Rauigkeit und Stillwasserzonen geben hydraulisch schwachen Organismen, die vorher aus dem unstrukturierten System ausgespült wurden, neuen Lebensraum (hier: Kaulquappen)

Bereits im ersten Frühjahr nach dem Kies-/Gerölleinbau laichten Bachneunaugen auf den neuen Strukturen.

3.3 Gut Holz – Treibselsammler gewinnen Land zurück

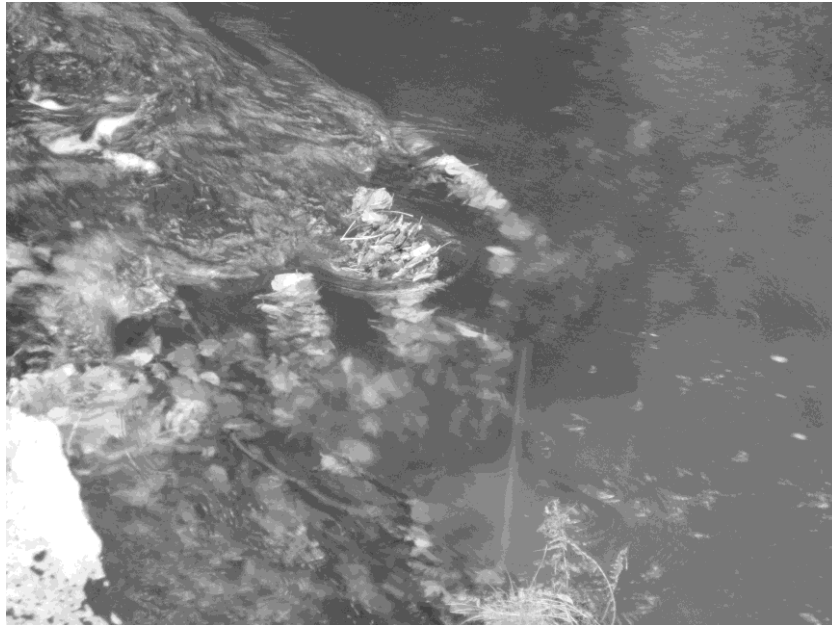


Abbildung 6: Naturbeispiel Treibselsammler aus Totholz – sehr effektiv wird Laub zurückgehalten und steht länger-fristig dem Ökosystem vor Ort zur Verfügung

Was bei *Gebler* (2005) Getreibsel-Rechen und bei *Haaß* (2008) Sohlenrechen genannt wird, kann an Beispielen der Natur abgeschaut werden (Abbildung 6). Vertikale Stab-strukturen sammeln in erstaunlicher Weise Laub, halten so wichtige Nahrung länger dynamisch im System. Kleinturbulenz und Teilsperrenwirkung legen Boden fest, erhöhen die Tiefenvarianz und vieles mehr.



Abbildung 7: Bild 17: Rückgewinnen eines Gleithangs an der Este, Vorbereitung



Abbildung 8: Strömungsdetail, Mittelwasser – das „Brechen des Spiegels“. Mikroturbulenzen bewirken Ablagern von Geschiebe. Der vorher durch übermäßigen hydraulischen Druck bei fehlenden Baumwurzeln erodierte Gleithang kann wieder entstehen



Abbildung 9: In geschiebereichen Gewässern lagern sich schnell 10 m^3 Boden ab und bilden, wie z. B. hier zu sehen, den standorttypischen Gleithang neu

4 Wie soll es weiter gehen

Selbst im Jahr 15 der Wasserrahmenrichtlinie, dem rechtlich „für alle Gewässer“ definierten Zieljahr für den guten Gewässerzustand, waren vielerlei Absonderlichkeiten in der Realität festzustellen, die sich nicht im Einklang befinden mit fachlich und rechtlich zu fordernden Aktivitäten (Abbildungen 9-11). Zustände wie vor 15 Jahren (*Tent*, 2001) beherrschen die Realität.

Ohne wesentliche Änderung der Situation haben die Bundesländer den Ausnahmezustand für das Handeln im seit 2000 geltenden Wasserrecht insofern ausgerufen, als sie erklären, die verflossenen 15 Jahre hätten nicht für die Zielerreichung im Gewässerschutz ausgereicht. Beide Verlängerungszeiträume von je 6 Jahren würden also benötigt, um das Ziel zu erreichen. – 2027 ist aber heute näher, als 2015 von 2000 aus lag.

„Deutschland schlampt beim Umweltschutz.“ (*Der Tagesspiegel*, 11.08.2015) – welch zutreffende Beschreibung der jüngeren Vergangenheit und Gegenwart.

Festzustellen ist, dass für ein Zielerreichen überhaupt erst einmal in der gesamten Handlungsebene, d. h. allen Einzugsgebieten unserer Gewässer mit Handeln flächendeckend begonnen werden müsste. Wir teilen die Einschätzung des langjährig erfahrenen Praktikers *Meier* (2014). Heute wird vielleicht nicht zu viel untersucht (*Tent*, 1997), aber weiter (viel !) zu wenig getan.



Abbildung 10: Randstreifen-Denkstein - Irgendetwas stimmt nicht in einer Situation, in der subventionierte Landwirtschaft Rahmenbedingungen des Wasserrechts nicht einzuhalten braucht – hier: 5 m Abstand



Abbildung 11: Irgendetwas stimmt nicht, wenn weiter Forellenlaichbäche hart unterhalten werden, die monotone Sandwüste anstelle des standorttypischen Kiesbachs flächen- und streckenhaft die Realität beherrscht – dies ist KEIN Graben

Instream Restaurieren gibt Anstöße zur Eigendynamik kraftloser Bäche. – Es bleibt viel zu tun.



Abbildung 12: Was im Text für Este und Seeve im Elbe-Einzugsgebiet beschrieben wurde, läuft parallel im Wümme-/Weser-Einzugsgebiet.

5 Literatur

- Bathe, F. (2010): Die Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie in Deutschland: Eine vergleichende Analyse der Entwürfe der Bewirtschaftungspläne, UFZBericht, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, No. 01/2010.
- DER TAGESSPIEGEL (2015): Deutschland schlampt beim Umweltschutz. – 71. Jg. Nr. 22 487, 11. August 2015.
- DIE ZEIT (1978, Ausgabe 42, Horst Bieber): Langsam stirbt der Umweltschutz. Von deutscher Naturromantik zur politischen Macht – doch der alte Schwung ist hin. – Archiv 1978/42.
- Friedrich, G. Lacombe, J. (Hrsg., 1992): Ökologische Bewertung von Fließgewässern. – Limnologie aktuell, Bd. 3. - G. Fischer, Stuttgart.
- Gebler, R.-J. (2005) Entwicklung naturnaher Bäche und Flüsse. Maßnahmen zur Strukturverbesserung. Grundlagen und Beispiele aus der Praxis. – Verlag Wasser und Umwelt, ISBN 978-3-939137-01-6.
- Grabowsky, K. (2007): Die Heidenauer Aue – Gewässerstruktur und Einzugsgebiet eines Fließgewässers. Books on Demand, Norderstedt. – ISBN 978-3-8334-6631-1.
- Haaß, W. (2008): Der Einsatz von Sohlenrechen zur Stabilisierung und Anhebung der Gewässersohle in kleinen Fließgewässern. – gewässer-info Nr. 41: 396-397.
- Heins, E. (2011): Renaturierung der Este zwischen Emmen und Buxtehude, Bachelorarbeit TU Hamburg-Harburg.
- Janssen, G. (2007): Forelle, Schwarzstorch, Flatterulme – Indikatoren lebendiger Bäche und Flüsse. Kleine Schriften aus drei Jahrzehnten Fließgewässerschutz. BoD. – ISBN 978-3-8334-8791-0.
- Madsen, B. L. (1997): Danish Experiences on River Restoration II: The Effort Beyond Restoration. – in: Hansen, H. O., Madsen, B. L. (eds.): River Restoration '96 – Plenary Lectures. Internat. Conf. Arranged by the European Centre for River Restoration, Silkeborg: 37-45. ISBN 87-7772-317-1.
- Madsen, B. L., Tent, L. (2000): Lebendige Bäche und Flüsse – Praxistipps zur Gewässerunterhaltung und Revitalisierung von Tieflandgewässern. – Books on Demand, Norderstedt, ISBN 3-89811-546-1.
- Meier, K. (2003): Ohne Platz kein guter Zustand. – Wasser und Abfall 3, 39-43.
- Meier, K. (2014): Der lange Weg zum guten Zustand. – Wasser und Umwelt 9: 7-12.
- Mende, M. (2013): Kostengünstige Bausteine zur ökologischen Aufwertung von Fließgewässern. Ingenieurbiologie, Nr. 1, S. 62 – 66.
- Mende, M. (2014): Naturnaher Uferschutz mit Lenkbuhnen. Grundlagen, Analytik und Bemessung. – Dissertation TU Braunschweig.
- Mende, M., Sindelar, C. (2010): Instream River Training – Lenkbuhnen und Pendelrampen. – Beitrag zum 15. Gemeinschafts-Symposium der Wasserbau-Institute TU München, TU Graz und ETH Zürich vom 1.-3. Juli 2010 in Wallgau, Oberbayern, S. 35 – 44.
- Mende, M., Tent, L. (2014): Instream River Training – Naturnaher Flussbau mit minimalem Material-einsatz. – KW gewässer-Info Nr. 60, Mai 2014: 721-726.
- Möckel, S., Bathe, F. (2012): Ausweisung künstlicher und erheblich veränderter Gewässer in Deutschland – Begründungs- und Rechtfertigungsdefizite. – ZUR (Zeitschrift für Umweltrecht/Das Forum für Umwelt- und Planungsrecht) 12/2012: 651-657.

- Ramers, H. (2011): Erheblich veränderte zu natürlichen Oberflächenwasserkörpern im Alstergebiet? Möglichkeiten und Perspektiven. – Vortrag auf der Tagung Lebendige Alster zwischen Anspruch und Wirklichkeit, 5. Mai 2011, Hamburg.
- Schröder, N. J. S. (2014): Die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie in Berlin und Hamburg – Vergleich der Ansätze zur Maßnahmenausarbeitung – Der Einfluss lokaler Bedingungen. – Humboldt-Universität zu Berlin.
- Tent, B. (2014): Maßnahmen zur Verbesserung der Gewässerstrukturgüte der Este zwischen Langeloh und Emmen. – Books on Demand, Norderstedt, ISBN 978-3-7357-4966-6.
- Tent, L. (1997): Konzepte zur Renaturierung von Fließgewässern und Auen – Wird zuviel untersucht und zu wenig getan? – in: DEMBINSKI, M., WERDER, U. (Hrsg.): Renaturierung von Fließgewässern und Auen. VSÖ-Publikationen 2: 7-15. ISBN 3-932 681-04-5.
- Tent, L. (1998): Reconstruction versus ecological maintenance – improving lowland rivers in Hamburg and Lower Saxony. – in: Hansen, H.O., Madsen, B.L. (eds.): River Restoration '96 – Session Lectures Proceedings. Internat. Conf. arranged by the European Centre for River Restoration, Silkeborg:170-174. ISBN 87-7772-374-0
- Tent, L. (2001): Landnutzung und Gewässerunterhaltung heute: Gefährdung von Programmen wie LACHS 2000/2020. – Wasser & Boden 53 (5): 25-30.
- Tent, L. (2004): Ökologische Gewässerunterhaltung unter den Anforderungen der EG-WRRL. – In: DBVW (Deutscher Bund für Verbandliche Wasserwirtschaft, Hrsg.): Verbandliche Gewässerunterhaltung unter geänderten Anforderungen – zukunftsorientiert und wissenschaftlich fundiert. (Veranstaltung Rostock, 8. September 2004), Fachband für Wasser- und Bodenverbände, Band 2: 33-58.
- Tent, L. (2008): Viel Umwelt fürs Geld durch in-stream-restoration. – in: Gulyas, H., Otterpohl, R. (Hrsg.): Hamburger Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft 63: 132-151. ISBN 978-3-930400-78-2.
- Tent, L. (2013): Zurück zu den Wurzeln – Bäume am Forellenbach. – KW gewässer-Info Nr. 56, Januar 2013: 625-626.
- Tent, L. (2015): Instream Restaurieren – jüngere Beispiele aus Hamburg-nahen Fließgewässern. – in: Gulyas, H. & R. Otterpohl (Hrsg.): Hamburger Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft 91: 79-99. ISBN 978-3-942768-16-0.

Autoren:

Dipl.-Ing. Björn Tent

Rupertstraße 5 a
22609 Hamburg

Tel.: +49 40 23934827
E-Mail: tent.bjoern@gmx.de

Dr. Ludwig Tent

Edmund Siemers-Stiftung
Gertrud-Seele-Weg 11
22880 Wedel

E-Mail: ludwig.tent@gmx.net
www.salmonidenfreund.de

Erhöhtes Hochwasserrisiko für die Landwirtschaft durch die WRRL? - Erfahrungen an der Lippe -

Matthias Bethlehem
Georg Johann

Die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) weist, aufgrund festgestellter hydromorphologischer Defizite, Handlungsbedarf an der Lippe aus. Infolgedessen überplant der Lippeverband zurzeit rund 45 Gewässerkilometer der Lippe. Eingang in diese Studie fanden die vorläufigen Ergebnisse dieser Planungen. Es ist zu erwarten, dass sich hierdurch insbesondere das Hochwasserrisiko für die Landwirtschaft verändert. Die Studie legt dar, wie sich Betroffenheiten infolge der geplanten Maßnahmen verschieben, widmet sich in einer Fallstudie den veränderten Schadenspotenzialen der Landwirtschaft und beurteilt die Signifikanz der Auswirkungen hinsichtlich des Hochwasserrisikos. Zudem wird der aktuelle Umgang mit den veränderten Betroffenheiten infolge der häufigeren Überflutung landwirtschaftlicher Flächen beleuchtet.

Stichworte: Wasserrahmenrichtlinie, Lippeumgestaltung, Hochwasserrisiko, Landwirtschaft

1 Einführung und Definition der Untersuchungsfragen

Bei Bad Lippspringe entspringend durchfließt die Lippe eine landwirtschaftlich geprägte Auenlandschaft, bevor sie bei Wesel in den Rhein mündet. Eine Ausnahme bilden städtische Agglomerationen im Mittel- und Unterlauf der Lippe. Das oberirdische Einzugsgebiet umfasst 4882 km². Der sand- und lehmgeprägte Tieflandfluss überwindet auf 220 km Fließstrecke eine Höhendifferenz von 114 m. Ein Großteil ihres Gefälles baut die Lippe hierbei bereits im Oberlauf ab. 3280 km² des Einzugsgebiets bzw. 148 km des Flusses werden vom Lippeverband bewirtschaftet.

Die gegenwärtige Gestalt und Nutzungsform der Flusslandschaft ist Ausdruck und Resultat vergangener Interessen und Bedürfnisse. Die Prioritäten lagen hierbei verstärkt auf der Urbarmachung der Aue und der schnellen und schadfreien Abführung von Hochwasser. Zum Schutz von Siedlungen wurden Deiche bis zu einem Ausbaugrad von HQ₂₅₀ errichtet, der Flusslauf begradigt sowie Ufer befestigt. Infolgedessen hat die Lippe an Lauflänge eingebüßt, während die

Sohleintiefung bis zu 3 m Tiefe voranschritt. Heute erkennt die WRRL hierin die Ursache für die festgestellten hydromorphologischen Defizite. Der größte Handlungsbedarf wird demnach in der Stärkung der Fluss-Aue-Interaktion und der Verbesserung der Gewässerstruktur gesehen. Zurzeit überplant der Lippeverband rund 45 Gewässerkilometer der Lippe bei Wesel, Hervest, Olfen, Dahl und Lünen. Eingang in diese Studie fanden die vorläufigen Ergebnisse der Planungen. Diese sind nicht fix, sondern werden weitere Änderungen erfahren. Neben Laufverlängerungen und Reaktivierung von fossilen Auenstrukturen sollen Sohlaufhöhungen realisiert werden. Nur so lässt sich das ökologische Ziel, i. e. Erhöhung der Überflutungshäufigkeiten, erreichen. Es ist zu erwarten, dass sich hierdurch insbesondere das Hochwasserrisiko für die Landwirtschaft verändert, während aktuelle Ergebnisse nicht auf eine Reduzierung des Hochwasserrisikos urbaner Bereiche hindeuten. Vor diesem Hintergrund werden im vorliegenden Beitrag folgende Fragen besprochen:

- Welche Nutzungen finden sich im Überflutungsraum der Lippe und wie verändern sich die Betroffenheiten bei Umsetzung der geplanten Maßnahmen?
- Erfahren landwirtschaftliche Schadenspotenziale bei Durchführung der Maßnahmen eine Veränderung und wird infolgedessen eine signifikante Änderung des Hochwasserrisikos herbeigeführt?
- Welche Bedeutung hat die Verschiebung von Betroffenheiten für die Planung und den Projekterfolg und wie wird mit diesen neuen Konstellationen umgegangen?

2 Ausuferungsverhalten der Lippe und Verteilung der Betroffenheiten im Überflutungsraum des Verbandsgebiets

Im Folgenden wird das Ausuferungsverhalten der Lippe auf Verbandsgebiet vor Umsetzung der Maßnahmen beschrieben. Der Überflutungsraum der Lippe entspricht in longitudinaler Ausdehnung dem Lippeverbandsgebiet und in lateraler Ausdehnung der HQ₂₅₀ Uferlinie. Letztere entspricht, sofern nicht durch anthropogene Strukturen überformt, weitestgehend dem Verlauf der Niederterrasse. Es wird nicht zwischen permanent durchflossenem Gerinne und temporär benetzter Aue unterschieden. Der Überflutungsraum entspricht, den Berechnungen des *Lippeverbands* (2006) folgend, somit einer Fläche von 66.2 km².

Mit Rückgriff auf das durch den *Lippeverband* (2006) aufgestellte zweidimensionale Strömungsmodell kann auf die durch Hochwasser beanspruchte Fläche geschlossen werden. Abbildung 1 zeigt, dass erste raumgreifende Überflutungen

ab einem Hochwasser \geq HQ₅ auftreten. Bei einem HQ₁₀₀ wird der Überflutungsraum fast in Gänze genutzt.

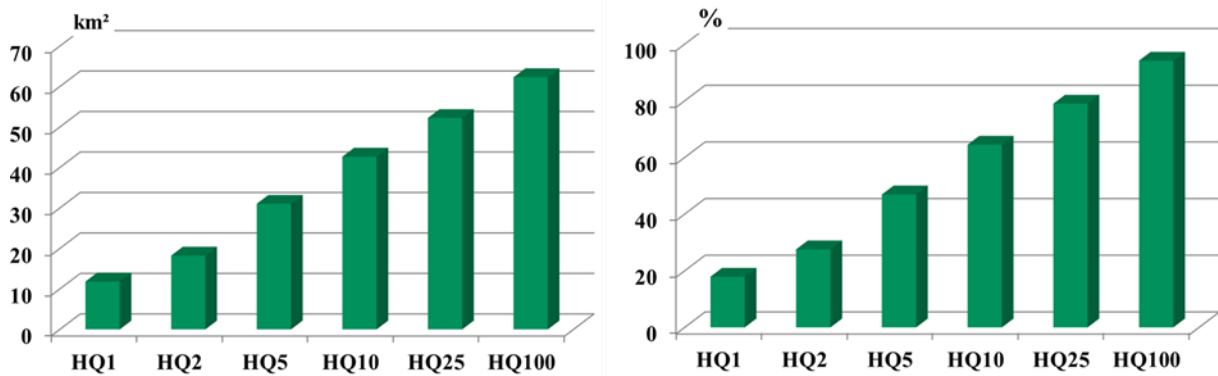


Abbildung 1: Durch Hochwasser unterschiedlicher Jährlichkeit beanspruchte Fläche vor Umsetzung der Umgestaltungsmaßnahmen - absolut (links) und in Relation zum Überflutungsraum (rechts).

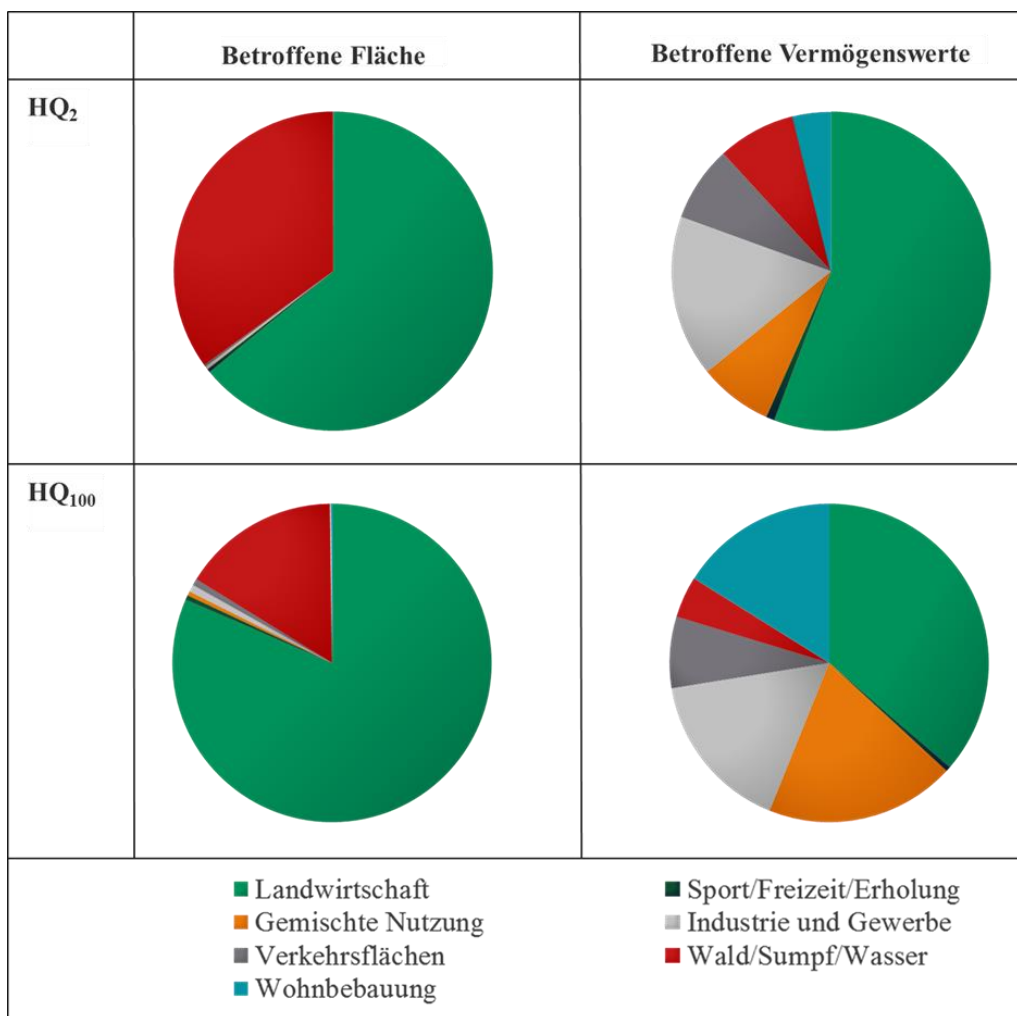


Abbildung 2: Anteilige Betroffenheit unterschiedlicher Landnutzungsformen bei Hochwassern der Lippe auf Verbandsgebiet.

Mit dem Ziel, die betroffenen Nutzungen zu identifizieren, wurden die Ergebnisse des Strömungsmodells mit Flächennutzungsdaten verschnitten. Zum Einsatz kam ein durch den *Lippeverband* (2010) erstellter Datensatz. Als Datenbasis fungierte das ATKIS und, dort wo nicht verfügbar, CORINE Land Cover Daten. Neben der so ermittelten Landnutzungsform wurde mit Hilfe von Statistikdatensätzen auf Vermögenswerte geschlossen. Es sei darauf hingewiesen, dass an dieser Stelle lediglich die Betroffenheit von Vermögenswerten signalisiert wird. Der Verschnitt der Überflutungsflächen mit dem oben beschriebenen Datensatz wurde für den Überflutungsraum auf Verbandsgebiet exemplarisch für HQ₂ und HQ₁₀₀ durchgeführt. Die Ergebnisse zeigt Abbildung 2. Sowohl bei einem HQ₂ als auch bei einem HQ₁₀₀ sind primär landwirtschaftliche Flächen betroffen. Aufgrund der höheren Wertigkeit der anderen Nutzungen verschieben sich die Anteile bei Betrachtung der betroffenen Vermögenswerte. Nichtsdestotrotz ist die Landwirtschaft auch hier am stärksten betroffen.

3 Ausuferungsverhalten der Lippe und Verteilung der Betroffenheiten im Überflutungsraum der Projekträume

Nachfolgend wird die Überflutungscharakteristik der Projekträume vor und nach Durchführung der Lippeumgestaltung miteinander verglichen. Abbildung 3 illustriert die Wirkung der Maßnahmen. Während die Überflutungsfläche häufiger Hochwasser deutlich an Größe zunimmt, bleibt sie bei seltenen Ereignissen weitestgehend konstant.

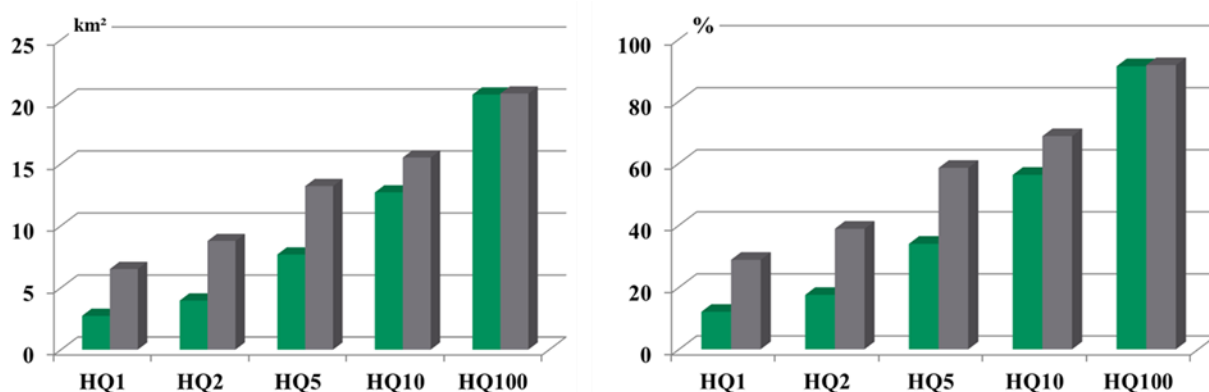


Abbildung 3: Durch Hochwasser unterschiedlicher Jährlichkeit beanspruchte Fläche vor (grün) und nach (grau) Umsetzung der Umgestaltungsmaßnahmen - absolut (links) und in Relation zum Überflutungsraum (rechts).

Die Betroffenheit der Landwirtschaft wird nun am Beispiel des Projektraums Lünen dezidiert dargestellt. Bei Durchführung der Maßnahmen würden im Falle eines HQ₂ 36%, im Falle eines HQ₁₀ 11 % und im Falle eines HQ₁₀₀ 1 % des Überflutungsraums zusätzlich beansprucht.

Abbildung 4 und 5 stellen die veränderte Betroffenheit der Nutzergruppen infolge der Umsetzung der Maßnahmen dar. Abbildung 4 differenziert entsprechend der betroffenen Fläche und setzt diese in Relation zum Überflutungsraum. Bei Umsetzung der derzeitigen Planung würden, im Falle eines HQ₂, wie bereits oben festgestellt, 36 % mehr an Fläche des Überflutungsraums beansprucht. 33 % entfielen dabei auf die Landwirtschaft. Abbildung 5 differenziert entsprechend der betroffenen Vermögenswerte und setzt diese in Relation zum Gesamtvermögen innerhalb des Überflutungsraums (ca. 10 Mio. Euro). Entsprechend der unterschiedlichen Wertigkeit verschieben sich die Anteile. Von den geplanten Maßnahmen betroffen, wäre jedoch auch hier primär die Landwirtschaft. Im Falle eines HQ₂ wären nach aktuellem Planungsstand ca. 2,6 Mio. Euro, im Falle eines HQ₁₀ ca. 820 Tsd. Euro, im Falle eines HQ₁₀₀ ca. 35 Tsd. Euro an zusätzlichem landwirtschaftlichem Vermögen betroffen. Die zusätzlich betroffenen Vermögenswerte werden mit abnehmender Eintrittswahrscheinlichkeit immer geringer, weil die zusätzlich beanspruchte Fläche abnimmt.

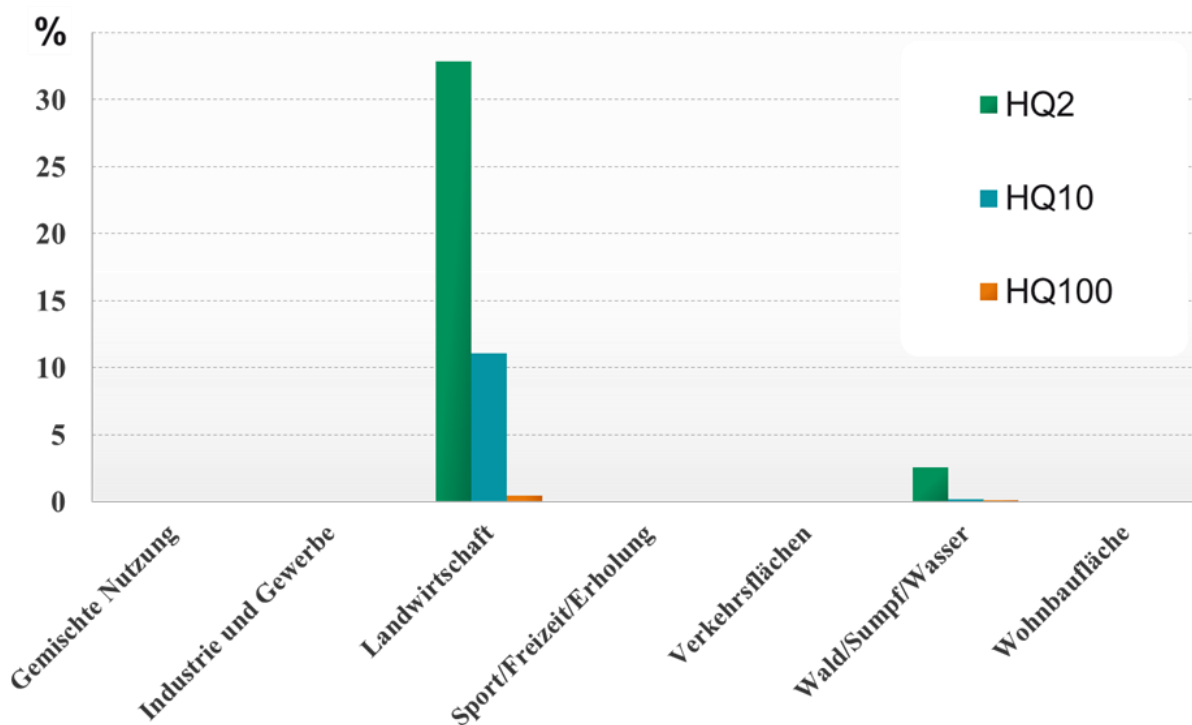


Abbildung 4: Verteilung der betroffenen Flächen über Nutzergruppen in Relation zum beanspruchten Überflutungsraum: Vergleich Plan Zustand - Ist Zustand.

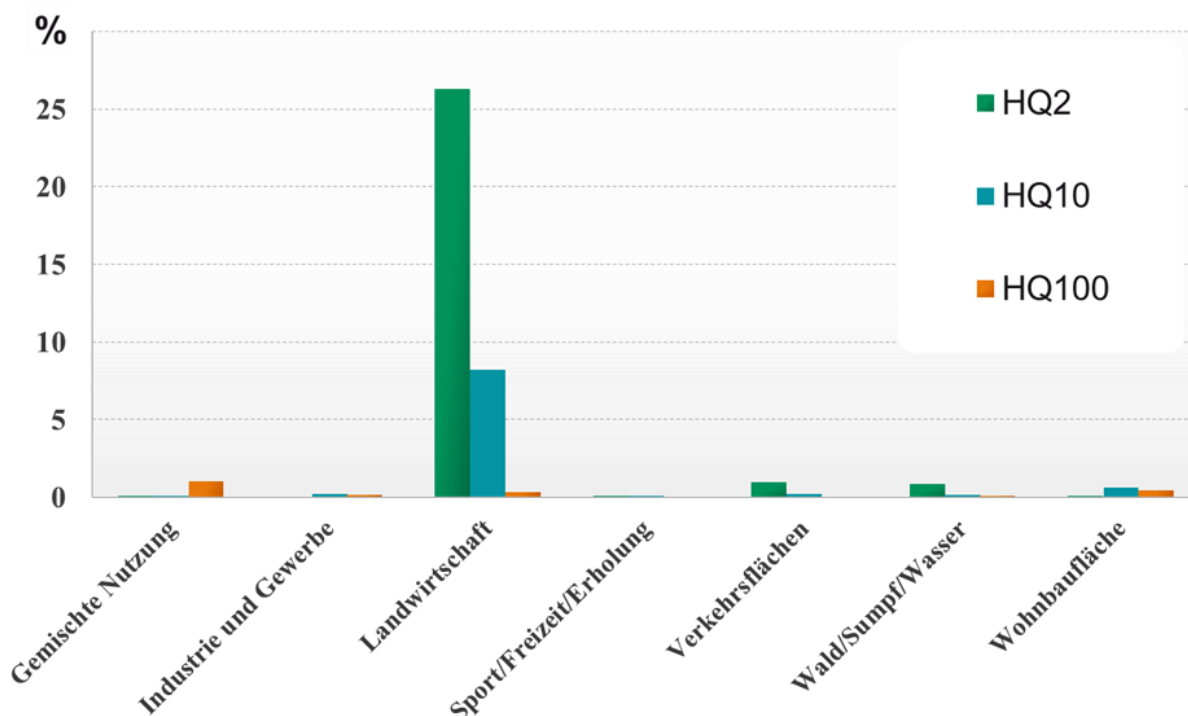


Abbildung 5: Verteilung der betroffenen Vermögenswerte über Nutzergruppen in Relation zum Gesamtvermögen innerhalb des Überflutungsraums: Vergleich Plan Zustand - Ist Zustand.

4 Schadenspotenziale in überfluteten landwirtschaftlich genutzten Auenlandschaften

Nun soll das direkte ökonomische Schadenpotenzial der Landwirtschaft betrachtet werden. Dieses wird als unmittelbarer Ertragsverlust verstanden. Neben der landwirtschaftlichen Fläche fanden Nutztiere, als Teil des ökonomischen Kapitals, Eingang in den landwirtschaftlichen Vermögenswert. Das Ausmaß des Schadens ist eine Funktion der auf das Objekt wirkenden hydrostatischen und hydrodynamischen Größen. Schadensfunktionen spiegeln dies in der Regel wieder.

Die Bestimmung des landwirtschaftlichen Schadenspotenzials ist nach *Kutschera* (2008) mit großen Unsicherheiten behaftet. Das Ausmaß des Schadens wird beispielsweise maßgeblich durch den Zeitpunkt des Ereignisses sowie die dann angebaute Feldfruchtart beeinflusst. Da zudem davon ausgegangen werden kann, dass, unabhängig vom Wasserstand, Betroffenheit Ertragsverlust bedeutet, werden für die Schadensfunktionen der landwirtschaftlichen Ertragsschäden oftmals über die Jahreszeiten gemittelte Funktionen angesetzt. Diese zeichnen

sich zudem durch konstante Schädigungsgrade aus, schlussfolgert *Kutschera* (2008). Aufgrunddessen, dass Hochwasser an der Lippe vermehrt im Winterhalbjahr auftreten sowie Ackerbau und Grünlandbewirtschaftung gleichermaßen in der Lippeau betrieben werden, wird die Verwendung der Schadensfunktion nach *Richmann et al.* (2006) vorgeschlagen. Die Entscheidung ist diskussionswürdig, stellt aber nach derzeitigen Kenntnisstand einen guten Kompromiss dar. Hiernach ergäben sich zusätzliche landwirtschaftliche Schadenspotenziale in Höhe von 780 Tsd., 246 Tsd. und 10,5 Tsd. Euro bei Ereignissen der Größenordnung HQ_2 , HQ_{10} respektive HQ_{100} .

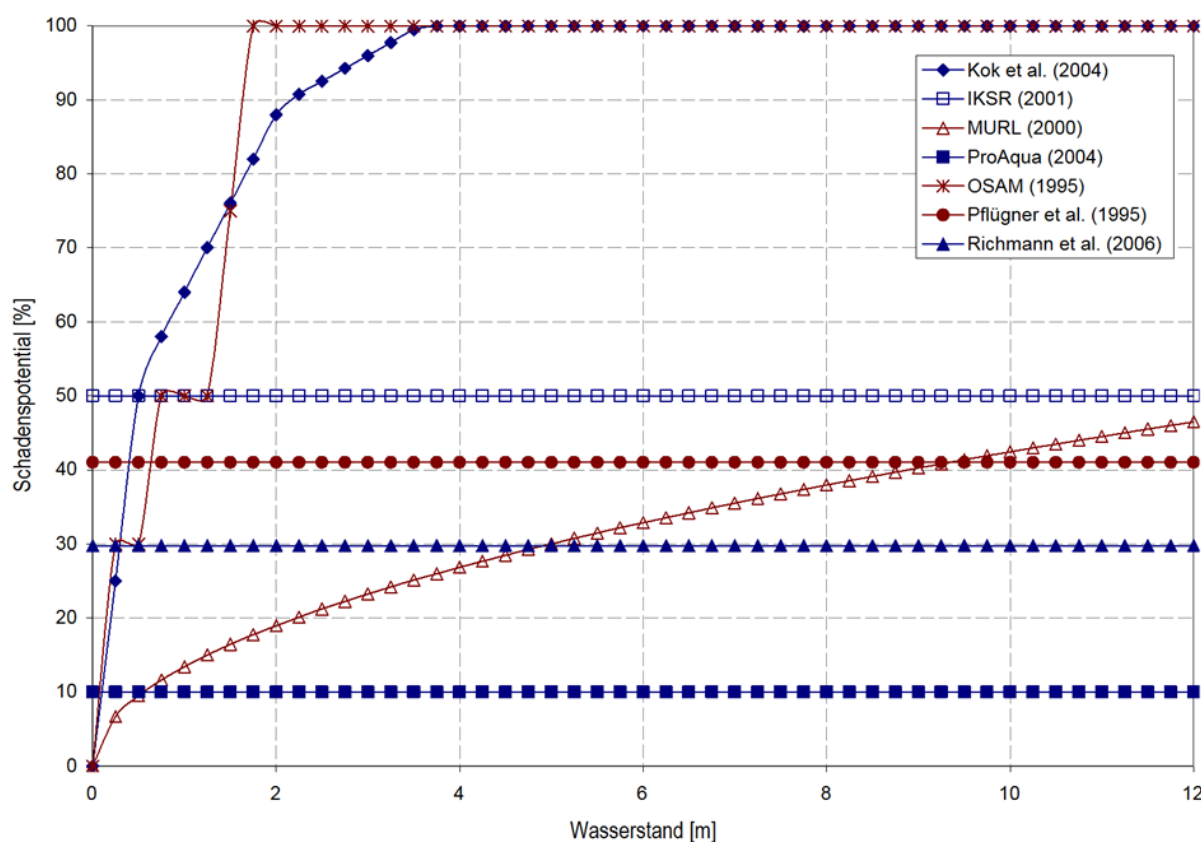


Abbildung 6: Schadensfunktionen der Kategorie Landwirtschaft nach *Kutschera* (2008).

5 Einschätzung des Hochwasserrisikos der Landwirtschaft

Die Richtlinie 2007/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken (2007) beabsichtigt entsprechend Artikel 1 die Verringerung des Risikos hochwasserbedingter nachteiliger Folgen auf die menschliche Gesundheit, die Umwelt, das Kulturerbe und wirtschaftliche Tätigkeiten. Die Signifikanz der Auswirkungen soll nach Artikel 4, Absatz 2a als Maßstab für die Bewertung des Hochwasserrisikos dienen. Der

Bericht zur vorläufigen Bewertung nach der EG-Hochwasserrisikomanagementrichtlinie in NRW des *MKULNV* (2011) konkretisiert die Forderung. Landwirtschaftliche Aktivitäten können wirtschaftlichen Tätigkeiten zugeordnet werden. *MKULNV* (2011) folgend, wird für diese ein Schadenspotenzial größer 500.000 Euro als signifikant betrachtet. Dieses Kriterium fand bislang jedoch nur bei der Bewertung zusammenhängender Siedlungsgebiete, Gewerbe- sowie Industrieanlagen Verwendung. Wendet man dies auch auf die Landwirtschaft an und legt man das zusätzlich geschaffene landwirtschaftliche Schadenspotenzial bei einem HQ_2 von 780 Tsd. Euro nach *Richmann et al.* (2006) zugrunde, so ist das Resultat der gegenwärtigen Planungen ein signifikant erhöhtes Hochwasserrisiko für die Landwirtschaft im besprochenen Projektraum.

6 Flächenverfügbarkeit als Determinante für Projektverläufe

Circa 81 % des Überflutungsraums auf Verbandsgebiet werden landwirtschaftlich genutzt. Die Ergebnisse dieser Studie und so auch *MKULNV* (2011) weisen der Landwirtschaft an der Lippe eine herausragende Rolle zu. Dies hat Konsequenzen für Planungen und Projektverläufe, wie nachfolgender Exkurs in die Historie des Projekts Lünen zeigen soll.

Im Anschluss an das 1990 durch das Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft NRW ausgerufene Gewässerauenprogramm, wurde bis 1995 das Lippeauenprogramm erarbeitet. Dieses hatte weitestgehend Konzeptcharakter. Konkretisiert wurden die Maßnahmen in den dann anlaufenden Planungen. Je nach gegebener Flächenverfügbarkeit veränderten sich die Planungen (s. Abbildung 7). Das Hinzukommen oder der Wegfall neuer Mäander und Laufverlängerungen sind Ausdruck dessen. Die oft zu beobachtende Diskrepanz zwischen erwarteter und tatsächlich realisierter Flächenverfügbarkeit verlangt nach einer adaptiven und iterativen Planung. Jeder Iterationsschritt hat jedoch Auswirkungen auf Projektkosten und Projektzeit.



Abbildung 7: Trasse der Lippe aus verschiedenen Planungsphasen: minimale Flächenverfügbarkeit (hellblau), maximale Flächenverfügbarkeit (rot) und mittlere Flächenverfügbarkeit (dunkelblau).

7 Diskussion und Ausblick

Wie ersichtlich wirkt die Flächenverfügbarkeit stark restriktiv und gestaltet den Projektverlauf. Die Flächenkulisse determiniert somit den Projekterfolg, i. e. die Erreichung ökologischer Ziele. Der Erwerb von Fläche in Flussnähe erlaubt die Realisierung erhöhter Überflutungshäufigkeiten, das primäre Ziel der Planungen. Die Erreichung der ökologischen Ziele lässt sich aber nicht nur durch Flächenkauf ermöglichen. Gemäß der Gleichung:

Hochwasserrisiko = Eintrittswahrscheinlichkeit * Schadenspotenzial

lässt sich dem Konflikt auf grundsätzlich zwei Wegen beikommen. Einer erhöhten Eintrittswahrscheinlichkeit bzw. Überflutungshäufigkeit kann durch Anpassung der Planung oder durch gegensteuernde Maßnahmen, welche dem „Objekt-schutz“ der neu betroffenen Fläche dienen, begegnet werden. Wie aus der Projekthistorie ersichtlich, werden großräumige Anpassungen der Planung regelmäßig durchgeführt. Solange die ökologischen Ziele nicht außer acht gelassen werden, ist dies legitim. Lokale gegensteuernde Maßnahmen zum Schutz neu betroffener Objekte oder Flächen vor Flusshochwasser sind bisher nicht in Planung. Gegebenenfalls wären hier die Kostenwirksamkeit sowie die Konformität der Maßnahmen mit anderen Restriktionen zu prüfen. Neben der Eintrittswahrscheinlichkeit kann das Schadenspotenzial gesenkt werden. Dies geschieht durch Anpassung der Nutzung. In der Praxis bedeutet Anpassung derzeit den Erwerb der betroffenen Fläche und die Überführung in eine neue Nutzungsform.

Größter Nutzer der Lippeaue und somit wichtigster Verhandlungspartner ist die Landwirtschaft. Wie diese Studie zeigt, sind die Einwände der Landwirtschaft berechtigt, weil landwirtschaftliche Flächen primär betroffen sind. Die Auswirkungen aufgrund der Erhöhung des Hochwasserrisikos, wie das Beispiel des Projektraums Lünen zeigt, sind signifikant. Diesem Konflikt wird derzeit mit Vermeidungsstrategien begegnet: Entweder die Planung wird angepasst oder die Fläche wird erworben und in die neue, die ökologische Nutzung überführt. Gegenwärtige Strategien sind durch eine stark sektorale, bewahrende und problemorientierte Denkweise geprägt. Eine Lösung des Konflikts wird nicht erreicht. Diese Strategien sind oftmals langwierig und kostenintensiv. Eine chancengetriebene Lösung des Konflikts bestünde in einer multifunktionalen Nutzungsform der Lippeaue.

8 Literatur

- Kutschera (2008): Analyse der Unsicherheiten bei der Ermittlung der Schadenspotentiale infolge Überschwemmung. Dissertation. Aachen 2008.
- Lippeverband (2006): Nachkalibrierung Lippehydraulik: Fortschreibung und Optimierung des vorhandenen 2D-Strömungsmodells im gesamten Verbandsgebiet, Aktualisierung der Ergebnisdokumentation. Internes Dokument. Essen 2006.
- Lippeverband (2010): Vermögenswerte für die Berechnung von Schadenspotentialen. Internes Dokument. Essen 2010.
- MKULNV (2011): Bericht zur vorläufigen Bewertung nach der EG-Hochwasserrisiko-management-Richtlinie (EG-HWRM-RL) in NRW. Düsseldorf 2011.
- Richmann, A.; Hoffmann, M.; Gretzschel, M. (2006): Möglichkeiten zur Abschätzung des Schadenspotentials im Landkreis Stendal. In: Beiträge zur Konferenz „Strategien und Instrumente zur Verbesserung des vorbeugenden Hochwasserschutzes“. Aachen 2006. Shaker: Magdeburger Wasserwirtschaftliche Hefte (Band 6), pp. 155-163.
- Richtlinie 2007/60/EG (2007): Richtlinie 2007/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken. Amtsblatt der Europäischen Union vom 06. Oktober 2007.

Autoren:

Matthias Bethlehem, M.Sc.

Dipl.-Hydrol. Georg Johann

Emschergenossenschaft/Lippeverband
Kronprinzenstraße 24
45128 Essen

Emschergenossenschaft/Lippeverband
Kronprinzenstraße 24
45128 Essen

Tel.: +49 201 104 3178

Tel.: +49 201 104 2249

Fax: +49 201 104 3149

Fax: +49 201 104 3149

E-Mail: bethlehem.matthias@eglv.de

E-Mail: johann.georg@eglv.de

Hochwasserschutz- und Ökologieprojekt Murg in Rastatt

Axel Pälchen

Das Hochwasserschutz- und Ökologieprojekt Murg in Rastatt wurde im Oktober 2014 nach zweieinhalb Jahren Bauzeit fertig gestellt. Es liegt im Regierungsbezirk Karlsruhe, kurz bevor das Fließgewässer Murg in den Rhein mündet, und ist eine Kombination aus einer Hochwasserschutzmaßnahme und verschiedenen Ökologemaßnahmen. Hochwasserschutz heißt, innerhalb der Stadt Rastatt auf einer Länge von drei Kilometern eine Vergrößerung des Hochwasserabflussprofils durch die Absenkung der Gewässervorländer um bis zu 1,00 m und außerhalb der Stadt, auf einer Länge von ca. 2 Kilometern, Dammrückverlegungen zwischen 100 m und 500 m. Die mit den Dammrückverlegungen reaktivierten Gewässerauen in der Größenordnung von 57 ha dienen künftig als Hochwasserretentionsraum und können sich langfristig als wertvoller Lebensraum für die Arten der FFH-Richtlinie und der EG-Wasserrahmenrichtlinie eigendynamisch entwickeln. Innerhalb der Stadtstrecke wurde das Gewässer durch Strukturverbesserungen ökologisch aufgewertet, zwei während der Bauzeit abgelaufene Hochwasserereignisse optimierten das Ganze. Es handelt sich hier um eine EU geförderte Maßnahme mit rund 10 Mio. Euro Baukosten.

1 Hochwasserschutz- und Ökologieprojekt Murg in Rastatt

Das Hochwasserschutz- und Ökologieprojekt Murg Rastatt ist Teil des LIFE+-Projekts „Rheinauen bei Rastatt“. Ziel des Projektes war die wesentliche Verbesserung des Hochwasserschutzes im Stadtbereich Rastatt sowie die Herstellung und Entwicklung von Lebensräumen für die Arten der FFH- und Wasserrahmenrichtlinie.

Die Region um Rastatt war schon immer durch den Rhein und die Murg einer besonderen Gefährdung durch Hochwasser ausgesetzt. Daher war Rastatt auch Pilotgebiet für die Hochwassergefahrenkarten, die ein zentraler Bestandteil des Hochwasserrisikomanagements des Landes Baden-Württemberg sind.



Abbildung 1: Vorlandabtrag mit Strukturverbesserung

Im Bereich der Stadt Rastatt fließt die Murg auf der gesamten Strecke im Hochsystem. Bisher war man davon ausgegangen, dass durch die links- und rechtsseitigen Deiche ein 50-jährlicher Hochwasserschutz für die Stadt besteht. Im Rahmen der Erarbeitung von Hochwassergefahrenkarten wurde aber deutlich, dass bei einem 50-jährlichen Hochwasserereignis kein ausreichendes Freibord vorhanden ist. Bereichsweise bestehen sogar bordvolle Verhältnisse und bei HQ 100 bordet die Murg aus. Dadurch werden große Flächen der Stadt mit sehr hohem Schadenspotenzial überflutet. Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie wurde eine Hochwasserschutzkonzeption entwickelt, auf deren Grundlage dann ein 100-jährlicher Hochwasserschutz für die Stadt Rastatt hergestellt werden konnte.



Abbildung 2: HQ 20 von 1990

Im Zusammenhang mit der Erstellung des Bewirtschaftungsplans und des Maßnahmenprogramms zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie zeigte sich, dass das gute ökologische Potenzial im Wasserkörper 34-03 „Murg unterhalb Michelbach (Oberrheinebene)“ derzeit nicht erreicht wird. Die Murg besitzt als Hauptgewässer im Wasserkörper 34-03 eine besondere Bedeutung. Durch Begradigung und Hochwasserschutzdeiche war das Gewässer jedoch sehr stark beeinträchtigt.



Abbildung 3: Stadtstrecke vor der Ausführung

Zur Erreichung der WRRL-Ziele waren deshalb Strukturverbesserungen an dem kanalisiertem und naturfernen Gewässerlauf erforderlich, um fehlende Funktionsräume wie z. B. Unterstände, Jungfisch- und Laichhabitats etc. wiederherzustellen und innerhalb des Gewässers in geeigneten Abständen ökologische Trittsteine zu schaffen.

Naturerlebnis und Umweltbildung sind punktuell durch neue Zugänglichkeiten zum Gewässer verbessert worden.

Das Projekt erstreckt sich über die Gemarkungsgebiete der Stadt Rastatt und der Gemeinde Steinmauern. Durch Rückbau der bestehenden Deiche wurden ca. 57 Hektar ehemalige Murgau als Überflutungsraum für den Hochwasserschutz reaktiviert und können sich als wertvoller Lebensraum für die Arten der FFH-Richtlinie und der EG-Wasserrahmenrichtlinie entwickeln. Außerdem wurden die Murgvorländer innerhalb der Stadt Rastatt auf ca. 3 km Länge abgesenkt. Durch diese Kombination von Vorlandabtrag und Deichrückverlegung wurde der Hochwasserschutz im Stadtgebiet Rastatt deutlich verbessert.

Ein Hochwasserereignis HQ 2 im Winterhalbjahr 2012 / 2013, kurz nach Fertigstellung des Vorlandabtrages und der Strukturverbesserungen, gestaltete die Murg eigendynamisch die gesamte Flusslandschaft auf eine Art und Weise um,

wie sie nicht besser hätte geplant oder hergestellt werden können. Befürchtete Erosionsschäden entpuppten sich nach dem abgelaufenen Hochwasser als faszinierenden ökologischen Zugewinn.



Abbildung 4: Nach dem Hochwasser

Aufgrund seiner Bedeutung für den Naturschutz im Bereich der Rhein- und Murgvernetzung war das Projekt die größte Maßnahme des LIFE+Projekts „Rheinauen bei Rastatt“ und wurde von der Europäischen Union gefördert. Sie sind einer der wertvollsten Naturschätze im Regierungsbezirk Karlsruhe. Mit insgesamt 9,4 Mio Euro wurden die Rhein- und Murgau in den letzten vier Jahren aufgewertet und damit wieder natürlicher, wertvoller und für Mensch und Natur interessanter.

Negative Auswirkungen auf die Grundwasserverhältnisse im Bereich der bebauten Gebiete in Folge der ausgeführten Deichrückverlegungen werden durch die Errichtung von Drainageleitungen entlang des Murgdeiches der Siedlung Rheinau, entlang der L77a sowie entlang des rückverlegten Deiches im Bereich Bittler vermieden. Das bei Hochwasser in den Drainageleitungen anfallende Grundwasser wird mittels eines neuen Grundwasserpumpwerks in der Rheinau sowie eines bestehenden Pumpwerks im Bittler in die Murg abgeleitet.

Träger des Vorhabens war das Land Baden-Württemberg, vertreten durch den Landesbetrieb Gewässer beim Regierungspräsidium Karlsruhe. Die bauliche Umsetzung erfolgte zwischen Juni 2012 und Oktober 2014. Die Gesamtkosten betragen rund 10 Mio. Euro. Die Förderung der EU im Rahmen des Life+-Projektes betrug rund 2 Mio. Euro. Die verbliebenen 8 Mio. Euro wurden zwischen den Projektpartnern Land Baden-Württemberg (70 %) und Stadt Rastatt (30 %) aufgeteilt.

Begleitend zum Projekt fand eine umfassende Öffentlichkeitsarbeit statt. Das Projekt wurde bereits während der Planungsphase bei verschiedenen Veranstaltungen und Bürgerinformationen öffentlich vorgestellt. Auch während der Bauphase fanden viele öffentliche Begehungen o. ä. statt, die immer gut besucht waren. Das Projekt wurde seitens der Öffentlichkeit und der Presse sehr intensiv und überwiegend positiv begleitet, obwohl Belastungen wie Lärm und Staub im Stadtgebiet und vor allem der zeitweise Wegfall der Radwege auf den Deichkronen im Zuge der Deichrückverlegungen nicht vermieden werden konnten.



Abbildung 5: Deichrückverlegung Bittler

Abschließend bleibt festzuhalten, dass das Hochwasserschutz- und Ökologieprojekt Murg in Rastatt in hervorragender Weise Hochwasserschutz und Naturschutz vereinigt.

2 Literatur

Regierungspräsidium Karlsruhe: Referat 53.1 / 53.2 Landesbetrieb Gewässer
Referat 56 Naturschutz und Landschaftspflege

Autor:

Dipl.-Ing. (FH) Axel Pälchen

Regierungspräsidium Karlsruhe
Landesbetrieb Gewässer
Dienstszitz Freudenstadt
Stuttgarter Straße 61
72250 Freudenstadt

Tel.: +49 7441 9148055
Fax: +49 7441 9148099
E-Mail: axel.paelchen@rpk.bwl.de

Renaturierung versus Verockerung – die Renaturierung des Vetschauer Mühlenfließes vor dem Hintergrund bergbaulicher Beeinträchtigungen

Daniel Schmidt
Elisabeth Meinel
Michael Mucha

Zahlreiche Gewässer im Spreewald sind von dem Phänomen der Verockerung betroffen. Der Eisenocker kann grundsätzlich aus diffusen oder flächigen Quellen eingetragen werden. Eisen und Ocker treten dabei insbesondere aus ehemaligen Braunkohlelagerstätten aus. Die Verockerung entsteht im EZG der Gewässer und wird durch ein komplexes Zusammenspiel verschiedener Faktoren wie bodenkundlichen, hydrologischen, chemischen und mikrobiellen Prozessen zu einem gewässerökologischen Problem. Wesentliche Auswirkungen können dabei neben der unmittelbaren Beeinträchtigung der Tier- und Pflanzenwelt, die Verringerung der Biodiversität sowie der Strukturvielfalt sein, die z. B. durch die Verlegung des hyporheischen Interstitials oder die Kolmation von Kieslaichplätzen bedingt sein kann. Der rote Ocker ist zwar nicht unmittelbar giftig, kann aber die Lebensbedingungen der Gewässerorganismen aus den zuvor genannten Gründen erheblich verschlechtern und somit auch die Zielerreichung gemäß § 27 WHG erschweren. Das Vetschauer Mühlenfließ ist temporär durch eine starke Rot- bzw. Orangefärbung gekennzeichnet, die durch die Ausfällung von Eisen(III)Oxid verursacht wird. Es wurde im Zuge der Tagebauentwicklung mehrfach aus- und umgebaut. Dabei wurden vorhandene Gewässerabschnitte zum Teil massiv überformt. Für die Abführung der anfallenden Grubenwassermengen war die Herstellung eines größeren Abflussprofils erforderlich. Um die Auswirkungen der Verockerung zu reduzieren und gleichzeitig den guten ökologischen Zustand zu erreichen, ist eine alleinige Verbesserung der Wasserqualität nicht ausreichend. Es müssen vielmehr innerhalb des Gewässers strukturverbessernde Maßnahmen realisiert werden, durch die entsprechende Refugialhabitate entstehen, und der natürliche Eintrag von Sauerstoff verbessert sowie die Strömungsdiversität erhöht werden. Entlang des Vetschauer Mühlenfließ wurden deshalb in mehreren Abschnitten verschiedene Komplexmaßnahmen realisiert. An mehreren Bauwerken wurde die ökologische Durchgängigkeit durch den Bau von Fischwanderhilfen hergestellt, gleichzeitig wurde das überdimensionierte Gewässerprofil durch Buhnen eingengt und ein mäandrierender Verlauf innerhalb des ursprünglichen Gewässerbettes initialisiert. Des Weiteren erfolgten begleitende Maßnahmen wie die Herstellung von Uferanbrüchen bzw. Steilwänden als potentielle Eisvogelhabitate.

Stichworte: Wasserrahmenrichtlinie, Bewirtschaftungsziele, ökologische Funktionsfähigkeit, Verockerung, Renaturierung

1 Veranlassung und Zielstellung

Das Vetschauer Mühlenfließ (VMF) wurde zum Zwecke der Grubenwasserab-
leitung des Sumpfungswassers der Tagebaue Seese und Schlabendorf sowie
weiterer ehemals geplanter Tagebaue umfassend als Trapez- oder Kastenprofil
ausgebaut. Auf einer Gesamtstrecke von 4,4 km wurden parallel bzw. im Ne-
benschluss zum Altlauf drei Nebengerinne (Neulauf) angelegt, die als Hochwas-
serableiter fungieren. Das überdimensionierte gleichförmige Trapezprofil, die
Vertiefung der Sohle und die eingeschränkte Laufentwicklung des ausgebauten
Gewässers charakterisieren das VMF als massiv anthropogen beeinflusstes
Fließgewässer. Des Weiteren war die Längsdurchgängigkeit des Gewässerab-
schnittes durch zahlreiche unpassierbare Querbauwerke nicht gegeben und durch
mehrere Brücken- und Rohrdurchlässe gekennzeichnet. Natürliche Gewässer-
und Uferstrukturen waren durch den Ausbau weitgehend verloren gegangen. Die
Breiten- und Tiefenvarianz war als gering bis mäßig zu bewerten. Breitenerosi-
on bzw. Uferdynamik trat gar nicht auf oder war nur schwach ausgeprägt, was u.
a. auch durch den linienhaften Bewuchs mit Erlen bedingt ist (grüne Fixierung)
und keine Ausbildung einer strukturreichen Uferlinie und Wasserwechselzone
zuließ (vgl. *Gebler, 2 009*). Der dicht stehende lückenlose Erlenbestand fixiert
dabei mit seinem senkrecht ins Wasser ragenden Wurzelsystem das Ufer des
Neulaufs und verhindert dadurch eine Laufentwicklung. Mit dem Rückgang der
Einleitungsmengen von Sumpfungswasser i. Z. der Stilllegung der Tagebaue
erwies sich der Abflussquerschnitt als überdimensioniert. Aufgrund der dadurch
bedingten deutlich verringerten Fließgeschwindigkeit lagerte sich eine große
Menge Schlamm auf der Gewässersohle ab.

Der relevante Gewässerabschnitt beginnt oberwasserseitig zwischen der A13
und der L49. Am dort vorhandenen Wehr wird über die Stauhaltung der Abfluss
für einen Kanal reguliert, der als Zuleiter zum Schlosspark der Stadt Vetschau
fungiert. Die Wasserführung im Schlossgraben kann durch das Abschlagsbau-
werk sowie ein Wehr am Auslauf des Grabens reguliert werden. Unmittelbar
unterhalb der L49 teilt sich das VMF in den Altlauf und Neulauf auf. Im Bereich
der früheren Stradow Mühle liegt auf einer Länge von etwa 400 m wiederum
erneut nur ein Wasserlauf vor. Ab Station 5+000 existieren wieder zwei Wasser-
läufe. Der Neulauf befindet sich zunächst linksseitig des Altgewässers. In die-
sem Bereich entwässert der Ablauf der Kläranlage Vetschau in den Neulauf. Bei
Station 4+450 wurde ein Düker im Altlauf errichtet, an dem sich beide Gewäs-
ser kreuzen, so dass unterhalb des Bauwerkes der Neulauf rechtsseitig den Alt-
lauf begleitet. Im Raum Stradow befinden sich beidseitig die Stradower Fisch-
teiche, die vom Vetschauer Mühlenfließ aus bespannt werden und dem Gewäs-
ser periodisch Wassermengen entnehmen bzw. zuführen. Unterhalb der Teiche

vereinigen sich wieder beide Wasserläufe. In den letzten Jahren haben hohe Eisenockerfrachten zu einer zusätzlichen Beeinträchtigung des Gewässers geführt.

2 Leitbild

Gemäß LUGV ist der Neulauf im betrachteten Abschnitt dem LAWA-Typ 19 (Kleine Niederungsfließgewässer in Fluss- und Stromtälern) zugeordnet und weist einen schlechten ökologischen Zustand auf. Dieser Referenztyp ist durch einen geschwungenen bis mäandrierenden Gewässerverlauf, eine geringe Vertiefung, stabile Ufer und überwiegend organischen bis fein- bis grobkörnigen Sohlsensubstraten gekennzeichnet. Das Strömungsbild weist neben Bereichen mit kaum erkennbarer, auch Abschnitte mit deutlich fließender Strömung auf. Darüber hinaus ist der „Wechsel von Beschattung und Lichtstellung mit ausgeprägten Makrophyten- und Röhrichtbeständen“ (Pottgiesser & Sommerhäuser, 2008) typspezifisch. Daher kann sich eine artenreiche Makrophyten-Gesellschaft mit bspw. *Potamogeton natans*, *Myriophyllum spicatum* und *Nuphar lutea* etablieren.

Im Längsschnitt des Gewässers sollte ein stufiger, abwechslungsreicher mehrschichtiger Aufbau des Gehölzsaums vorhanden sein. Dieser ergibt sich durch die unterschiedliche Wuchsform, aber vor allem durch die unterschiedliche Altersstruktur und Artenzusammensetzung der Gehölze (Mosaik-Zyklus). Ohne anthropogene Beeinflussung entstehen durch Unterbrechung der natürlichen Sukzession wie z. B. Abgang, Windwurf oder Hochwässer immer wieder Lücken im Gehölzsaum. Dort können sich zunächst Stauden- und Röhrichtbestände entwickeln (vgl. LUBW, 2007). Das Ziel darf deshalb kein konstanter, konservierter Vegetationszustand sein, sondern es sollen die Voraussetzungen für die naturnahe Vegetationsentwicklung geschaffen werden.

3 Ökologische Funktionsfähigkeit

Die ökologische Funktionsfähigkeit und damit die Lebensbedingungen in und an Gewässern werden ganz wesentlich durch die Wasserqualität, die Abflussdynamik und die Strukturausstattung bestimmt. Sie ist dann gegeben, wenn ein Ökosystem die Fähigkeit zur Erhaltung von Regulation (= Fähigkeit zur Erhaltung der natürlichen Ausprägung), Resilienz (= Fähigkeit, nach Überwindung vorübergehender Störungen die charakteristische Ausprägung wieder zu erreichen) und Resistenz (= Widerstand eines Ökosystems gegenüber störenden Einflüssen) aufweist. Die ökologische Funktionsfähigkeit impliziert, dass die natürlichen am

und im Gewässersystem vorkommenden Tier- und Pflanzenarten autochthone Bestände ausbilden können. Die Erhaltung der ökologischen Funktionsfähigkeit bedeutet daher die langfristige Bestandssicherung der gewässertypischen Fauna und Flora. Eine Störung der ökologischen Funktionsfähigkeit zeigt sich in quantitativen und qualitativen Veränderungen der Biozöosen und kann bis zum Ausfall autochthoner Arten oder zum Auftreten gänzlich neuer Arten führen.

Die ökologische Durchgängigkeit für Gewässerorganismen ist eine wesentliche Grundlage für die ökologische Funktionsfähigkeit von Fließgewässern. Sie ist insbes. auch eine Voraussetzung zur Erreichung des guten ökologischen Zustands i. S. der Bewirtschaftungsziele (§ 27 WHG).

Bei Fließgewässerökosystemen handelt es sich um 4-dimensionale Lebensräume (vgl. *Jungwirth et al.*, 2003), die neben drei räumlichen (longitudinale, laterale und vertikale Konnektivität) auch eine zeitliche Komponente aufweisen. Je nach Längszonierung im Fließgewässer dominieren unterschiedliche Austausch-, Migrations- und Transportprozesse die ökosystemaren Vorgänge.

4 Verockerung

4.1 Ursachen

Das VMF ist temporär bereits durch eine starke Rot- bzw. Orangefärbung gekennzeichnet, die durch die Ausfällung von Eisen(III)Oxid verursacht wird. Die Verockerung entsteht dabei im Einzugsgebiet der Gewässer und wird durch ein komplexes Zusammenspiel verschiedener Faktoren wie bodenkundlichen, hydrologischen, chemischen und mikrobiellen Prozessen zu einem gewässerökologischen Problem (*Prange*, 2007). Eisen(II)-haltiges Grundwasser entsteht insbesondere, wenn sulfidische Mineralien (Pyrit, FeS_2) verwittern, in dem sie mit Sauerstoff in Verbindung treten und Eisen und Schwefel voneinander getrennt werden (*Uhlmann & Horn*, 2001; *Tent*, 2006; *Prange*, 2007). Dieser Prozess kann durch Grundwasserabsenkungen, wie sie beim Braunkohletagebau stattfinden, verstärkt hervorgerufen werden. Bei der chemischen Reaktion handelt es sich um eine Redoxreaktion, deren Reaktionsgeschwindigkeit durch die vorhandenen chem.-physikalischen Bedingungen bestimmt wird.

Wenn Eisen(II)-haltiges Grundwasser an die Erdoberfläche gelangt, wird es durch Oxidation schnell zu Eisen(III)Oxid umgewandelt und es fällt als hydratisiertes Eisenhydroxid (bzw. Eisenocker) deutlich sichtbar aus. Je größer die Fe(II)-Konzentration, der gelöste Sauerstoff und der pH-Wert sind, desto schneller läuft die Reaktion ab. Eisen kann nur in sauerstoffarmen, kohlesäurereichem Wasser mit einem pH-Wert $< 7,5$ in nennenswerten Mengen in Lösung bleiben

(vgl. *Baur et al.*, 2010). Je schneller die Oxidation abläuft, desto kürzer ist die Halbwertszeit des gelösten zweiwertigen Eisens, wodurch dessen Immobilisation im Boden bzw. die Sedimentation im Gewässer beschleunigt wird (*Prange*, 2007).

Der Eisenocker kann grundsätzlich aus diffusen oder flächigen Quellen eingetragen werden. Eisen und Ocker treten insbes. aus ehemaligen Braunkohlelagerstätten aus. Hier wurde der Pyrit belüftet, als die Braunkohle abgebaut wurde. In gedräntem Gelände wird Pyrit meist in der trockenen Jahreszeit oxidiert, das gelöste Eisen wird meist aber erst in der niederschlagsreichen Jahreszeit mit dem sauren Wasser in die Gewässer gespült. Daher tritt die stärkste Ockerverunreinigung der Gewässer i. d. R. im Winter auf, wenn das meiste Wasser aus den Flächen austritt. Aufgrund der im Winter niedrigen Wassertemperaturen tritt die größte Belastung in der Regel zu dieser Zeit auf. Im kalten Wasser (geringe Sauerstoffkapazität) oxidiert das gelöste Eisen langsamer. Deshalb wird es über längere Strecken transportiert als im Sommer.

Sofern bei der Gewässerunterhaltung Wasserpflanzen gemäht werden, zwischen denen sich viel Ocker abgelagert hat, wird dieser im Wasser aufgewirbelt. Er wird in einem „Peak“ als Verunreinigungswolke bachabwärts transportiert. Wenn das eisenhaltige Wasser an den Blättern vorbei strömt, oxidiert das Eisen zu Ocker. Hier, dicht an den Wasserpflanzen, sind die Sauerstoffkonzentrationen im Vergleich höher und das saure Wasser wird neutralisiert. Darüber hinaus filtern die Pflanzen den ausflockenden Ocker aus dem Wasser, so dass er nicht weiter transportiert wird (*Tent*, 2006).

4.2 Wirkung/Ökotoxizität

Die Reaktion der Biozöosen bzw. Ökosysteme auf Stressoren kann nach *Gude-rian & Gunkel* (2000) phänomenologisch unterteilt werden in

- Verhaltensänderungen der Organismen,
- Störungen oder Populationsdynamik z. B. durch Änderung der Reproduktion oder Fertilität,
- Verbreitung der Organismen (Chorologie),
- Bioakkumulation im Nahrungsnetz.

Hinsichtlich der Ökotoxizität muss zwischen dem Eisenocker auf der einen Seite und dem Eisen an sich auf der anderen Seite differenziert werden. Das gelöste Eisen und das saure Wasser können sowohl auf Wirbellose als auch auf Fische toxisch wirken. Der Grenzwert für die tolerierbaren Eisenkonzentrationen wird dabei in der Fachliteratur unterschiedlich angegeben, da Eisen bei unterschiedlichen Bedingungen (pH-Wert, Kalkgehalt, SBV-Wert, Temperatur, Sauerstoff-

gehalt usw.) einen unterschiedlichen Toxizitätsgrad aufweist (*Baur et al.*, 2010). Je saurer das Wasser ist, desto schädlicher wirkt sich das Eisen aus. Für adulte Forellen gilt dabei ein Wert von 0,3 mg/l, bei Karpfen < 0,9 mg/l, Eier und Brütlinge können bereits ab Konzentrationen von > 0,1 mg/l geschädigt werden (*Baur et al.*, 2010). Gelöstes Eisen kann insbes. an den Kiemen oxidieren, so dass die Atmung gestört wird. Zusätzlich kann es zu einer Rötung, Reizung und sogar Anätzung des Kiemenepithels kommen (*Baur et al.*, 2010). Vergleichbares geschieht auch bei Wirbellosen, die oftmals fast einen „Ockerpanzer“ tragen (*Tent*, 2006). Der rote Ocker ist zwar nicht unmittelbar giftig, kann aber die Lebensbedingungen der Gewässerorganismen erheblich verschlechtern (vgl. *Tent*, 2006).

Wesentliche Auswirkungen des Eisenockers sind (vgl. *Tent*, 2006; *Prange*, 2007):

- Unmittelbare Beeinträchtigung der Tier- und Pflanzenwelt (Organismen- bzw. Populationsebene, Rückgang von Arten- und Individuenzahlen),
- Verringerung der Biodiversität (Zunahme euryöker Arten, Verlust stenöker Arten),
- Trübung des Gewässers (Nahrungssuche von Fischen wird erschwert),
- Veränderung der Gildenzusammensetzung bzw. des Nahrungsnetzes,
- Verlegung des hyporheischen Interstitials,
- Kolmation vorhandener Kieslaichplätze,
- Verringerung der Strukturvielfalt im Gewässer,
- Geringere (Primär-)Produktion,
- Verringerung der Selbstreinigungsleistung des Gewässers.

Insbesondere Fische weisen i. V. mit ihrer hohen Mobilität ein ausgeprägtes Flucht- bzw. Präferenzverhalten auf. Dies führt in Fließgewässern dazu, dass die Fische bei ungünstigen Lebensbedingungen Refugialräume aufsuchen und dort die Schadwirkung überdauern (*Guderian & Gunkel*, 2000).

5 Maßnahmen

Die Komplexmaßnahme am VMF umfasst u. a.:

- Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit an mehreren Standorten in Form von Raugerinnen mit Beckenstrukturen und Vertical-Slots,
- Rückbau eines Dükers,

- Neubau des Verteilerbauwerkes,
- Neubau von Staubauwerken (Wasserstandssicherung und teichbewirtschaftungsabhängige Regulierung),
- Reprofilierung (Entschlammung - Entfernung von organischen Deckauflagen des Altlaufs mit Stärken zwischen 25 bis 110 cm),
- Sohlanhebung (Einbau von Sohlsubstrat),
- Einbau von Sohlschwelen (Wasserstandssicherung und teichbewirtschaftungsabhängige Regulierung, Erhöhung der Fließgeschwindigkeit, Eintrag von Sauerstoff),
- Einbau von Buhnen zur Erhöhung der Strömungsdiversität und zur Einengung des Abflussprofils,
- Herstellung von Ufersteilwänden als potentielle Bruthabitate des Eisvogels,
- Auflichtung des vorhandenen gewässerbegleitenden dichten Gehölzsaums (Freistellung von wertgebenden Gehölzarten).

Das Zusammenspiel aller Maßnahmen erhöht die Strukturdiversität sowie die Breiten-, Tiefen- und Strömungsvarianz im Gewässer. Hierdurch entstehen zahlreiche neue wertvolle Meso- und Mikrohabitate. Durch das eingebrachte Substrat wird im Zusammenspiel mit der Erhöhung der Fließgeschwindigkeit das hyporeische Intestitial wiederhergestellt, welches ein wesentliches Refugialhabitat sowohl für Makroinvertebraten als auch für Fischlarven darstellt. Zahlreiche Arten können bei erhöhten Eisenfrachten in geschützte Bereiche ausweichen.

Alle naturschutzfachlichen Belange wurden während der Umsetzungsphase durch eine Umweltbaubegleitung gewährleistet und dokumentiert.

6 Erfolgskontrolle

Im Anschluss an die Gesamtmaßnahme wurde eine fischökologische und hydraulische Erfolgskontrolle durchgeführt. Das fischökologische Leitbild bzw. die Referenzzönose für das VMF umfasst 25 Arten von denen 19 i. R. von Funktionskontrollen dokumentiert werden konnten. Die Fischwanderhilfen wurden im Hinblick auf die Auffind- und Passierbarkeit einer Funktionskontrolle (Reusenfang) unterzogen. Dabei wurden mit Döbel, Aland und Gründling drei rheophile Taxa erfasst. Im Bereich der Profileinengungen konnten im Rahmen der Erfolgskontrolle Fließgeschwindigkeiten von bis zu 0,5 m/s dokumentiert werden.



Abbildung 1: Einbau von Buhnen im Bereich der Einmündung des Altlaufs in den Neulauf – der Einlauf liegt in einer strömungsgünstigen Prallhanglage



Abbildung 2: Herstellung der Ufersteilwände als mögliche Eisvogelhabitate



Abbildung 3: Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit in Form eines Raugerinnes mit Beckenstrukturen

7 Literatur

- Baur, W. H.; Bräuer, G.; Rapp, J. (2010): Nutzfische und Krebse – Lebensraum, Erkrankungen und Therapie. Enke Verlag. Stuttgart.
- Gebler, R.-J. (2005): Entwicklung naturnaher Bäche und Flüsse – Maßnahmen zur Strukturverbesserung – Grundlagen und Beispiel aus der Praxis. Verlag Wasser+Umwelt. Walzbachtal.
- Guderian, R.; Gunkel, G. (2000): Handbuch der Umweltveränderungen und Ökotoxikologie - Aquatische Systeme. Band 3B, Springer Verlag Berlin – Heidelberg, 2000.
- Jungwirth, M., Haidvogel, G.; Moog, O.; Muhar, S., Schmutz, S. (2003): Angewandte Fischökologie an Fließgewässern. Facultas UTB , Wien.
- Lubw - Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (2007): Gehölze an Fließgewässern. Oberirdische Gewässer Gewässerökologie 105, Karlsruhe 2007.
- Pottgiesser, T.; Sommerhäuser, M. (2008): Erste Überarbeitung der Steckbriefe der bundesdeutschen Fließgewässertypen (Teil A) und Ergänzung der Steckbriefe der deutschen Fließgewässertypen um typspezifische Referenzbedingungen und

- Bewertungsverfahren aller Qualitätselemente (Teil B). Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes (Teil A) und der LAWA (Teil B).
- Prange, H. (2007): Ochre Pollution as an Ecological Problem in the Aquatic Environment – Solution Attempts from Denmark. HRSG. Edmund Siemers-Stiftung. Books on demand GmbH, Norderstedt.
- Tent, L. (2006): Ocker - ein Gewässerproblem, gegen das wir einiges tun können. ad fontes Verlag. Hamburg.
- Uhlmann, D., Horn, W. (2001): Hydrobiologie der Fließgewässer. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

Autoren:

Dipl.-Ing. (FH) Daniel Schmidt

Dipl.-Ing. (FH) Elisabeth Meinel

IPP HYDRO CONSULT GmbH
Gerhart-Hauptmann-Str. 15
03044 Cottbus

IPP HYDRO CONSULT GmbH
Gerhart-Hauptmann-Str. 15
03044 Cottbus

Tel.: +49 355 75 70 05 19

Tel.: +49 355 75 70 05 18

Fax: +49 355 75 70 05 22

Fax: +49 355 75 70 05 22

E-Mail: d.schmidt@ipp-hydro-consult.de

E-Mail: e.meinel@ipp-hydro-consult.de

Dipl.-Ing. Michael Mucha

Wasser- und Bodenverband Oberland-
Calau
Lindenstraße 2
03226 Vetschau OT Raddusch

Tel.: +49 35433/592614

Fax: +49 35433/5926-27

E-Mail: m.mucha@wbvoc.de

Untersuchungen zur Wirksamkeit des Elbumflutkanals Magdeburg im Spannungsfeld aktueller Gewässerentwicklungs- und Hochwasserrisikomanagementplanungen

Thilo Weichel
Torsten Heyer
Hans-Werner Uhlmann

Seit dem Jahr 1875 existiert für die Elbe östlich von Magdeburg ein komplexes Hochwasserschutzsystem, welches aus dem Elbumflutkanal und dem Pretziener Wehr besteht. Seitdem wird bei Hochwasser ein Großteil der Wassermenge über den Kanal abgeführt und große Flächen hochwasserfrei gehalten. Das Abflussverhalten der Stromelbe innerhalb der Stadt Magdeburg mit ihren Verzweigungen in Alte Elbe und Zollelbe sind seither ebenfalls davon beeinflusst. Das Hochwasser 2013 zeigte aufgrund bis dahin noch nicht dokumentierter Höchstwasserstände dem Schutzsystem die Grenzen der Leistungsfähigkeit auf. Der Frage folgend, inwieweit das historische Hochwasserschutzsystem auch zukünftig verlässlich funktionieren kann, werden anhand hydraulischer Simulationen die Wirkungszusammenhänge von Abflussvermögen und Gewässer- bzw. Gewässervorlandentwicklung erläutert. Dabei ist es das Ziel zu ermitteln, wie das System im Rahmen der Planungen zum Hochwasserrisikomanagement aktuell zu bewerten ist. Aufbauend auf 2D-Simulationen des IST-Zustandes sind die Szenarien so definiert, dass sie sowohl die veränderten Strukturen der Vorländer als auch von Gewässer-Verlandungen berücksichtigen. In einem ersten Schritt wurden diese Randbedingungen in Teilszenarien untersucht und anschließend entsprechend ihrer Effektivität in eine Maximalvariante als best-case-Szenario überführt. Im Bezug zum Hochwasser 2013 lassen sich Absenkungen des Wasserspiegels im Umflutkanal und der Stadt Magdeburg von mehreren Dezimetern ermitteln. Als grundsätzliche Erkenntnis aus den Ergebnissen ergibt sich jedoch, dass technischer Hochwasserschutz langfristig nur sicher funktionieren kann, wenn auch die konflikträchtigen Aspekte der Gewässer- und Gewässervorlandunterhaltung Teil der praktischen Realisierung des Hochwasserrisikomanagements werden.

Stichworte: Elbumflutkanal, Pretziener Wehr, Vorlandmanagement, Hochwasserschutz

1 Das Hochwasserschutzsystem Magdeburg

Der großen Hochwassergefahr an der Elbe unterhalb der Saalemündung im Bereich Magdeburg-Schönebeck konnte erst im Zuge der Elbstromregulierung begegnet werden. Mit dem Bau des Pretziener Wehres im Jahr 1875 und dem sich unterhalb anschließenden Elbumflutkanal (EUK) wurde seitdem ein systematischer Hochwasserschutz möglich. Bis in die Gegenwart zeigt sich, dass die grundsätzliche Funktionsfähigkeit des „Hochwasserschutzsystems Magdeburg“ auch nach über 140 Jahren gegeben ist. Das Pretziener Wehr (Abbildung 1), über welches die Steuerung des EUK erfolgt, zählte bereits bei seiner Inbetriebnahme zu einer der wasserbaulich innovativsten Hochwasserschutzanlagen. Seither können ca. bis zu einem Viertel des Hochwasserabflusses der Elbe über den Umflutkanal an Magdeburg kontrolliert vorbeigeführt werden (*Stamm et al., 2010*). Die in zahlreichen allgemeinpopulären Dokumenten (*Hahm & Thomas, 2010*) genannte Abflusskapazität von einem Drittel, ist bereits seit Untersuchungen nach dem HW2002 widerlegt. Nach bis dahin 62 Wehröffnungen erfolgte im Jahr 2010 eine Komplettsanierung des Wehres. Der an der Wehranlage beginnende EUK stellt dabei das zentrale Element des Hochwasserschutzsystems Magdeburg dar. Bei einer mittleren Breite von ca. 450 m erstreckt er sich auf einer Länge von etwa 18 km (Abbildung 1). Die beidseitig angelegten Deiche haben eine durchschnittliche Höhe von ca. 3-5 m, woraus eine maximale Abflusskapazität von ca. 1.200 m³/s. resultiert. Charakterisiert sind die Vorländer des Kanals durch weite Acker- und Wiesenflächen, die im Hochwasserfall ein

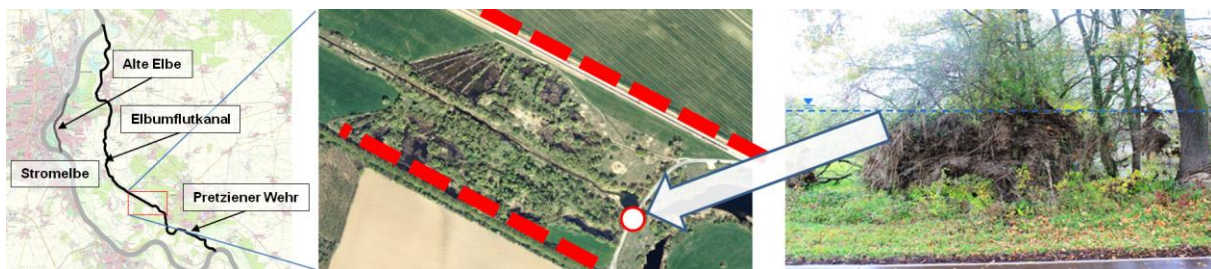


Abbildung 1: Bewuchsentwicklung im EUK (Mitte) zwischen den Deichen (rot) und daraus bedingte Verklausungen nach dem HW2013 (rechts)

möglichst ungehindertes Abfließen ermöglichen sollen. Der aus dem Bau resultierende Anspruch an das Schutzsystem spiegelt sich dabei sowohl in den vergangenen als auch den gegenwärtigen infrastrukturellen Entwicklungen des Siedlungs- und Wirtschaftsraumes wider. Gerade deshalb müssen gleichzeitig die Magdeburg durchfließenden Hauptabflussstrecken von Stromelbe und Alter Elbe in die Gesamtbetrachtung mit einbezogen werden. Veränderungen aus der Wirksamkeit von Flora-Fauna-Habitat (FFH)-Gebieten und deren Folgen auf die Abflusscharakteristik stehen einem bisher kaum veränderten Gesamtsystem bei

wertmäßig gestiegenen Schutzansprüchen gegenüber. Vegetationsaufwuchs im EUK (Abbildung 1), sowie die zunehmende Verlandung der Alten Elbe (Abbildung 6) konnten neben der Intensität des HW2013 als wesentliche Gründe für das Erreichen der damals beobachteten Höchststände angesehen werden. Gerade deshalb gilt es, die hydraulische Leistungsfähigkeit des Hochwasserschutzsystems Magdeburg zu prüfen und damit das Maß des Hochwasserschutzes bzw. den Grad des anzusetzenden Managements des verbleibenden Hochwasserrisikos zu bewerten.

2 Junihochwasser 2013

Das Hochwasser im Juni 2013 (Abbildung 2) führte unterhalb der Saalemündung u. a. aufgrund des fast zeitgleichen Eintretens der Hochwasserscheitel von Saale und Elbe zu bis dahin noch nicht dokumentierten Hochwasserständen (LHW, 2014). So wurde am Pegel Barby der Scheitelwasserstand des Augusthochwassers 2002 im Juni 2013 nochmals um 61 cm übertroffen. Der daraus abgeleitete Abfluss betrug demzufolge $5.250 \text{ m}^3/\text{s}$. Am Pegel Magdeburg-Strombrücke wurde mit 7,47 müPN ebenfalls ein neuer Höchstwert registriert.

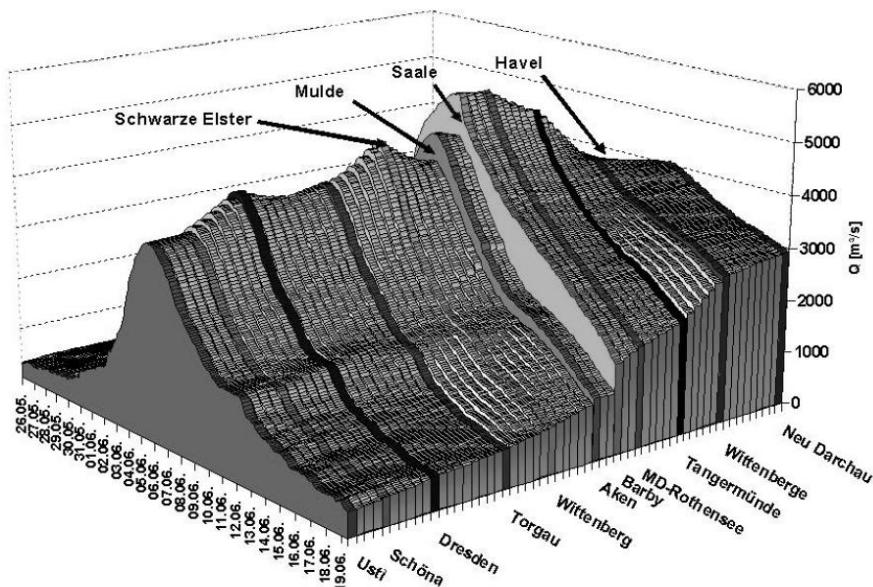


Abbildung 2: Ablauf der Hochwasserwelle der Elbe vom Juni 2013 unter Berücksichtigung der Aufhöhung aus Nebenflüssen (BfG, 2013)

Die Öffnung des Pretziener Wehres und damit die Beaufschlagung der Elbumflut sowie die Entlastung der Stromelbe erfolgten exakt nach der festgelegten Wehrbedienungs-vorschrift. Nachträgliche hydraulische Untersuchungen konnten zudem nachweisen, dass keine weitere Optimierung der Steuerung zu diesem

Ereignis möglich gewesen wäre (*Heyer et al.*, 2014). Die Gegenüberstellung der von BfG und LHW gemessenen Abflusswerte mit den Ergebnissen der hydraulischen 2D-Simulation (SZ0) weichen nur marginal voneinander ab, was unter Betrachtung des Extremabflusses auf die Messgenauigkeit schließen lässt (Tabelle 1). Der unmittelbar nach dem HW2013 am Pegel Barby zugeordnete Scheitelabfluss von 5.090 m³/s ist den hier vorgestellten Untersuchungen zugrunde gelegt. Eine aus o. g. Gründen nachträgliche Korrektur dieses Maximalabflusses auf 5.250 m³/s beeinflusst die Ergebnisse der Szenarienrechnungen, welche als Relativbetrachtung zu sehen sind, nur unwesentlich (*Dapoz et al.*, 2014). Um Unsicherheiten in der Rekonstruktion des Hochwassers 2013 möglichst gering zu halten, wurden während des Hochwassers zahlreiche Hochwassermarken gemessen, eine Wasserspiegellagenfixierung mittels Messboot zum Hochwasserscheitel durchgeführt sowie Luft- und Satellitenbilder aufgenommen und ausgewertet.

Tabelle 1 Abflussaufteilung nach Messung und Simulation zum HW2013

Messungen		LHW		BfG	Simulation (2D)
		08.06.2013	09.06.2013	09.06.2013	SZ0
Q _{Ges}	[m ³ /s]	4955	5034	5146	5090
	[%]	100	100	100	100
Q _{EUK}	[m ³ /s]	1290	1272	1259	1248
	[%]	26,0	25,3	24,5	24,5
Q _{Stadtstrecke}	[m ³ /s]	3665	3762	3887	3842
	[%]	74,0	74,7	75,5	75,5
Q _{Stromelbe}	[m ³ /s]	1976	2049	-	1925
	[%]	39,9	40,7	-	37,8
Q _{Alte Elbe}	[m ³ /s]	1426	1434	1687	1588
	[%]	28,8	28,5	32,8	31,2
Q _{Zollelbe}	[m ³ /s]	263	280	-	322
	[%]	5,3	5,5	-	6,3

Die Intensität und das Ausmaß des Hochwasserereignisses selbst führten dazu, dass das bestehende Hochwasserschutzsystem, insbesondere die Deichanlagen, nur unter Aufbringung immensen personellen und materiellen Aufwandes erhalten werden konnte. Abbildung 3 zeigt die während des Hochwassers eingerichteten Aufkadungen und Deichverstärkungen durch Sandsäcke, ohne die eine nicht absehbare Anzahl an Deichbrüchen, Deichüberströmungen sowie Ausuferungen etc. zustande gekommen wäre.

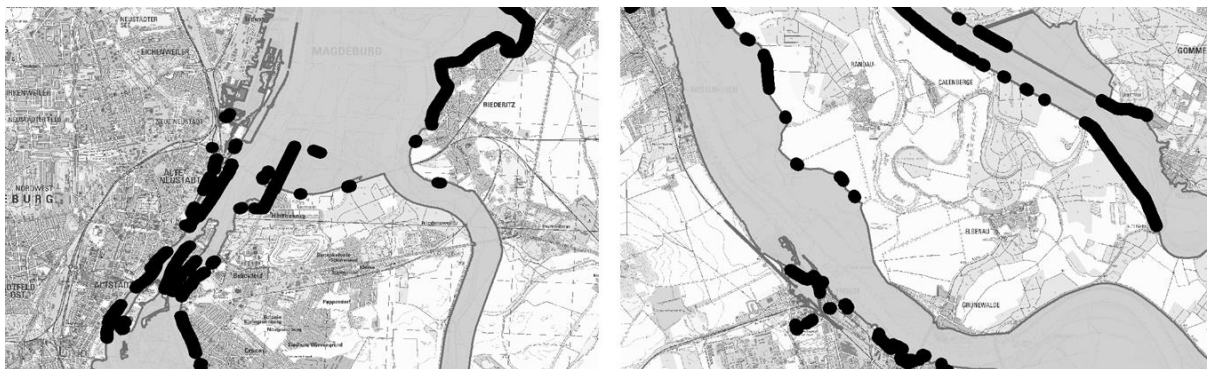


Abbildung 3: Aufkadtungen (schwarz) zum HW2013 im Bereich Magdeburg (links) sowie entlang des EUKs und Schönebecks (rechts)

3 Nachweis der hydraulischen Leistungsfähigkeit des Hochwasserschutzsystems Magdeburg

Aufbauend auf einem bereits bestehenden hydronumerischen 2D-Modell der Elbe wurde eine Neukalibrierung des Modells anhand des HW2013 durchgeführt (Dapoz *et al.*, 2014). Die auch nachfolgend als Referenzszenario (SZ0) zugrunde gelegte Ereignisrekonstruktion erfolgte mit einem Maximalabfluss am Pegel Barby von 5.090 m³/s. Die Ergebnisse der stationären und instationären Ereignissimulation wiesen kaum Unterschiede bezüglich der Scheitelwerte auf, weshalb nachfolgend stationär gerechnet wurde. Bereits die Ergebnisse der Modellkalibrierung bestätigten die aktuell bekannte Abflussaufteilung (Abb. 4).

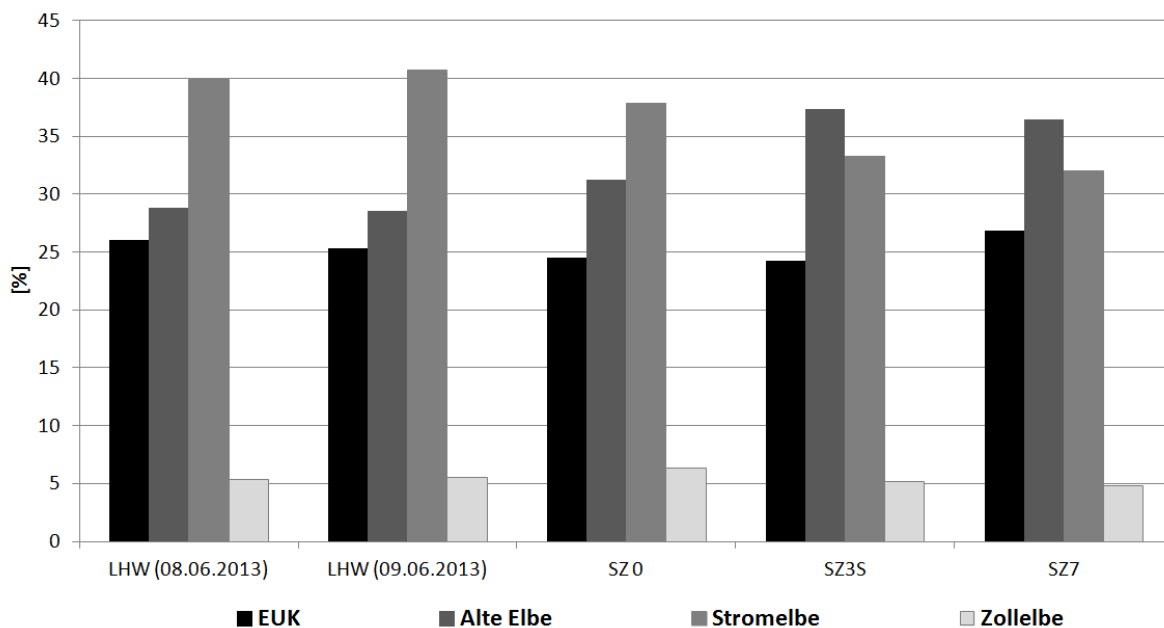


Abbildung 4: Abflussverteilung gemäß den Messungen des LHW zum HW2013 sowie der Modellkalibrierung (SZ0) und ausgewählter Szenarien (SZ3S, SZ7)

Ein Viertel des Gesamtabflusses wird im Hochwasserfall (2013) über den EUK abgeleitet. Demzufolge werden drei Viertel des Hochwassers durch das Stadtgebiet Magdeburg abgeführt. Die Differenz zwischen der Stromelbe und der Alten Elbe beträgt dabei weniger als $500 \text{ m}^3/\text{s}$ (Tabelle 1). Das heißt, dass bei großen Hochwassern ($Q > 5.000 \text{ m}^3/\text{s}$) fast eine gleichwertige Beaufschlagung beider Elbarme vorliegt.

4 Variantenuntersuchungen zur Verbesserung des Hochwasserschutzniveaus

Die Erkenntnisse aus dem HW2013 führten auch zu einer breiten fachlichen Diskussion mit Vertretern der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung und der Stadt Magdeburg. Gemeinsam wurde ein Katalog potentieller Maßnahmen zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit des Hochwasserschutzsystems Magdeburg vereinbart. Unter Verwendung des hydrodynamisch-numerischen Oberflächenabflussmodells wurden diese in Form sog. Szenarien untersucht und bewertet (Heyer *et al.*, 2014). Dabei war es das übergeordnete Ziel, ein „best-case-Szenario“ zur Verbesserung der hydraulischen Leistungsfähigkeit und damit des Hochwasserschutzniveaus, bezogen auf die Situation zum HW2013, abzuleiten. Die Auswertungen der Simulationsergebnisse umfassten für die einzelnen Szenarien folgende Teile:

- Vergleich der Abflussaufteilungen zur Formulierung des Zielanspruchs,
- flächenhafte Differenzbildung der Wasserspiegellagen für den gesamten Modellbereich sowie in Gewässerlängsprofilen (Stromelbe, Alte Elbe, EUK).

Die Vergleiche und Differenzen beziehen sich auf die Ergebnisse des Kalibrierungszustands ($Q = 5.090 \text{ m}^3/\text{s}$).

4.1 Szenario - Bewuchsreduzierung im Elbumflutkanal

Es wurden zwei Szenarien mit der Parametrisierung einer potentiellen Bewuchsreduzierung im EUK durchgeführt. Darunter wird die Entfernung von Mittel- und Großbewuchs verstanden, der mittels Luftbildern und Kartierungen erhoben wurde (Abbildung 1). Neben der lokalen Veränderung (SZ1T) der Widerstandsbeiwerte (k_{st}) fand eine globale Anpassung (SZ130) im gesamten EUK statt (Küllig, 2014). Dabei wurde die Annahme eines flächenhaft einheitlichen k_{st} -Wertes, d. h. hydraulisch relativ glatt, zugrunde gelegt. In beiden Simulationen kommt es zur Erhöhung des Abflusses im EUK. Gegenüber dem Szenario SZ1T

(+ 44 m³/s) wird bei flächenhafter Bewuchsreduzierung (SZ130), eine Erhöhung des Teilabflusses im EUK um 137 m³/s ermittelt.

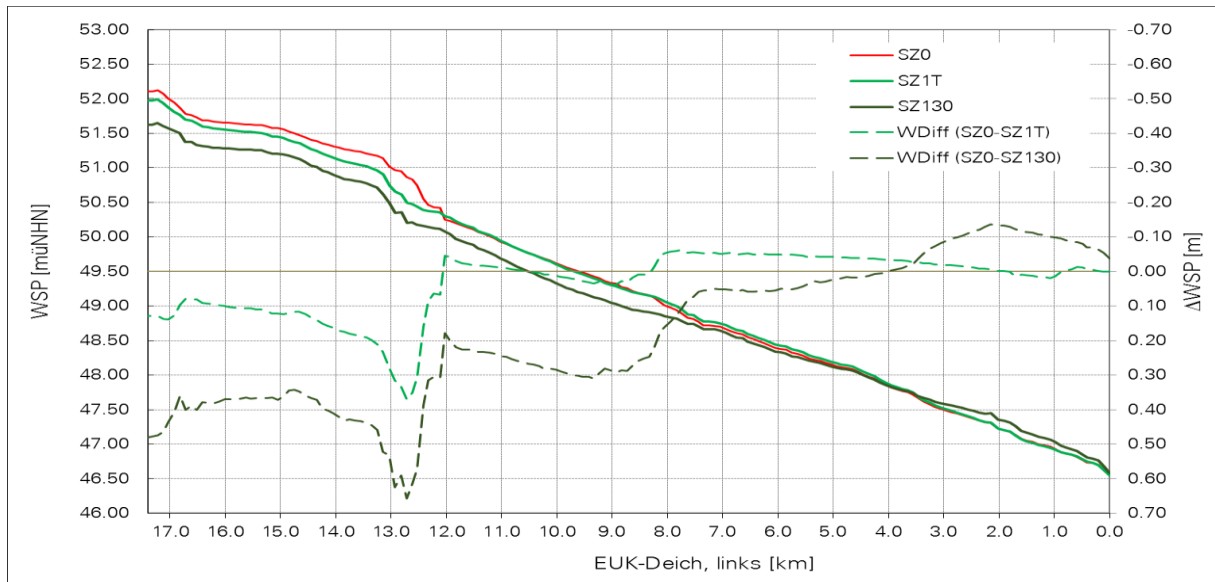


Abbildung 5: Wasserspiegellängsprofile EUK (Q=5090 m³/s, stationär; SZ0, SZ1T, SZ130)

Trotz der Abflusserhöhung lassen sich beim Szenario „lokale Bewuchsreduzierung“ Wasserspiegelabsenkungen von bis zu 37 cm (SZ1T) bzw. bei der flächenhaften Variante von bis 76 cm (SZ130) erreichen (Abbildung 5). Diese sind an den aktuellen Engstellen am höchsten (Abbildung 1). Mit nach stromab tendenziell abnehmenden Beträgen kann von einem Absenkungspotential von 10-50 cm ausgegangen werden. Der Aufstau im SZ130 im Übergangsbereich des EUK (km 0.0) zur Stromelbe, resultiert aus der Anpassung an die dortigen Strömungsverhältnissen. Die prozentuale Abflussaufteilung über die Stromelbe und die Alte Elbe im Stadtgebiet Magdeburgs bleibt unbeeinflusst.

4.2 Szenario - Bewuchsreduzierung und Sedimentabtrag in der Alten Elbe

In der Alten Elbe wurden ebenfalls eine flächenhafte Reduzierung von Mittel- und Großbewuchs sowie der Abtrag großer Mengen an Sediment im Gewässerbett simuliert (SZ3S). Hintergrund ist die sukzessive Verlandung der Alten Elbe u. a. aufgrund nicht mehr durchgeführter Baggerungen im FFH-Gebiet, einhergehend mit dem Bewuchs der Flächen. Die Gegenüberstellung der Luftbilder sowie die vor-Ort-Aufnahme verdeutlichen den Verlandungsprozess (Abbildung 6).



Abbildung 6: Sedimentation in der Alten Elbe

Ausgehend von topographischen Zwangspunkten an Querbauwerken und im Untergrund wurde eine im SZ3S idealisierte Gewässersohlhöhe zugrunde gelegte (Abbildung 7). Das Gesamtvolumen der modellhaft herausgenommenen Ablagerungen beträgt ca. 885.000 m³.

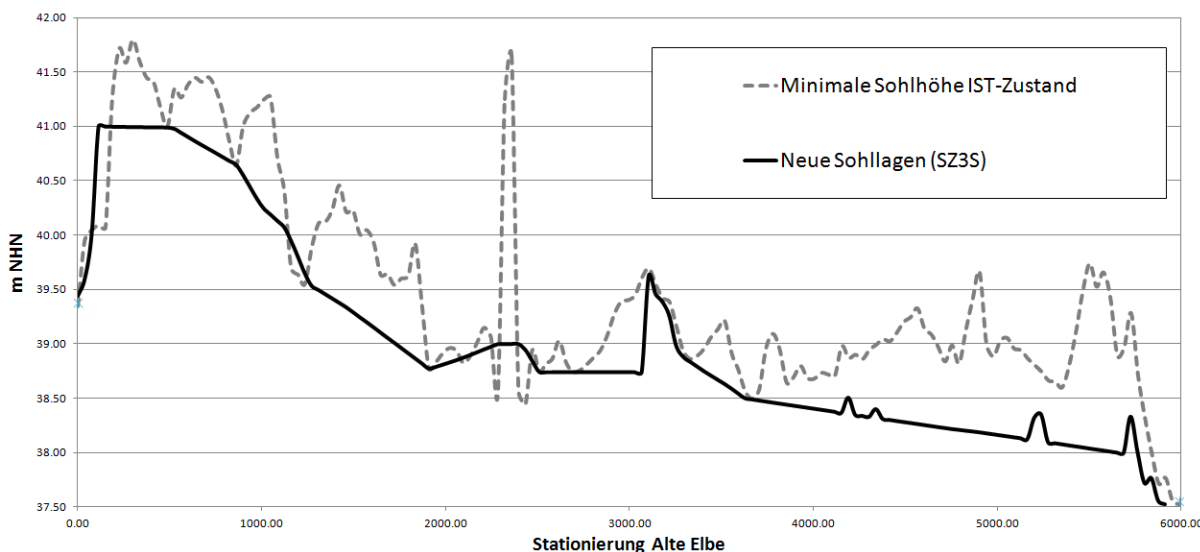


Abbildung 7: Gewässersohle der Alten Elbe im IST- und PLAN-Zustand

Die Ergebnisse zeigten, dass die Veränderungen keine wesentlichen Auswirkungen auf die Abflussaufteilung zwischen EUK und Stadtstrecke besitzen. Jedoch kommt es durch die Umprofilierung und die veränderten Rauheitsbedingungen in der Alten Elbe zu einer Verschiebung der Teilabflüsse im Stadtgebiet (Abbildung 4 SZ3S). Demzufolge würden über die Alte Elbe (37,3 %) und die Stromelbe (33,3 %) abgeführt werden (Abbildung 4). Die aktuell bei Extremhochwasser vorhandene Abflussaufteilung kehrt sich somit näherungsweise um. Wasserspiegellagenabsenkungen von ca. 1-3 cm im EUK und damit ein Einfluss auf die dortigen hydraulischen Verhältnisse können als gering eingeschätzt werden. Für die Alte Elbe werden am Abzweig von der Stromelbe Absenkungen von ca. 35-38 cm gegenüber dem Referenzwasserspiegel prognostiziert. Für die

Stromelbe selbst ergeben sich maximale Reduzierungen von 35 cm bzw. bis zu 20 cm im zentralen Stadtbereich Magdeburgs zwischen ca. Elb-km 317 bis 328.

4.3 Best-case-Szenario Gesamtsystem Magdeburg

Zusätzlich zu den bisher beschriebenen Szenarien, fanden weitere hier nicht näher erläuterte Untersuchungen statt (Heyer *et al.*, 2014). Diese befassten sich mit der Herausnahme von Querbauwerken und wurden in die Ableitung des sog. best-case-Szenarios (SZ7) eingebunden. Die Festlegung der sogenannten „Maximalvariante“ umfasst

- die Bewuchsreduzierung durch Vorgabe eines flächenhaft einheitlichen Oberflächentyps im EUK und der Alten Elbe ($k_{st} = 30\text{m}^{1/3}/\text{s}$),
- den Sedimentabtrag in der Alten Elbe (SZ3S) und
- die Herausnahme eines Wehr- und Brückenbauwerks in der Alten Elbe.

Die Ergebnisse des SZ7 zeigen wesentliche Auswirkungen auf die Abflussaufteilung zwischen EUK, Stromelbe und Alter Elbe (Abb. 4). Die Abflusssteigerung im EUK beträgt ca. 2,5 % (+131 m³/s) und in der Alte Elbe ca. 5,1 % (+259 m³/s). Daraus resultiert für die Stromelbe (inkl. Zollelbe) eine Abflussreduzierung. Die Alte Elbe würde entgegen der aktuellen Situation den größten Teil des Hochwasserabflusses auf Grund des nun dort stärkeren Gefälles ableiten.

Bezogen auf die Wasserspiegellagen bestätigen sich für den EUK die im SZ130 (Abbildung 5) genannten lokalen Absenkraten (bis > 70 cm). Die Abbildungen 8 und 9 zeigen die Verhältnisse für die Stromelbe und die Alte Elbe. Trotz der höheren Beaufschlagung der Alten Elbe werden zwischen der Station 0-1200 durchschnittlich 45 cm niedrigere Wasserstände prognostiziert (Abbildung 8). Im weiteren Verlauf nehmen diese gleichmäßig bis zum Einmündungsbereich in die Stromelbe rückstaubedingt ab.

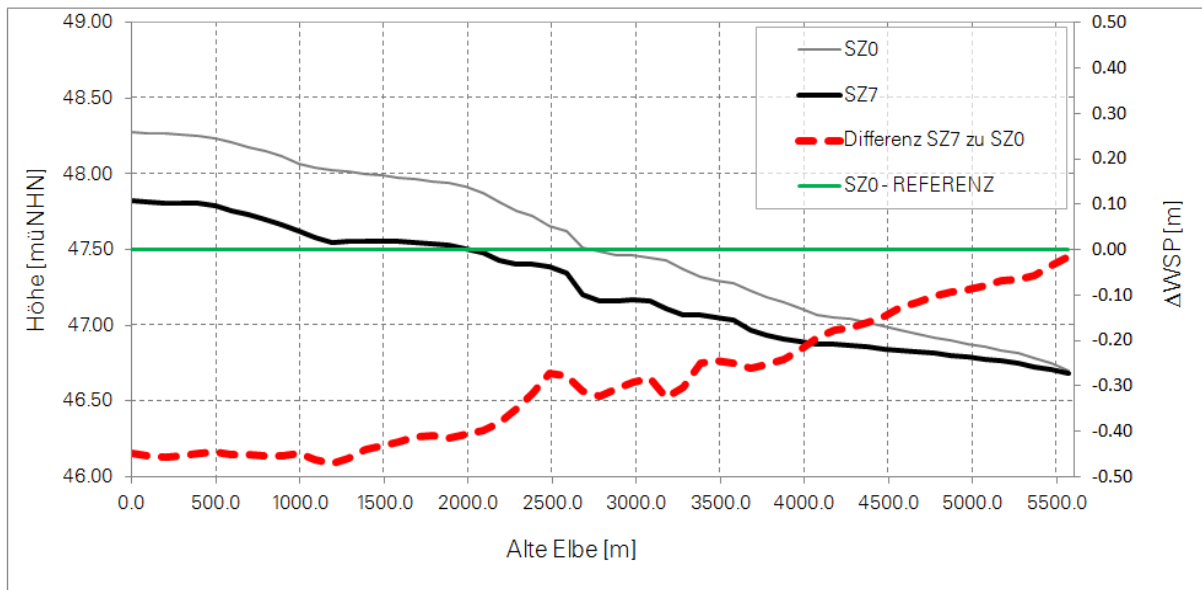


Abbildung 8: Wasserspiegellängsprofile Alte Elbe ($Q=5090 \text{ m}^3/\text{s}$, stationär; SZ0, SZ7)

Für die Stromelbe (Abbildung 9) ergibt das best-case-Szenario (SZ7) niedrigere Wasserspiegellagen vom oberen Modellrand (ca. Elb-km 293,4) bis ca. Elbe-km 330, wobei maximale Reduzierungen von 45 cm am Elb-km 323 (Abzweig Alte Elbe) ermittelt werden.

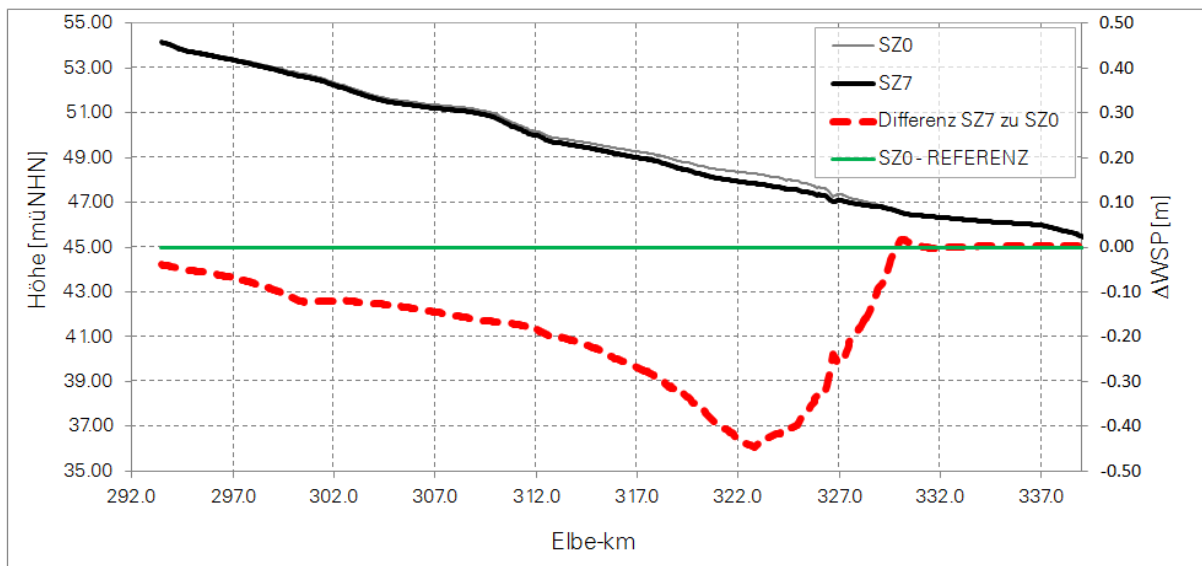


Abbildung 9: Wasserspiegellängsprofile Stromelbe ($Q=5090 \text{ m}^3/\text{s}$, stationär; SZ0, SZ7)

5 Auswirkungen auf die Gewässerentwicklungs- und Hochwasserrisikomanagementplanungen

Sowohl die hydraulischen Simulationen der Einzelvarianten als auch die Ergebnisse der daraus resultierenden Maximalvariante zeigen, welche Möglichkeiten zur Verbesserung der hydraulischen Leistungsfähigkeit des Hochwasserschutzsystems Magdeburg bestehen. Insbesondere für das zentrale Stadtgebiet (Elb-km 320 – 330) lassen sich effektive Absenkungen der Wasserspiegellagen für extreme Hochwasserereignisse ($Q > 5.000 \text{ m}^3/\text{s}$) erreichen. Ausgehend von den getroffenen Annahmen, die zu diesen Ergebnissen führen, bedeutet das, dass konsequent Maßnahmen der Gewässerentwicklung und Gewässerunterhaltung umgesetzt werden müssen. Vor allem die Freihaltung abflusswirksamer Querschnitte und die Einbindung dieser Maßnahmen in entsprechende Unterhaltungsplanungen sind von enormer Bedeutung. Die Untersuchungen haben gezeigt, was theoretisch möglich ist, unabhängig davon, was praktisch realisierbar erscheint. Gleichzeitig spiegeln der aktuell untersuchte Zustand und die dazugehörigen Ergebnisse die Situation wider, welche sich aktuell über Jahrzehnte bereits an der Elbe eingestellt hat (*Reichhoff et al., 2012*). Bezogen auf die Planungen zum Hochwasserrisikomanagement verdeutlichen die Ergebnisse, welche Möglichkeiten zusätzlich zur baulichen Umsetzung DIN-gerechten Hochwasserschutzanlagen existieren. Einzelne Maßnahmen, wie die Entfernung sich in den letzten Jahren etablierenden Bewuchses auf den Sedimentationsflächen in der Alten Elbe, stellen erste praktische Konsequenzen der Untersuchungen dar.

6 Fazit

Die Untersuchungen und Auswertungen erfolgten unter Verwendung gesicherter Daten zu Hydrologie und Hydraulik. Die den Simulationen zugrunde gelegten Modelle wurden am HW2013 geeicht, und deren Ergebnisse bilden die Grundlage weiterführender Planungen. Auch wenn die ebenfalls vorliegenden Unterlagen zu daraus resultierenden Freiborddefiziten nicht Bestandteil dieses Beitrages sind, ist erkennbar, dass es nicht das Ziel modernen Hochwasserschutzes sein kann, allein mit sicheren und „immer höheren“ Deichen, Wänden und Mauern sowie planmäßig vorgehaltenen mobilen Anlagen tendenziell extremere Hochwasser zu kehren. Vielmehr müssen die aufgezeigten Maßnahmenansätze zur Pflege und Unterhaltung von Gewässerbett und Vorländern noch deutlicher Bestandteil der Planungen zum Hochwasserschutz sowie dem Management von Hochwasserrisiken, Gewässern und Vorländern werden. Vor dem Hintergrund der gezeigten potentiellen Wirksamkeit der untersuchten Maßnahmen, kann die

Stadtstrecke Magdeburg als Modellbeispiel dienen, um zu zeigen, wie notwendig konsequentes Gewässer- und Vorlandmanagement für die Sicherung der Ziele des Hochwasserschutzes ist. Beispielhaft für den Erfolg der Arbeiten im Gewässer- und Vorlandmanagement sind im Land Sachsen-Anhalt die Erfahrungen an der Schwarzen Elster.

7 Literatur

- BfG - Bundesanstalt für Gewässerkunde (2013): Länderübergreifende Analyse des Juni-Hochwassers 2013. Bericht 1397. Koblenz.
- Hahm, J. & K. Thomas (2010): Das Pretziener Wehr – Wahrzeichen und architektonische Meisterleistung. Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt.
- Küllig, A. (2014): Untersuchungen zu Möglichkeiten einer differenzierten Berücksichtigung von Bewuchsverhältnissen (Mittel- und Großbewuchs) in zweidimensionalen, hydrodynamisch-numerischen Oberflächenabflusssimulationen. Diplomarbeit. Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik (IWD). TU Dresden. Mai 2014.
- LHW (2014): Bericht über das Hochwasser im Juni 2013 in Sachsen-Anhalt. Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt. Magdeburg. März 2014.
- Reichhoff, L., Schönbrodt, A. & Weichel, T. (2012): Vegetationsentwicklung im Vorland der Elbe in Sachsen-Anhalt – Probleme im Spannungsfeld Natur- und Hochwasserschutz. Auenschutzreport, Heft 29.
- Stamm, J., Carstensen, D., Heyer, T. & Schwarze, R. (2010): Weiterführende hydraulische Analyse der Elbe von Barby bis Hohenwarthe (El-km 292,0-338,5) und Betrachtungen zu Eisverhältnissen in der Alten Elbe bei Magdeburg. Forschungsbericht 2010/18. Dresden.
- Stamm, J., Heyer, T., Dapoz, P. & Küllig, A. (2014): Modellerweiterung und WSP-Modellierung zum Hochwasser 2013 entlang der Elbe vom Pegel Barby bis zur BAB2 (Stadtstrecke Magdeburg). Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik (IWD). TU Dresden. Forschungsbericht 2013/12. Dresden. Mai 2014.
- Heyer, T., Dapoz, P. & Stamm, J. (2014): Erarbeitung der fachlichen Grundlagen zur Umsetzung der Hochwasserrisikomanagementrichtlinie für die Elbe von km 294,8 bis 338,5 - Szenarienrechnungen. Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik (IWD). TU Dresden. Forschungsbericht 2014/03. Dresden. September 2014.
- Dapoz, P., Heyer, T. & Stamm, J. (2014): Erarbeitung der fachlichen Grundlagen zur Umsetzung der Hochwasserrisikomanagementrichtlinie für die Elbe von km 294,8 bis 338,5 - Weiterführung hydraulischer 2D-Modellierungen. Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik (IWD). TU Dresden. Forschungsbericht 2014/16. Dresden. Dezember 2014.

Autoren:

Dr.-Ing. Thilo Weichel
Dr.-Ing. Hans-Werner Uhlmann

Landesbetrieb für Hochwasserschutz und
Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt
Geschäftsbereich Grundlagen, Planung und
Bau
Willi-Brundert-Str. 14
06132 Halle (Saale)

Tel.: +49 (0)345 5484 327
Fax: +49 (0)345 5484 351
E-Mail: thilo.weichel@lhw.mlu.sachsen-anhalt.de

Dr.-Ing. Torsten Heyer

Technische Universität Dresden
Fakultät Bauingenieurwesen
Institut für Wasserbau und Technische
Hydromechanik
Professur Wasserbau
01062 Dresden

Tel.: +49 (0)351 463-33874
Fax : +49 (0)351 463-37120
E-Mail: torsten.heyer@tu-dresden.de



Dyrhoff Ltd

is the European agent for the Obermeyer Hydro pneumatically-operated spillway gate system. Dyrhoff also specialises in the design and supply of inflatable rubber dams.

Over the last 25 years, Dyrhoff has been involved in the design and supply of over 100 rubber dams and pneumatically-operated gates for applications such as water supply, hydropower, flood control and management, irrigation, recreation, in-line sewage retention and diversion and tidal water control. Whatever your project, we will offer the best solution.



DYRHOFF

Dyrhoff Limited

Unit 9 The Glenmore Centre
Shearway Business Park
Folkestone
Kent CT19 4RJ
United Kingdom

office@dyrhoff.co.uk
Tel. +44 1303 275900
www.dyrhoff.com

Die gemeinsame Umsetzung von Hochwasserrisiko- management und naturnaher Gewässerent- wicklung in Sachsen – Rahmenbedingungen, Restriktionen und Chancen

Corina Niemand
Wanja Bilinski
Bernd Spänhoff
Uwe Müller

Die Fließgewässer in Sachsen sind durch Jahrhunderte der anthropogenen Nutzung geprägt. Erfordernisse des Hochwasserschutzes und insbesondere eine intensive Landwirtschaft führten zu weitreichenden morphologischen Veränderungen der Gewässer. In Sachsen erreichen derzeit 97 % der Oberflächenwasserkörper nicht das ökologische Umweltziel der Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL). Der Handlungsbedarf für eine naturnähere Gewässerbewirtschaftung ist daher fast flächendeckend in Sachsen vorhanden. Gleichzeitig gilt es jedoch die Anforderungen an das Hochwasserrisikomanagement zu gewährleisten. Die großflächigen Extremereignisse der vergangenen Jahre (2002, 2006, 2010/11, 2013) sowie die regelmäßigen kleineren Hochwasserereignisse in den Mittelgebirgsregionen verdeutlichen den Handlungsbedarf in diesem Bereich. Deshalb zählt die gemeinsame Umsetzung der EG-WRRL und der Hochwasserrisikomanagementrichtlinie (EG-HWRM-RL) zu den großen Herausforderungen nicht nur in der Wasserwirtschaft und erfordert einen interdisziplinären und synergetischen Umsetzungsprozess.

Die Ziele der „Erreichung und nachhaltigen Sicherung des guten ökologischen und chemischen Zustandes der Gewässer“ (EG-WRRL) und der „Verringerung der hochwasserbedingten nachteiligen Folgen auf die menschliche Gesundheit, die Umwelt, das Kulturerbe und wirtschaftlichen Tätigkeiten“ (EG-HWRM-RL) sind gesetzliche Aufträge, die den Rahmen für die nachhaltige Bewirtschaftung der Gewässerressourcen bilden.

In der Praxis gestaltet sich die Umsetzung dieser Anforderungen jedoch schwierig, da es auf der praktischen Ebene der Aufgabenträger oftmals an qualifiziertem Personal, ausreichenden Finanzmitteln und geeigneten Strukturen für die koordinierte Initiierung, Planung und Umsetzung einer nachhaltigen Gewässerbewirtschaftung fehlt. Weitere Restriktionen ergeben sich durch die eigentumsrechtlich beschränkte Verfügbarkeit von Flächen und deren Nutzung bis an das Gewässer.

Dadurch wird die Umsetzung von kosteneffizienten Maßnahmen zur Initiierung von eigendynamischen Gewässerentwicklungsprozessen erschwert. Chancen das System der Gewässerbewirtschaftung zu optimieren, bestehen in einem regionalen

Flächenmanagement, einer ökologisch ausgerichteten Gewässerunterhaltung und einer intelligenten Maßnahmenplanung für begrenzt eigendynamische Gewässerentwicklungsprozesse. Das BMBF Verbundprojekt „In_StröHmunG“ analysiert u. a. diese Chancen zur Verbesserung des Gewässerbewirtschaftungssystems, um nachhaltige Lösungsansätze zu formulieren.

Stichworte: Hochwasserrisikomanagement, Wasserrahmenrichtlinie,

1 Einleitung

Die Umsetzung der Richtlinien 2000/60/EG (Wasserrahmenrichtlinie; EG-WRRL) und 2007/60/EG (Hochwasserrisikomanagementrichtlinie; EG-HWRM-RL) sind in Deutschland derzeit die Kernthemen der Wasserwirtschaft. Sowohl die EG-WRRL als auch die EG-HWRM-RL haben konkrete Anforderungen an die hydromorphologischen Eigenschaften der Gewässer und der Überflutungsgebiete. Dadurch können sich Synergien bei der Umsetzung von Maßnahmen zur Erreichung der Ziele beider Richtlinien ergeben. Genauso aber auch Konflikte, die sich durch weitere Anforderungen an die Gewässer u. a. durch Land- und Gewässernutzer ergeben.

Das Verbundvorhaben „In_StröHmunG“ befasst sich im Zeitraum von 2015 bis 2018 mit den derzeitigen Problemen der ausgebauten Fließgewässer und versucht Lösungsansätze im Rahmen des bestehenden Systems der Gewässerbewirtschaftung in Deutschland zu finden (BMBF, 2015).

Gefördert wird das Projekt „In_StröHmunG“ vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Es ist Teil der BMBF-Fördermaßnahme „Regionales Wasserressourcen-Management für den nachhaltigen Gewässerschutz in Deutschland (ReWaM)“ im Förderschwerpunkt „Nachhaltiges Wassermanagement (NaWaM)“.

Das Verbundvorhaben setzt sich aus drei Teilprojekten zusammen. Zwei Teilprojekte befassen sich mit wissenschaftlichen Fragestellungen zu morphodynamischen Effekten von Maßnahmen in Fließgewässern und deren ökologischen Auswirkungen in Bezug auf die Fisch- und Invertebraten-Gemeinschaften. Das dritte Teilprojekt analysiert die Grundlagen der Gewässerbewirtschaftung und die Anwendung neuer Bewirtschaftungsansätze zur Revitalisierung ausgebauter Fließgewässer. Schwerpunkte dieser Analysen sind die gesetzliche Gewässerunterhaltung, die einen erheblichen Einfluss auf den hydromorphologischen Zustand der Gewässer entfaltet und ein regionales Flächenmanagement, mit dem die Flächenverfügbarkeit an Gewässern unter Berücksichtigung der Interessen von Land- und Gewässernutzern erhöht werden soll. Dabei spielen auch die Anforderungen an den Hochwasserschutz eine wichtige Rolle.

2 Rahmenbedingungen

Mit dem Inkrafttreten der EG-WRRL und EG-HWRM-RL wurden EU-weit die politischen Rahmenbedingungen für die Verbesserung des Zustandes aller Gewässer und zur Minderung des Hochwasserrisikos gestaltet. In der EG-WRRL wird berücksichtigt, dass die zum Erreichen eines guten ökologischen Zustands erforderlichen Änderungen der hydromorphologischen Merkmale eines Oberflächenwasserkörpers (OWK) signifikante negative Auswirkungen u. a. auf den „Schutz vor Überflutungen“ haben können. Diese OWK können als künstlich oder erheblich verändert eingestuft werden (Art. 4 (3) EG-WRRL), für die dann das gute ökologische Potential als Umweltziel nach Art. 4 (1) EG-WRRL gilt. Weiterhin werden in den Art. 5 bis 7 EG-WRRL Bestimmungen aufgeführt, dass durch menschliche Tätigkeiten u. a. zum Schutz gegen Hochwasser oder durch starke Überschwemmungen unter bestimmten Voraussetzungen auch Ausnahmen von der Erreichung des guten ökologischen Zustands zulässig sind. Artikel 9 der EG-HWRM-RL werden die Mitgliedstaaten angehalten, angemessene Maßnahmen zu treffen, um die Anwendung der beiden Richtlinien miteinander zu koordinieren und den Schwerpunkt zur Erzielung von Synergien und gemeinsamen Vorteilen im Hinblick auf die Umweltziele des Artikels 4 der Richtlinie 2000/60/EG legen.

Die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser hat dazu „Empfehlungen zur koordinierten Anwendung der EG-EG-HWRM-RL und EG-EG-WRRL“ (LAWA, 2013) formuliert und u. a. folgende Schlussfolgerung gezogen: „Die Ziele der EG-WRRL und der EG-HWRM-RL sind unterschiedlich. Da potenzielle Synergien und Konflikte überwiegend bei der praktischen Umsetzung der Maßnahmen entstehen, ist die Kohärenz beider Richtlinien vor allem auf der Maßnahmenebene zu gewährleisten.“

Damit wurde klar herausgestellt, dass insbesondere bei der Planung der konkreten Maßnahmen, sei es zur Reduzierung des Hochwasserrisikos oder zur gewässerstrukturellen Verbesserung von Gewässerabschnitten, die Konflikte und Synergien adressiert werden müssen. Bezogen auf die rechtlichen Zuständigkeiten müssen also die jeweiligen Träger der Gewässerunterhaltungs- und ausbaulast (entweder zur Gewässerrenaturierung oder zum Hochwasserrisikomanagement) diese Anforderung zur „koordinierten Anwendung“ erfüllen.

Für Sachsen bedeutet das konkret, dass gemäß § 32 Abs. 1 SächsWG der Staatsbetrieb Landestalsperrenverwaltung (LTV) die koordinierte Anwendung von EG-HWRM-RL und EG-WRRL an allen Gewässern 1. Ordnung und bei Gewässern 2. Ordnung im Bereich, in dem sie die Staatsgrenze der BRD bilden

oder kreuzen (Grenzwässer) sowie die Gemeinden an allen weiteren Gewässern 2. Ordnung nach SächsWG umsetzen müssen.

Bezogen auf das sächsische Gewässernetz sind ca. 3.000 km Fließgewässer als Gebiete mit potentiell signifikantem Hochwasserrisiko (area of potential significant flood risk, APSFR) ausgewiesen worden. Davon befinden sich ca. 2.100 km in Zuständigkeit der LTV und ca. 900 km in Zuständigkeit der Kommunen (Abbildung 1).



Abbildung 1: Sächsisches Gewässernetz mit Darstellung der Gewässerordnungen nach Sächsischem Wassergesetz (SächsWG), des EG-WRRL-Berichtsgewässernetzes und der Gebiete mit potentiell signifikantem Hochwasserrisiko, (Quelle: Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie)

Bezogen auf das Berichtsgewässernetz der EG-WRRL befinden sich ca. 3.000 km der OWK in Zuständigkeit der LTV und ca. 4.000 km in Zuständigkeit der Kommunen.

Die sächsische Gebietskulisse zur Umsetzung und Berichterstattung der EG-HWRM-RL ist fast vollständig Bestandteil des sächsischen Berichtsgewässernetzes zur Umsetzung und Berichterstattung der EG-WRRL.

Die Ziele der EG-WRRL werden bisher in Sachsen nur zu einem Bruchteil erreicht. Derzeit erreichen ca. 3 % der insgesamt 616 OWK, die der Kategorie „Flüsse“ zugeordnet sind, das ökologische Umweltziel nach EG-WRRL. Die restlichen ca. 97 % verfehlen in unterschiedlichem Ausmaß das festgesetzte Ziel, in erster Linie aufgrund des Ausbauzustands der Fließgewässer und der Belastungen durch Schad- und Nährstoffeinträge (*LfULG*, 2015). Der Ausbauzustand der Fließgewässer wird durch die Ergebnisse der Strukturgütekartierung dokumentiert, die die Abweichung eines Gewässers vom natürlichen Leitbild (Referenzzustand) bewertet. Demnach befanden sich nach den ersten Erhebungen der Fließgewässer des Berichtsgewässernetzes (2006 - 2009) ca. 95 % der OWK in einem durchschnittlich „deutlich veränderten Zustand“ wobei mehr als 70 % im Mittel sogar als „stark“ bis „sehr stark verändert“ eingestuft wurden (*LfULG*, 2015).

Gleichzeitig besteht weiterhin ein hoher Handlungsbedarf zur Verringerung des Hochwasserrisikos in Sachsen. Alleine die Schäden des Hochwasserereignisses vom Sommer 2013 wurden nach ersten Schätzungen auf rund 2 Milliarden Euro beziffert (*SMUL*, 2013). Damit war die Schadenssumme deutlich geringer als die des Hochwassers aus 2002 mit 6,2 Milliarden Euro (*Müller*, 2010), was u. a. mit den Investitionen von ca. 2,2 Milliarden Euro in die Schadensbeseitigung und den technischen Hochwasserschutz mit Rückhaltebecken, Schutzmauern und Deichen sowie Maßnahmen zum besseren Wasserrückhalt in der Fläche und des Hochwasserrisikomanagements seit 2002 zu begründen ist (*SMUL*, 2015).

Sowohl die Reduzierung des Risikos, insbesondere von Siedlungen, vor Überflutungen und Erosionsschäden als auch die Verbesserung der natürlichen Gewässerstrukturen, als Grundlage für die Erreichung der Umweltziele nach EG-WRRL, müssen nun zukünftig noch intensiver durch die zuständigen Akteure berücksichtigt werden. Aber sind diese dazu auch wirklich in der Lage?

3 Restriktionen

3.1 Flächenverfügbarkeit und Nutzungsanforderungen

Prinzipiell anerkannt ist, dass für eine naturnahe Entwicklung von begradigten und ausgebauten Gewässern Raum zur Verfügung stehen muss, in dem sich das Gewässer möglichst eigendynamisch die natürlichen morphologischen Strukturen und damit die gewässertypspezifischen Lebensräume für Fische, Kleinlebewesen aber auch Pflanzen schaffen kann. Dieser Raum steht dem Gewässer in der Regel nicht zur Verfügung, da die angrenzenden Flächen Nutzungsansprüchen unterliegen.

Irreversible Restriktionen, die den natürlichen morphodynamischen Gewässerentwicklungsprozessen entgegenstehen sind Siedlungs- und Infrastruktureinrichtungen direkt an den Gewässern (Abbildung 2).

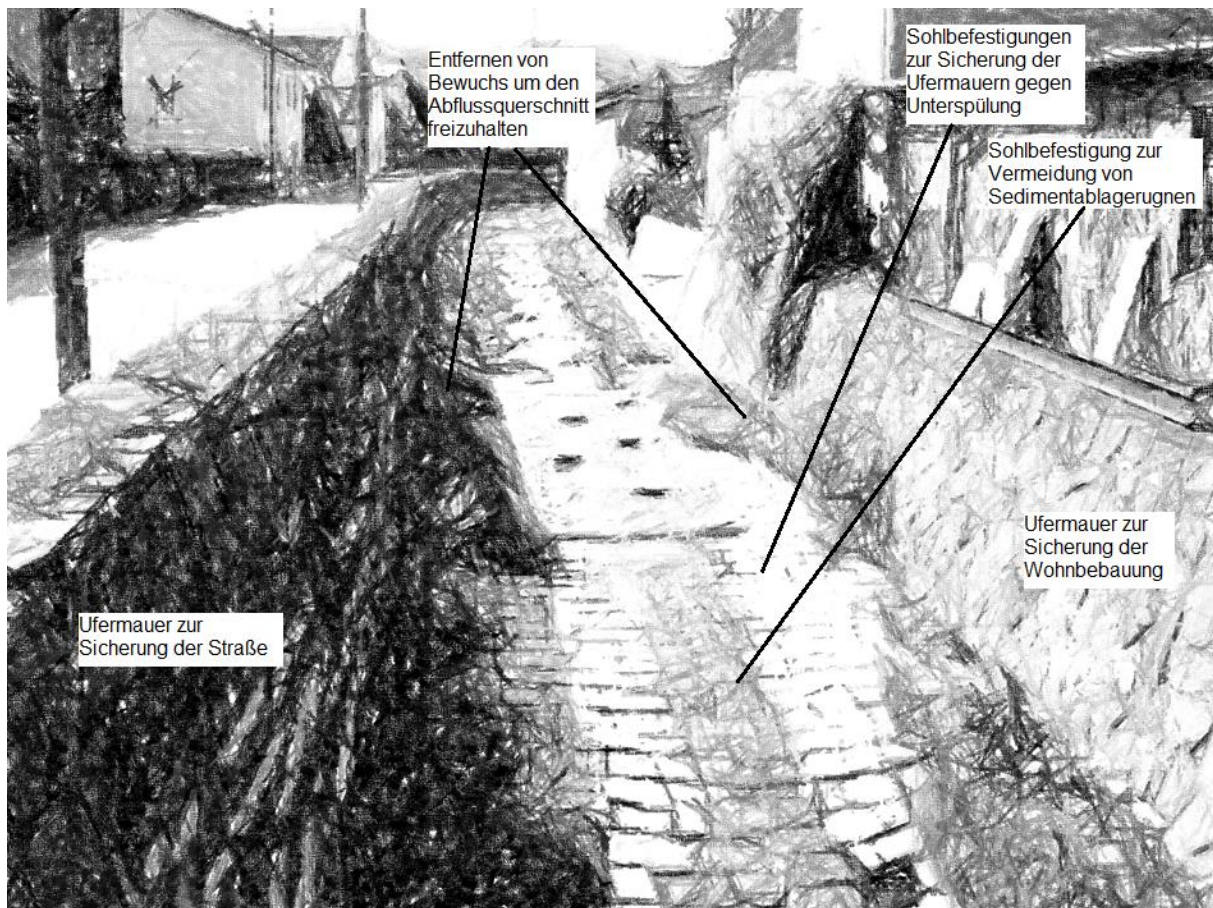


Abbildung 2: Skizzierte Situation in Ortslagen mit dem Ausbauzustand des Gewässers durch harte Sohl- und Ufersicherungsmaßnahmen, (Quelle: Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie)

Damit verbunden sind oftmals Ausbausituationen, die den Bedarf an Gewässerunterhaltung minimieren sollen (z. B. harter Sohlverbau um Sedimentablagerungen und nachfolgenden Aufwuchs von Pflanzen zu verhindern) und notwendig sind, da für andere Bauweisen kein Raum zur Verfügung steht (z. B. Anlage von bewachsenen Uferböschungen oder Randstreifen). Diese Ausbausituationen sind in der Regel so angelegt, dass der Gewässerquerschnitt in der Lage ist die Durchflussmenge für ein bestimmtes Hochwasserereignis schadlos abzuführen. Jegliche Veränderung sowohl im Volumen des Abflussquerschnittes als auch zur Anhebung der Wasserspiegellagen im Falle eines Bemessungshochwassers (z. B. durch Aufrauen der Gewässersohle bei der Anlage einer naturnäheren Sohlstruktur) ist aus Sicht des Hochwasserschutzes zu vermeiden. In der Konse-

quenz sind gerade in Ortslagen die Möglichkeiten zur Revitalisierung von Gewässerabschnitten oftmals stark limitiert (*Spänhoff*, 2013).

Reversible Restriktionen sind in der Regel durch bestimmte Nutzungsanforderungen des Menschen bedingt, die entweder durch bauliche Anlagen (z. B. Stauwehre zum Aufstau, zur Entnahme oder Ableitung von Bachwasser für unterschiedliche Zwecke), Ausbaumaßnahmen (Sohlschwellen zur Abflussregulierung, Begradigung von Bachverläufen und Eintiefung gegenüber dem natürlichen Geländeniveau um die Flächenentwässerung zu gewährleisten) oder Gewässerunterhaltungsmaßnahmen (z. B. Beräumung des Gewässers und Mahd der Ufer/Böschungen um den Abflussquerschnitt zu sichern und von Bewuchs freizuhalten) gesichert werden. Bezogen auf die Ausbausituation von Fließgewässern in der freien Landschaft handelt es sich zumeist um Anforderungen aus der landwirtschaftlichen Nutzung der Flächen, die dazu führen, dass die Gewässer ihre ökologischen Funktionen nur noch eingeschränkt erfüllen können. Die Bäche sind so ausgebaut, dass eine Bewirtschaftung der anliegenden Landwirtschaftsflächen möglichst problemlos erfolgen kann (z. T. bis an die Böschungsoberkante) und gleichzeitig eine Entwässerung (z. T. aber auch Bewässerung durch Staumöglichkeiten) der bewirtschafteten Flächen gesichert ist und größere Abflussmengen (z. B. im Falle von Hochwasser) im Gewässerbett abgeführt werden, ohne die Landwirtschaftsflächen zu überfluten (Abbildung 3). Maßnahmen zur Revitalisierung der Bäche erfordern dann den Raum den das Gewässer benötigt, um die natürlichen Strukturen wiederherzustellen, die zur Erfüllung der ökologischen Funktionen des Gewässers notwendig sind. Die zur (bestenfalls) eigendynamischen Entwicklung des Gewässers notwendigen Flächen befinden sich in der Regel aber in privatem Besitz und werden bewirtschaftet. Eine Bereitschaft der Flächeneigentümer eine eigendynamische Entwicklung des Gewässers unter Inanspruchnahme der anliegenden Flächen zuzulassen besteht in der Regel nicht. Die Durchsetzung von Maßnahmen des Wasserrechts z. B. durch Anordnung gestaltet sich äußerst schwierig aufgrund der rechtlichen Konsequenzen (z. B. erforderlicher Nachweis, dass die Entwicklung des Gewässerabschnittes zum geforderten Zustand des ganzen Wasserkörpers führt und keine weitere Beeinträchtigung der Flächennutzungen bewirkt sowie zu erbringende Entschädigungsleistungen gegenüber dem Flächeneigentümer und dem Flächennutzer durch Aufgabe der Flächen und deren Nutzung). Die bestehenden Instrumente zu den Möglichkeiten die Flächenverfügbarkeit für eigendynamische Gewässerentwicklungsprozesse zu verbessern (z. B. Flurneuordnungsverfahren, Flächentausch oder –kauf) werden derzeit ungenügend genutzt, u. a. auch weil die Kapazität und z. T. auch die Bereitschaft der zuständigen Akteure begrenzt sind.

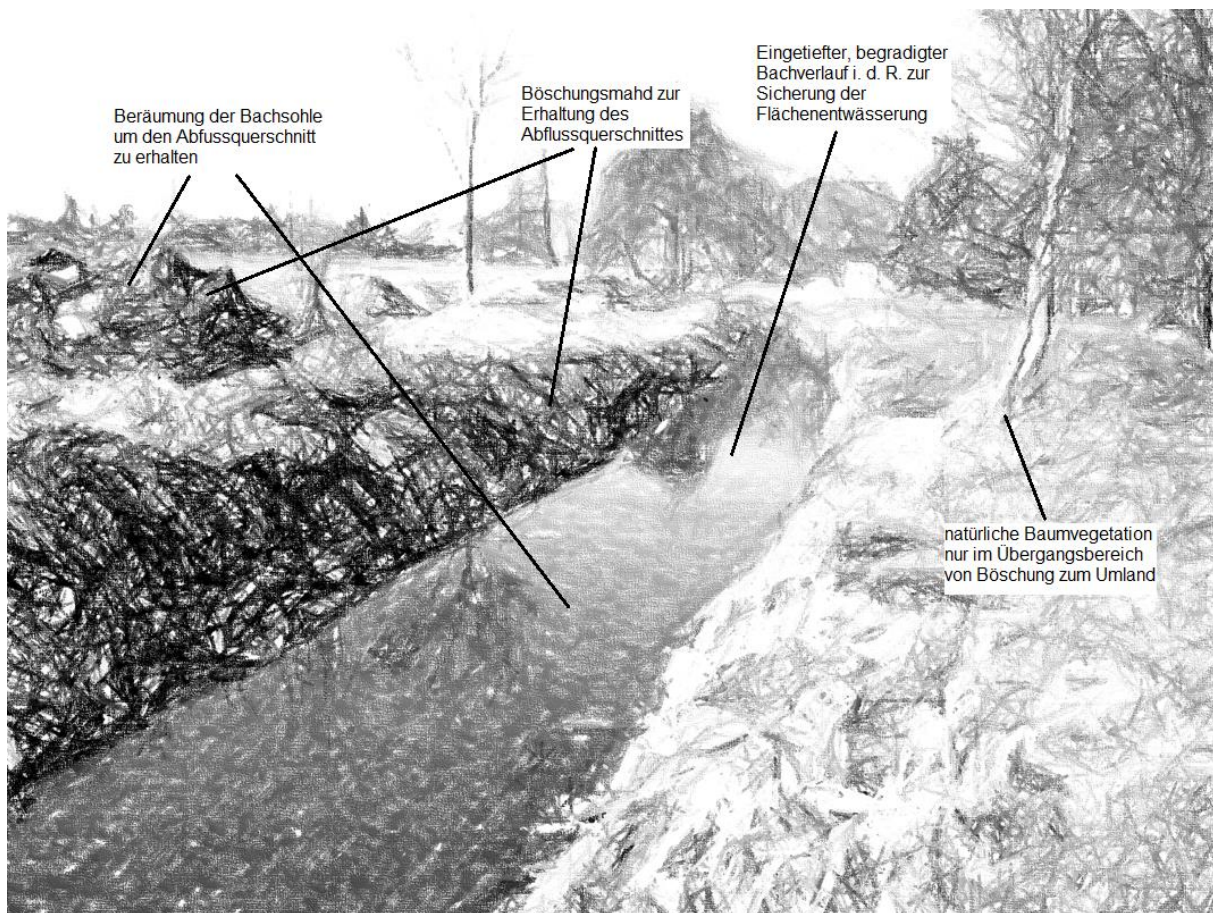


Abbildung 3: Skizzierte Situation in der freien Landschaft mit dem Ausbaurzustand des Gewässers zur möglichst problemlosen Flächenbewirtschaftung und den oftmals dazugehörigen, regelmäßigen Unterhaltungsmaßnahmen, (Quelle: Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie)

3.2 Gewässerunterhaltung und Akzeptanz für Revitalisierungsmaßnahmen

Die genannten Ausbaurzustände der Gewässer in Sachsen (Abbildung 2 und 3) erfordern eine intensive Gewässerunterhaltung, um die gewünschte Abflusssituation aufrecht zu erhalten. Insbesondere in der freien Landschaft und in Einzugsgebieten mit hoher landwirtschaftlicher Flächennutzungsintensität ist der regelmäßige Unterhaltungsaufwand (Böschungsmahd, Sohlkräutung und Sohlberäumung) erheblich. Gleichzeitig stellen die Unterhaltungsmaßnahmen einen gravierenden Einschnitt in die Gewässerökosysteme dar und verursachen z. T. irreversible Schäden mit der Vernichtung von Lebensräumen durch komplettes Entfernen ganzer Gewässerstrukturen. Auch der Ausbaurzustand an sich ist in der Regel nicht dazu geeignet, dass das Gewässer seine ökologischen Funktionen im Naturhaushalt erfüllen kann. Die intensive konventionelle Gewässerunterhaltung zum Erhalt des Ausbaurzustands trägt also mittelbar und unmittelbar

dazu bei, dass nur ein Bruchteil der sächsischen Oberflächenwasserkörper das ökologische Bewirtschaftungsziel nach WHG (bzw. Umweltziel nach EG-WRRL) erreicht (*Borggräfe, 2011*).

Einer extensiven und stärker ökologisch ausgerichteten Gewässerunterhaltung stehen aber insbesondere die Anforderungen der Flächen- und Gewässernutzer und z. T. auch Bedenken der Unterhaltungslastträger entgegen. Hauptgründe sind Befürchtungen bzgl. eines steigenden Unterhaltungsaufwandes, Bedenken, dass naturnäher ausgeprägte Gewässerverläufe nicht mehr den Anforderungen, insbesondere der Flächennutzer bzgl. der Vorflutleistung (Be- und Entwässerung der Flächen) und der Funktionsfähigkeit von Entwässerungsanlagen (Drainagen) genügen und der Bedarf an Flächen i. d. R. nicht akzeptiert wird. Die fehlende Akzeptanz richtet sich oftmals sowohl gegen die Inanspruchnahme der Flächen als auch gegen das Entwicklungsziel der alternativen Gewässerunterhaltungsmethoden, da z. B. natürliche Baum- und Strauchvegetation an den Gewässern zu einer Beeinträchtigung von landwirtschaftlichen Entwässerungsanlagen führen kann.

4 Chancen

Die Flächenverfügbarkeit kann durch ein gezieltes Flächenmanagement unter Nutzung der Flächen im Eigentum der öffentlichen Hand erhöht werden. Damit wäre eine Grundvoraussetzung geschaffen, die privaten Eigentümer und die Flächennutzer hinsichtlich eines Wert- und Ertragsverlustes zu entlasten. Mögliche Träger der öffentlichen Hand in Sachsen sind die Kommunen, der Freistaat Sachsen mit dem Staatsbetrieb Sächsisches Immobilien- und Baumanagement (SIB) sowie der Bund mit der Bodenverwertungs- und -verwaltungs GmbH (BVVG).

Dabei zielt die Verbesserung der Flächenverfügbarkeit insbesondere auf die gesetzlich geregelten Gewässerrandstreifen nach § 38 WHG (*Patt, 2011*), die in den einzelnen Landeswassergesetzen zum Teil noch untersetzt sind. So besteht z. B. in Sachsen das Verbot der Verwendung von Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln in einer Breite von fünf Metern des Gewässerrandstreifens. Die Attraktivität zur Nutzung für landwirtschaftliche Zwecke wird u. a. aus diesem Grund reduziert, wodurch die Akzeptanz der Flächeneigentümer (auch der Bewirtschafter) für Entwicklungsprozesse des Gewässers steigen würde, wenn nicht die strikt flächenbezogene Agrarförderung dem ökologischen Ansinnen entgegenstehen würde.

Eine Lösung für dieses Problem könnte der Erhalt der Betriebsprämie für beihilfefähige Flächen gemäß Art. 32 Abs. 2 Buchst. b der Verordnung (EU) Nr. 1307/2013 sein. Diese Flächen (Gewässerrandstreifen bzw. Entwicklungskorridore) müssten für Maßnahmen zur Erreichung der Umweltziele nach EG-WRRL in Anspruch genommen werden. Die ursprünglichen Bewirtschafter der Flächen können so dennoch die Betriebsprämie erhalten, obwohl die Flächen nicht mehr landwirtschaftlich zu nutzen sind (aufgrund der eigendynamischen Entwicklung der Gewässer).

Alle Maßnahmen, die den Fließgewässern für eigendynamische Entwicklungsprozessen mehr Raum zugestehen, führen in der Regel auch zu einer Verbesserung, d. h. Minderung des Hochwasserrisikos (UBA, 2011).

Für urbane Räume sind allerdings andere Maßstäbe, insbesondere zur Sicherheit der Ortslagen vor Überflutungen, anzulegen. In diesen Bereichen werden sich die Möglichkeiten zur naturnäheren Entwicklung von Gewässerverläufen an den Rahmenbedingungen des Hochwasserschutzes orientieren müssen, was entsprechende Notwendigkeiten bei der Gewässerunterhaltung und der Gewässerentwicklung nach sich zieht (LUBW, 2011).

Mit der Verfügbarkeit von Raum für naturnahe Gewässerentwicklungsprozesse erweitert sich auch der Spielraum für die Gewässerunterhaltung im Sinne einer Entwicklung der Gewässer gemäß § 39 WHG. Die Möglichkeiten entsprechende Unterhaltungsmaßnahmen für die naturnähere Gewässerentwicklung einzusetzen sind vielfältig (DWA, 2010). Die „traditionelle“ Gewässerunterhaltung allerdings beschränkt sich u. a. aufgrund der beschriebenen Restriktionen oftmals auf die Pflege und damit den Erhalt des Gewässerzustandes. Um „neue Wege der Gewässerunterhaltung“ beschreiten zu können, müssen aber auch die Rahmenbedingungen bei und für die gesetzlichen Träger der Unterhaltungslast stimmen. Hier erweist sich als problematisch, dass kleine Organisationseinheiten wie z. B. die Kommunen als Unterhaltungslastträger für die Gewässer zweiter Ordnung in Sachsen mit diesen komplexen Aufgaben sowohl personell als auch finanziell und fachlich überfordert sind. Eine Chance könnte hier der kommunale Zusammenschluss zu Verbänden der Gewässerunterhaltung sein.

5 Zusammenfassung

In Sachsen erreichen derzeit 97 % der Oberflächenwasserkörper u. a. aufgrund des Ausbauszustandes nicht das ökologische Umweltziel der Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL). Gleichzeitig führten die großflächigen Extremereignisse der vergangenen Jahre (2002, 2006, 2010/11, 2013) zu hohen finanziellen Schäden

und verdeutlichen den Handlungsbedarf für ein nachhaltiges Hochwasserrisikomanagement. Deshalb zählt die gemeinsame Umsetzung der EG-WRRL und der Hochwasserrisikomanagementrichtlinie (EG-HWRM-RL) zu den großen Herausforderungen nicht nur in der Wasserwirtschaft. Ein interdisziplinärer Umsetzungsprozess, der die Synergiepotenziale einer naturnahen Gewässer- und Auenentwicklung mit einer Verringerung des Hochwasserrisikos verbindet, wird dringend benötigt. Die Grundlage dafür ist die Bereitstellung von Flächen, die den Gewässern Überflutungs- aber auch Entwicklungsraum zur Verfügung stellt. Chancen das System der Gewässerbewirtschaftung zu optimieren bestehen dann in einem regionalen Flächenmanagement, einer ökologisch ausgerichteten Gewässerunterhaltung und einer angepassten Maßnahmenplanungen für begrenzt eigendynamische Gewässerentwicklungsprozesse.

6 Literatur

- BMBF (2015): Internetseite „Regionales Wasserressourcen-Management für den nachhaltigen Gewässerschutz in Deutschland. Projekt In_StröHmunG“. https://bmbf.nawam-rewam.de/projekt/in_stroehmung/.
- Borggräfe, K. (2011): Zu Tode gepflegt! Gewässerunterhaltung zwischen Nutzeransprüchen und Ökologie. KW gewässer-info Nr. 52: 555-557.
- DWA (2010): Neue Wege der Gewässerunterhaltung - Pflege und Entwicklung von Fließgewässern. Merkblatt DWA-M 610, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef.
- EG-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, (ABl. L 288 vom 06.11.2007, S. 27).
- EG-WRRL (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik – EG-Wasserrahmenrichtlinie, (ABl. L 327 vom 22.12.2000, S. 1).
- LfULG (2015): Sächsische Beiträge zu den Bewirtschaftungsplänen Elbe und Oder. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden. <http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/wasser/14706.htm>.
- LUBW (2011): Hochwassersichere Entwicklung und Unterhaltung von Fließgewässern im urbanen Bereich. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe.
- Müller, U. (2010): Hochwasserrisikomanagement – Theorie und Praxis; Springer Vieweg Verlag, 440 Seiten, Wiesbaden.
- Patt, H. (2011): Gewässerrandstreifen – Entwicklungsflächen für Fließgewässer? KW Korrespondenz Wasserwirtschaft (4). S. 136 – 140.
- SMUL (2013): Hochwasserschäden bei rund zwei Milliarden Euro. Pressemitteilung des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft vom 25.06.2013. <http://www.medienservice.sachsen.de/medien/news/185385?page=5>.

- SMUL (2015): Hochwasserschutz in Sachsen kommt voran. Pressemitteilung des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft vom 30.12.2015. <http://www.medienservice.sachsen.de/medien/news/201291>.
- SächsWG (2013): Sächsisches Wassergesetz vom 12. Juli 2013 (SächsGVBl. S. 503).
- Spänhoff, B. (2013): „Urbane Gewässer“ – Möglichkeiten und Grenzen zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. Jahrbuch Gewässer-Nachbarschaften 2013. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), Landesverband Sachsen/Thüringen. S. 158 – 166.
- UBA (2011): Hochwasser. Verstehen, Erkennen, Handeln. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
- WHG (2009): Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585).

Autoren:

Corina Niemand

Wanja Bilinski
Dr. Bernd Spänhoff
Dr.-Ing. habil. Uwe MüllerSächsisches Landesamt für Umwelt,
Landwirtschaft und Geologie (LfULG)
Abteilung Wasser, Boden, Wertstoffe
Zur Wetterwarte 11
01109 DresdenSächsisches Landesamt für Umwelt,
Landwirtschaft und Geologie (LfULG)
Abteilung Wasser, Boden, Wertstoffe
Zur Wetterwarte 11
01109 DresdenTel.: +49 351 8928 4406
Fax: +49 351 8928 4099
E-Mail: corina.niemand@smul.sachsen.deTel.: +49 351 8928 4000
Fax: +49 351 8928 4099
E-Mail: wanja.bilinski@smul.sachsen.de
bernd.spaenhoff@smul.sachsen.de
uwe.mueller@smul.sachsen.de

Der Übergang von den Hochwasserschutzkonzepten zur Hochwasserrisikomanagementplanung im Freistaat Sachsen

Schwerpunkt Gefahren- und Risikokarten

Stephan Gerber
Stefan Jentsch
Thomas Kopp

Die Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen (LTV) ist für die Erstellung der Hochwasserkarten und Hochwasserrisikomanagementpläne für die Fließgewässer 1. Ordnung und die Elbe im Freistaat Sachsen zuständig. Dabei bewegt sich die LTV in einem Spannungsfeld zwischen gesetzlichen Anforderungen, Erwartungen aus der Bevölkerung, fachlich begründeten Herangehensweisen und Methoden sowie begrenzten Ressourcen. In diesem Spannungsfeld galt und gilt es, Erfahrungen aus den Hochwasserschutzkonzepten zu nutzen und die methodischen Ansätze an neue Anforderungen sowie die technische Weiterentwicklung anzupassen. Gleichzeitig wird deutlich, dass mit der fachlichen Arbeit der Erstellung der Gefahren- und Risikokarten Interessenskonflikte, die aus der Nutzung der Karten resultieren, nicht vollständig vermieden werden können. Der Beitrag zeigt weiterhin den für die Kartenerstellung erforderlichen Arbeitsumfang für die LTV bis 2019 auf und stellt die Vorgehensweise zur Koordinierung und Steuerung dieser Aufgabe vor.

Stichworte: Hochwasserrisikomanagement, Hochwassergefahrenkarten, Hochwasserrisikokarten, Methoden, Organisation

1 Aktueller Stand in Sachsen

1.1 Vorliegende Daten und Ergebnisse der Hochwasserschutzkonzepte

Nach dem Hochwasser 2002 wurden in Sachsen für die Fließgewässer I. Ordnung und die Bundeswasserstraße Elbe Hochwasserschutzkonzepte (HWSK) aufgestellt. Diese beinhalteten auch Hochwassergefahrenkarten (HWGK). Fortan galten die HWSK bzw. die daraus abgeleiteten und priorisierten Hochwasserschutzmaßnahmen (HWSM) als Handlungsgrundlage im Freistaat Sachsen für die Umsetzung von HWSM sowie für die Information der Bevölkerung über die

von Überschwemmung ausgehenden Gefahren an Fließgewässern I. Ordnung und der Bundeswasserstraße Elbe. Damit lagen in Sachsen bereits im Jahr 2005 wichtige Grundlagen des Hochwasserrisikomanagements vor, die durch die 2007 erlassene Richtlinie 2007/60/EG (Hochwasserrisikomanagementrichtlinie, *HWRM-RL*, 2007) erst später verpflichtend eingeführt wurden.

Konkret liegen für 47 Einzugsgebiete HWSK und für ca. 580 Ortslagen HWGK vor. Diese Karten stellen die Gebiete dar, die bei Hochwasserereignissen hoher, mittlerer und niedriger Wahrscheinlichkeit oder bei einem Extremereignis überflutet werden. Die HWSK sowie die HWGK für Ortslagen können bei den unteren Wasserbehörden und in den Betrieben der Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen (LTV) eingesehen werden. Basierend auf den Überflutungsflächen der HWSK-Gefahrenkarten wurden 2013 durch das Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Hochwasserrisikokarten (HWRK) digital erstellt, die zusätzlich die von Überschwemmung betroffenen Schutzgüter darstellen. Die Gefahren- und Risikokarten können mit interaktiven Kartenanwendungen im Webportal des Freistaates Sachsen abgerufen werden.

Gefahrenkarten: <http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/wasser/8843.htm>

Risikokarten: <http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/wasser/13503.htm>

1.2 Nutzung der Kartendaten und daraus resultierende Spannungsfelder

Die Gefahren- und Risikokarten dienen einerseits der Information der Bevölkerung mit dem Ziel der Gewährleistung einer möglichst guten individuellen Hochwasservorsorge, andererseits können die berechneten Überflutungsflächen mit der Festsetzung der Überschwemmungsgebiete eine weitergehende Rechtswirkung entfalten.

Überschwemmungsgebiete werden nach Sächsischem Wassergesetz per Rechtsverordnung festgesetzt und entsprechen dabei mindestens den Gebieten, in denen statistisch einmal in einhundert Jahren eine Überflutung zu erwarten ist. Für die Festsetzung sind gemäß § 72 der aktuell gültigen Fassung des Sächsischen Wassergesetzes, aber auch bereits laut § 100 der bis 2013 gültigen Fassung, die unteren Wasserbehörden zuständig. Als fachliche Basis für die Ausweisung werden durch die unteren Wasserbehörden im Bereich der Gewässer I. Ordnung in der Regel die ermittelten Überflutungsflächen der HWGK für das HQ₁₀₀ genutzt.

Ergänzend werden Überschwemmungsintensitäten der Ereignisse unterschiedlicher Wiederkehrwahrscheinlichkeiten seitens der Versicherungswirtschaft zur Klassifizierung und Bewertung von Risiken der Überschwemmungsgefahr herangezogen. Die damit mögliche, risikogerechtere Bewertung von Überschwem-

mungsrisiken hat dazu geführt, dass 99 % der Gebäude in Deutschland gegen Hochwasser grundsätzlich versicherbar sind (GDV, 2015). Auch Privatpersonen können sich über das Portal „www.Kompass-Naturgefahren.de“ über das Ergebnis der Risikoanalyse des Gesamtverbandes der deutschen Versicherungswirtschaft informieren.

Darüber hinaus haben sich die Berechnungsergebnisse aus den HWSK für Dritte zur Planung von Maßnahmen an Gewässern, beispielsweise für erste Ausgangswerte zur Erneuerung / Ertüchtigung von Brückenbauwerken, etabliert. Dies umfasst neben den Ergebnissen der hydraulischen Berechnungen, die häufig als erste Randbedingung für die Vorplanung verwendet werden, insbesondere die hydrologischen Grundlagen, auf deren Basis die HWSK erarbeitet wurden.

Damit wird deutlich, dass die überbehördlich abgestimmten Grundlagen, die Berechnungsergebnisse und die veröffentlichten Produkte der HWSK vielfältig genutzt werden. Sie haben demnach einen konkreten Einfluss auf die Siedlungsentwicklung, auf Immobilienpreise, auf Versicherungsprämien, auf die Umsetzung von Bauvorhaben u. v. m. (vgl. Abbildung 1).

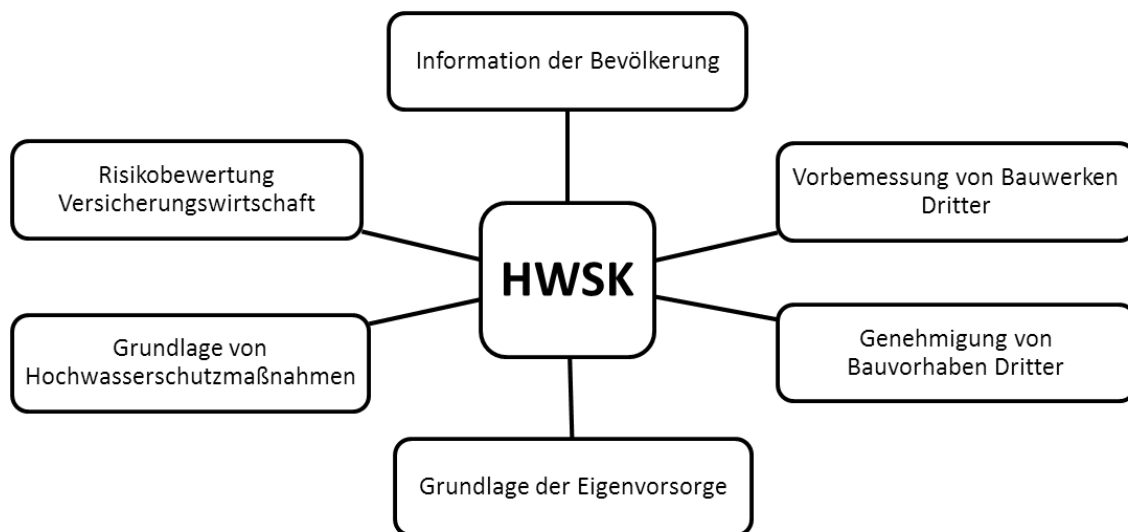


Abbildung 1: wesentliche Nutzungsbereiche der HWSK und ihrer Datengrundlagen sowie Berechnungsergebnisse

Beim Blick auf diese Anwendungsbreite wird schnell deutlich, wo die wesentlichen Spannungsfelder liegen: nämlich in der Einschränkung der persönlichen Freiheit Einzelner durch das berechtigte Interesse der Allgemeinheit an einer Schadensminderung bzw. Schadensvermeidung im Fall schwerer Hochwasser (vgl. Abbildung 2).

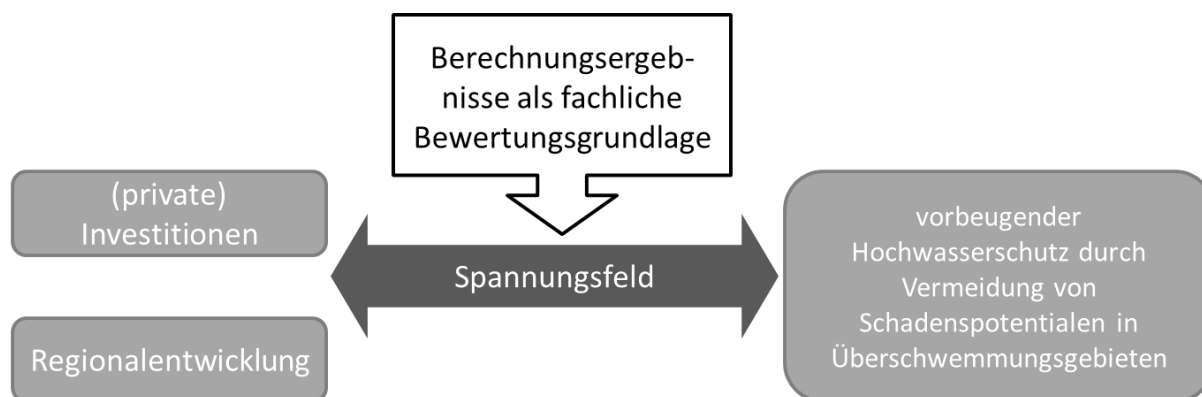


Abbildung 2: Spannungsfeld zwischen der Freiheit über Investitionsentscheidungen und dem Ziel der Vermeidung von Schadenspotentialen

Insbesondere die Nutzung der HWSK als fachliche Bewertungsgrundlage lässt das Erfordernis eines hohen Maßes an Aktualität und inhaltlicher Verlässlichkeit der Daten erkennen. Angesichts mehrerer schwerer Hochwasserereignisse seit Erarbeitung der HWSK und der dadurch veranlassten Überarbeitung der hydrologischen Grundlagen wird der Bedarf zur Überarbeitung der Ergebnisse der HWSK deutlich. Hinzu kommt, dass aktuelle zweidimensionale hydrodynamisch-numerische Modelle (2D-HNModelle) die natürlich vorkommenden Abflusssituationen, insbesondere bei komplexeren Strukturen wie beispielsweise in Auebereichen, besser abbilden können, als die eindimensionalen (1D) numerischen Strömungsmodelle, mit denen die meisten HWSK gerechnet wurden. Gleichzeitig hat sich an vielen Gewässern die Überschwemmungsgefährdung durch nunmehr umgesetzte Hochwasserschutzmaßnahmen und durch die sukzessiven fortschreitenden Veränderungen am Gewässer, vor allem infolge von Hochwasserereignissen, deutlich geändert.

Die genannten fachlichen Aspekte, die für eine Überarbeitung der HWGK sprechen, sind natürlich auch den Nutzern der Karten bewusst, so dass auch von diesen eine zügige Aktualisierung der HWGK erwartet wird.

2 Weiteres Vorgehen in Sachsen

Grundsätzlich orientiert sich das Prozedere zur Überarbeitung der sächsischen Gefahren- und Risikokarten sowie der Entwicklung der HWSK zu Hochwasserrisikomanagementplänen an den Zyklen der HWRM-RL. Das bedeutet, dass die Aktualisierung der HWGK und HWRK bis Ende 2019 angestrebt wird, welche dann bis Ende 2021 zu Hochwasserrisikomanagementplänen zusammengeführt bzw. weiterentwickelt werden. Dies erfolgt in Sachsen für die Gewässer I. Ordnung und die Bundeswasserstraße Elbe durch die LTV.

2.1 Arbeitsumfang und -organisation

Die Überarbeitung der oben dargestellten 47 HWSK mit HWGK und HWRK für ca. 580 Ortslagen stellt für die LTV eine enorme Herausforderung dar. Auf EU-Ebene existieren zudem Überlegungen, dass alle Dokumente, über die nach Art. 13 berichtet wurde (und das ist bei den sächsischen HWGK, da sie ja bereits vor dem 22.12.2010 vorlagen, der Fall) im 2. Zyklus verpflichtend zu überarbeiten sind.

Aktuell wird angestrebt, für alle Fließgewässer in Unterhaltungslast der LTV, durchgehende HN-Modelle zu erarbeiten. Das bedeutet, dass für ca. 3000 km Fließgewässer die HN-Modelle aktualisiert bzw. teilweise neu erarbeitet werden müssen. Derzeit liegen für ca. 1100 km bereits aktuelle Modelle vor.

Die modelltechnische Bearbeitung der verbleibenden ca. 2000 km Fließgewässer stellt einen hohen Aufwand dar, der erhebliche finanzielle und personelle Ressourcen binden wird. Um den Arbeitsaufwand so weit wie möglich zu minimieren, wurden Standards entwickelt, die eine effiziente Projektbearbeitung und -begleitung sowie eine standardisierte Qualitätskontrolle ermöglichen sollen. Im Einzelnen sind dies:

- eine einheitliche Musteraufgabenstellung,
- Standardgliederungen für die Erläuterungsberichte zu den Karten und zu den Strömungsmodellen und
- ein umfangreiches Muster-GIS-Projekt, das für die Karten die vollständigen inhaltlichen und formalen Rahmenbedingungen enthält.

Eine weiteres Themenfeld, das sich aus der Erfahrung mit den HWSK als verbesserungsbedürftig darstellt, ist die Lösung einer nachhaltigen Datenhaltung. Derzeit erfolgt die Datenablage in einheitlich strukturierten Verzeichnisebenen, getrennt nach veröffentlichten Infodaten und intern nutzbaren Arbeitsdaten. Dieses System hat Vorteile aber auch Schwächen, die v. a. aus den zunehmend größer werdenden Datenmengen und räumlich sowie zeitlich unterschiedlichen Fortschreibungsständen verschiedenster Daten resultieren. So ist beispielsweise die Recherche nach den jeweils aktuellen Datenständen einzelner Gewässerabschnitte nur händisch möglich, insbesondere da auch keine Korrelation zwischen Karteninhalten, deren Erstellungsbasis und dem vorliegenden aktuellen Datenstatus vorgenommen werden kann. Dieses Prozedere wird in den Betrieben der LTV unterschiedlich gehandhabt, aber insgesamt ist die Frage einer intelligenten und zukunftssicheren Datenhaltung, die insbesondere unter der Prämisse Datenaktualisierung und Laufendhaltung aufgebaut werden muss, eine wichtige noch zu lösende Problemstellung.

2.2 Fachliche Aspekte

10 Jahre Arbeit mit den Karten, Plänen und Daten der HWSK haben gezeigt, dass bei der anstehenden Überarbeitung dieser Unterlagen eine fachlich exakte, überbehördliche und mit den Akteuren vor Ort abgestimmte Bearbeitung von großer Bedeutung ist. Zwangsläufig aufkommende Diskussionen, insbesondere über die Ausweisung von festgesetzten Überschwemmungsgebieten, lassen sich minimieren, wenn bereits bei der Modellbearbeitung die hydrologischen Grundlagen kommuniziert und die Verantwortungsträger sowie lokalen Interessenvertreter bei der Kalibrierung der Modelle mit einbezogen werden. Eine Möglichkeit dafür wird in *Kopp & Lange* (2016, Kap. 3) in diesem Tagungsband beschrieben.

Aus der Erfahrung mit den vorliegenden HWSK-Karten und der Anpassung an neue technische Möglichkeiten sowie an die Vorgaben der Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (*LAWA*, 2010) resultieren folgende Neuerungen bei der Aktualisierung der sächsischen Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten:

- Projektablauf und Datengrundlagen
 - Verwendung aktueller hydrologischer Datengrundlagen mit Berücksichtigung der Erfahrungen seit 2005, insbesondere der abgelaufenen Hochwasserereignisse
 - Verwendung von HN-Modellen nach aktuellem Stand der Technik, in der Regel 2D-HN-Modelle
 - alle Arbeitsdaten werden in weiterverarbeitbarer Form archiviert, um bei der zukünftigen Aktualisierung der Karten ggf. weiter genutzt werden zu können
 - beide Kartenarten werden mit einem Auftrag pro Bearbeitungsgebiet von einem Ingenieurbüro bearbeitet
- Inhalt der Karten
 - Darstellung der überschwemmungsgefährdeten Gebiete nach § 75 SächsWG
 - Darstellung von Fließgeschwindigkeit und -richtung mit Hilfe von Strömungsvektoren (bei Einsatz von 2D-HN-Modellen)
 - differenzierte Darstellung vorhandener Hochwasserschutzanlagen
 - detailliertere Darstellung der Überschwemmungstiefen

Das Layout der Karten entspricht den Vorgaben der LAWA (LAWA, 2010), weicht allerdings in einigen wenigen Details, wie z. B. der differenzierten Darstellung der Hochwasserschutzanlagen, von diesen Empfehlungen ab.

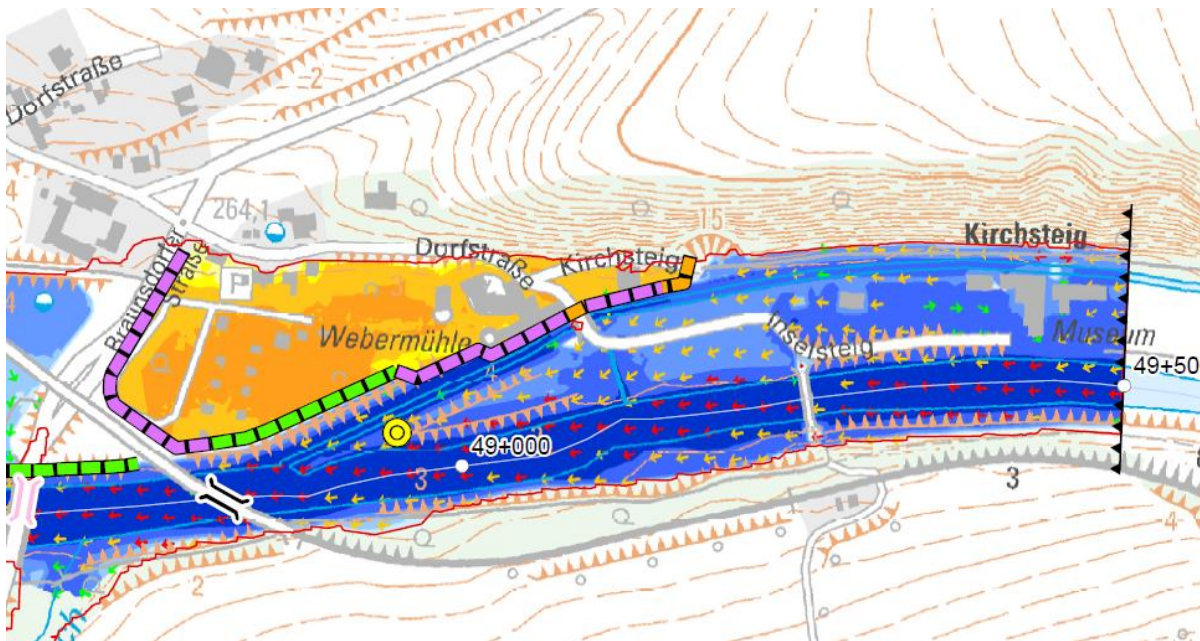


Abbildung 3: nichtmaßstäblicher Ausschnitt aus einer sächsischen HWGK mit Hochwasserschutzanlagen und überschwemmungsgefährdetem Gebiet

Legende

- Gewässerstationierung
- Gewässerachse
- ⊙ Sächsische Landespegel
- ▲▲ Grenze des Untersuchungsabschnittes
- ⊂ Überschwemmungslinie HQ_{extrem} (HQ_{300})
- Hochwasserschutzanlagen**
- ▬ Deich
- ▬ Hochwasserschutzwand
- ▬ linienförmiges mobiles Hochwasserschutzsystem (auch in Verbindung mit festen Hochwasserschutzanlagen)
- Bauwerke**
- ⌋ Einstau des Brückenbauwerks
- ⌋ Brücke nicht gefährdet (Freibord $f > 0,5$ m)
- ⌋ Brücke gefährdet (Freibord $f \leq 0,5$ m)
- ▽ Wehr
- Dynamik**
- ⊗ Erosionsbereich
- ⊙ Sedimentationsbereich

Wassertiefe in Gebieten ohne technischen Hochwasserschutz

- 0 - 0,5 m
- > 0,5 - 1 m
- > 1 - 2 m
- > 2 - 4 m
- > 4 m

Wassertiefe in geschützten Gebieten bei Versagen der Hochwasserschutzanlagen

- 0 - 0,5 m
- > 0,5 - 1 m
- > 1 - 2 m
- > 2 - 4 m
- > 4 m

Fließgeschwindigkeit in Gebieten ohne technischen Hochwasserschutz

- ↑ $0,2 < v \leq 0,5$ m/s
- ↑ $0,5 < v \leq 2,0$ m/s
- ↑ $v > 2,0$ m/s

Abbildung 4: Auszug aus der Legende der sächsischen Hochwassergefahrenkarten

3 Schlussfolgerungen und Ausblick

Im zweiten Zyklus der HWRM-RL müssen in Sachsen für ca. 580 Ortslagen die HWGK und HWRK überarbeitet werden. Die dafür notwendige modelltechnische Bearbeitung von ca. 3000 km Fließgewässer bis 2019 ist eine enorme Herausforderung, die entsprechende finanzielle und personelle Ressourcen erfordert. Die Erfahrungen mit der Arbeit der HWSK sind in die Strategie zur Aktualisierung der Hochwasserkarten und die entsprechende Aufgabenstellung mit eingeflossen, so dass die LTV fachlich gut auf die noch bevorstehende Aktualisierung der Modelle und Karten vorbereitet ist.

Diese bilden zukünftig die Grundlage für die Erstellung der Hochwasserrisikomanagementpläne, die bis 2021 fertig zu stellen sind.

4 Literatur

- GDV (2015): Kompass Naturgefahren – Risiken per Mausklick erkennen. Pressemitteilung des Gesamtverbandes der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V., <http://www.gdv.de/2015/01/kompass-naturgefahren/> (zuletzt abgerufen: 18.01.2016).
- 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.
- Kopp, T.; Lange, B. (2016): Methodische Ansätze zur effektiven Umsetzung der EG-Hochwasserrisikomanagementrichtlinie im Freistaat Sachsen am Beispiel der Großen Röder unterhalb der Speicher Radeburg I und II. in Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen, Heft 57, 39. Dresdner Wasserbaukolloquium 2016 „Gewässerentwicklung & Hochwasserrisikomanagement“. Dresden 2016.
- LAWA (2010): Empfehlungen zur Aufstellung von Hochwassergefahrenkarten und Hochwasserrisikokarten. Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser, beschlossen auf der 139. LAWA Vollversammlung am 25./26. März 2010 in Dresden.

Autoren:

Dr. Stephan Gerber
Dipl.-Ing. Thomas Kopp
Dipl.-Ing. Stefan Jentsch

Landestalsperrenverwaltung des
Freistaates Sachsen
Zentrale
Bahnhofstraße 14
01796 Pirna

Tel.: +49 3051 796 489
Fax: +49 3051 796 105
E-Mail: stephan.gerber@ltv.sachsen.de
thomas.kopp@ltv.sachsen.de
stefan.jentsch@ltv.sachsen.de

Methodische Ansätze zur effektiven Umsetzung der EG-Hochwasserrisikomanagementrichtlinie im Freistaat Sachsen am Beispiel der Großen Röder unterhalb der Speicher Radeburg I und II

Thomas Kopp
Birgit Lange

Die Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen (LTV) ist für die Erstellung der Hochwasserkarten und Hochwasserrisikomanagementpläne für die Fließgewässer I. Ordnung und die Bundeswasserstraße Elbe im Freistaat Sachsen zuständig. Aufbauend auf den Erfahrungen mit der Erstellung der Hochwasserschutzkonzepte wurden die methodischen Ansätze für die Erstellung der Hochwasserkarten durch die LTV weiterentwickelt und in ersten Projekten angewendet. Am Beispiel der Großen Röder können die Vor- und Nachteile dieser Methoden gut dargestellt werden. Die frühzeitige Einbeziehung der Akteure und Anrainer am Gewässer bei der Erstellung des numerischen Strömungsmodells der Großen Röder als Grundlage für die Kartenerstellung erwies sich als positiv hinsichtlich des Erkenntnisgewinns und der Nachnutzung des Modells für die vielfältigen Bemessungsaufgaben am Gewässer und deren Konsequenz für rechtlich zulässige Flächennutzungen im Gewässerumfeld. Nachteilig erscheint zunächst der höhere personelle und zeitliche Aufwand, der jedoch zu einer erheblich verbesserten Qualität und Akzeptanz der Ergebnisse führt. Letztlich ist jeweils ein Austarieren zwischen den Genauigkeitsanforderungen, die aus der multiplen Nutzung der Daten resultieren und der Leistungsfähigkeit in technischer, finanzieller und personeller Hinsicht erforderlich. Am Beispiel der Großen Röder kann gezeigt werden, dass der erwähnte zusätzliche Aufwand insbesondere für ein komplexes Fließgewässer sinnvoll und nachhaltig ist.

Stichworte: Hochwasserrisikomanagement, Hochwasserkarten, Gewässersystem Große Röder, Methoden

1 Einleitung

Die Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen (LTV) ist für die Erstellung der Hochwasserkarten sowie der Hochwasserrisikomanagementpläne (HWRM-PL) für die Fließgewässer I. Ordnung und die Bundeswasserstraße Elbe im Freistaat Sachsen zuständig. Im zweiten Zyklus der europäischen Hoch-

wasserrisikomanagementrichtlinie (*EG-HWRM-RL*, 2007) sind im Vorfeld der Hochwasserkartenerstellung gemäß *LTV* (2013) die Datengrundlagen und numerischen Strömungsmodelle des ersten Zyklus zu prüfen und zu aktualisieren.

Im ersten Zyklus der *EG-HWRM-RL* (2007) verwendete der Freistaat Sachsen die Hochwasserkarten aus den Hochwasserschutzkonzepten (HWSK) und nahm damit eine im *SächsWG* (2013) fixierte Übergangsregelung in Anspruch. Demnach konnten Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten verwendet werden, die bereits vor dem 22. Dezember 2010 fertiggestellt wurden.

Zwischenzeitlich wurden erste Hochwasserkarten gemäß der Aufgabenstellung für die Aufstellung / Aktualisierung von Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten (*LTV*, 2013) für den zweiten Zyklus der *EG-HWRM-RL* (2007) erstellt. Dafür mussten in Vorbereitung der Kartenerstellung die Daten- und Modellgrundlagen sowie die Modelle selbst häufig erheblich überarbeitet oder vollständig neu erstellt werden. Anhand des Gewässersystems der Großen Röder unterhalb der Speicher Radeburg I und II können die Vor- und Nachteile der hier angewendeten methodischen Ansätze gut dargestellt und entsprechende Erkenntnisse abgeleitet werden.

Bereits während der Hochwasserereignisse 2010 und 2011 im Rödergebiet musste festgestellt werden, dass die dem *HWSK* (2004) zugrundeliegenden numerischen Strömungssimulationen die tatsächlichen Fließverhältnisse nicht bzw. nicht ausreichend abbilden. Für das Gewässersystem der Großen Röder unterhalb der Speicher Radeburg I und II zeigte sich somit bereits frühzeitig das Erfordernis zur Aktualisierung des numerischen Strömungsmodells und folglich der entsprechenden Hochwasserkarten.

2 Methodische Ansätze bei der Kartenerstellung

Aufbauend aus den Erfahrungen mit den HWSK und bei der Nachnutzung der Daten wurde eine einheitliche detaillierte Musteraufgabenstellung (*LTV*, 2013) entwickelt, welche die wesentlichen Arbeitsschritte bei der Erstellung der Karten vorgibt und somit die Erreichung folgender Ziele gewährleisten soll:

- einheitliche Vorgehensweise / Methodik bei der Überarbeitung der Karten,
- einheitliche Kriterien zur Prüfung des Aktualisierungsbedarfs,
- einheitliche Qualitätsstandards,
- einheitliche Darstellung und Dokumentation,
- einheitliche Datenformate / -haltung und

- Sicherstellung der Weiterverwendbarkeit der Daten – insbesondere für zukünftige Fortschreibungen.

In Abbildung 1 sind die wesentlichen Schritte bei der Überarbeitung der Karten schematisch dargestellt. Neben den üblichen Schritten zur Aufstellung und Fortschreibung von numerischen Strömungsmodellen sind Qualitäts- und Plausibilitätskontrollen sowie deren Dokumentation bei der Fortschreibung der Modelle obligatorisch vorgesehen.

Die Qualitäts- und Plausibilitätskontrollen entsprechend Punkt 3 in Abbildung 1 umfassen standardmäßig u. a. die Lauffähigkeit der Modelle mit aktuellen Softwareversionen, die Überprüfung der Einhaltung der Konvention der jeweiligen Rechenkerne in der aktuellen Version, die Modellierung von Querbauwerken und im Falle fehlender Kalibrierungsmöglichkeiten umfangreiche Sensitivitätsanalysen.

Des Weiteren wird entsprechend Punkt 2 bzw. 6 in Abbildung 1 die Erstellung eines „hydraulischen digitalen Geländemodells“ explizit vorgeschrieben. In diesem werden die für Sachsen flächig vorliegenden digitalen Geländemodelle (DGM) auf Grundlage von Laserscanner-Messaufnahmen mit terrestrischen Vermessungsdaten in Form von Bruchkanten detailliert, so dass sowohl der Flussschlauch als auch die hydraulisch relevanten Strukturen hinreichend genau abgebildet werden. Diese hydraulischen DGM bilden generell die Grundlage für die Höhenbelegung der numerischen Strömungsmodelle und dienen darüber hinaus dem Verschnitt der Berechnungsergebnisse. Der Detaillierungsgrad der hydraulischen DGM ist im Regelfall erheblich höher als der des numerischen Strömungsmodells (Gewährleistung effizienter Rechenzeiten, Datenhaltung usw.).

Die Berechnung von Erosions- bzw. Akkumulationsstrecken ist standardmäßig kein Arbeitsschritt bei der Erstellung der Hochwassergefahrenkarten, sondern kommt nur noch in Ausnahmefällen zur Anwendung. Die Beobachtungen der abgelaufenen Hochwasserereignisse haben gezeigt, dass theoretische Annahmen und Realität auch in Bezug auf die örtliche Einordnung in einer Vielzahl der Fälle nicht übereinstimmen. Da in Sachsen mittlerweile umfangreiche Erfahrungen aus abgelaufenen Hochwasserereignissen vorliegen, werden gemäß Punkt 8 in Abbildung 1 Sedimentations- und Erosionsflächen auf der Grundlage von Beobachtungen und Erfahrungen der zuständigen Flussmeistereien der LTV ermittelt und erforderlichenfalls in den Karten entsprechend dargestellt.

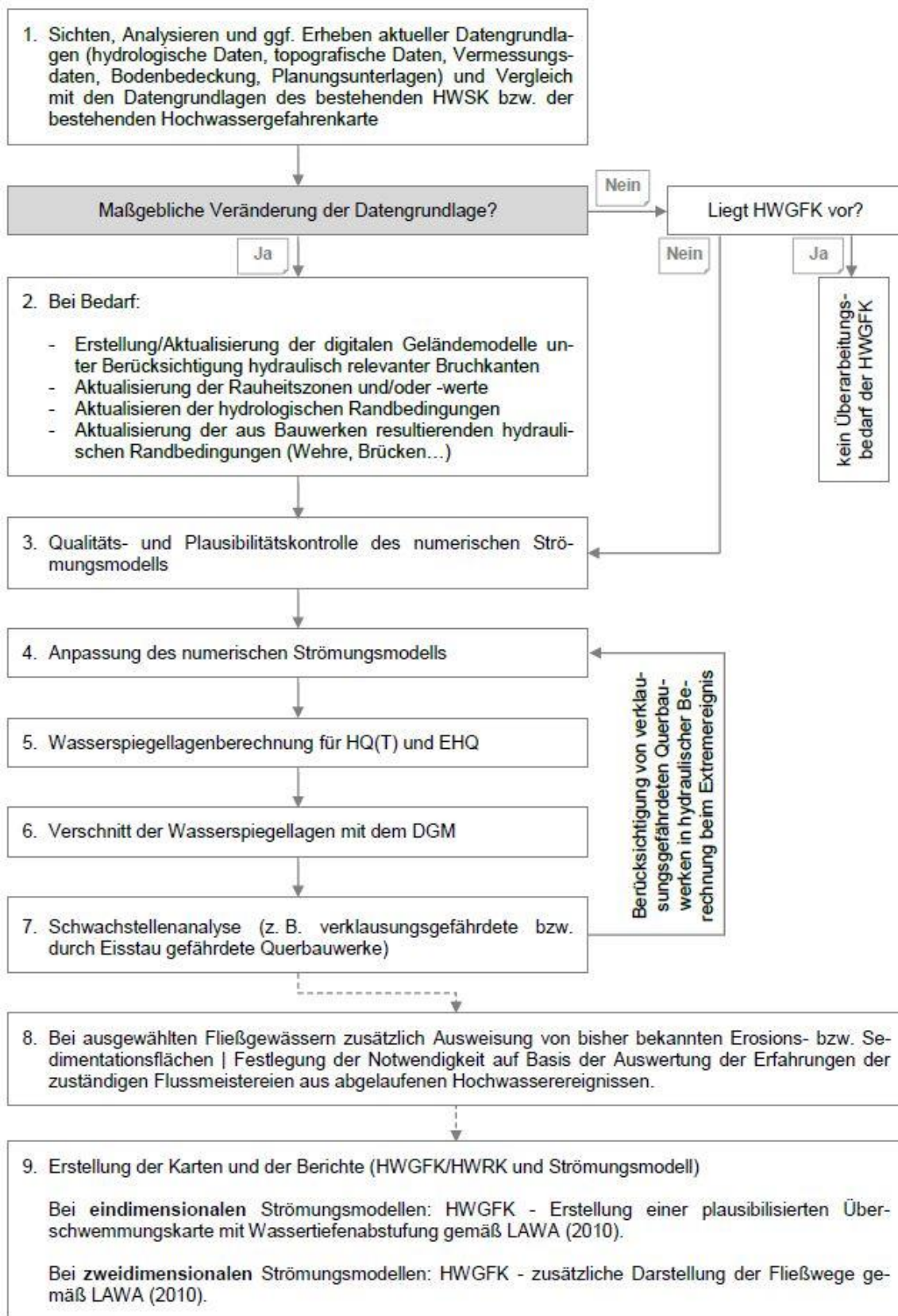


Abbildung 1: Arbeitsschritte bei der Aufstellung / Aktualisierung der Karten (Quelle: LTV, 2013)

3 Methodischer Ansatz bei der Einbeziehung der Öffentlichkeit

Entsprechend Sächsischem Wassergesetz (*SächsWG*, 2013) ist eine Beteiligung der Behörden und sonstiger Träger öffentlicher Belange für den HWRM-PL, nicht jedoch für das entsprechende Kartenwerk vorgesehen. Vielmehr ist aus rechtlicher Sicht eine Veröffentlichung der Hochwasserkarten ausreichend.

Konflikte und erheblicher Mehraufwand können entstehen, wenn erst nach Fertigstellung der für den HWRM-PL verwendeten Hochwasserkarten im Zuge des Beteiligungsverfahrens des HWRM-PL maßgebliche Hinweise für die numerischen Strömungsmodellierung nachgeliefert werden bzw. sich mangelnde Akzeptanz der Berechnungsergebnisse der numerischen Modellierung abzeichnet.

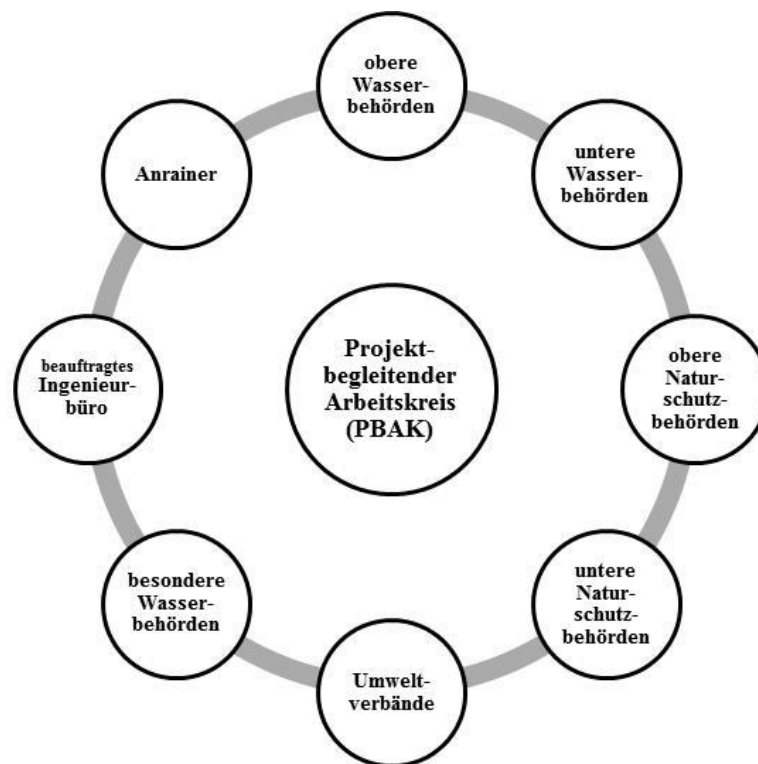


Abbildung 2: mögliche Beteiligung an einem Projektbegleitenden Arbeitskreis

Eine mittlerweile bewährte Methode zur Vorbeugung von Konflikten, ist das Einrichten und turnusmäßige Treffen eines Projektbegleitenden Arbeitskreises (PBAK). In diesem wirken verschiedene Akteure zusammen (vgl. Abbildung 2), um wertvolle Informationen und Daten zur Plausibilisierung der verwendeten Modelle und Modellgrundlagen zu erhalten, deren Verwendbarkeit im numerischen Modell zu überprüfen und gemeinsam die Modellierungsergebnisse auf Plausibilität mit dem vereinbarten Referenzzustand abzugleichen.

Besonders wichtig sind nach bisherigen Erfahrungen entsprechend umfangreiche Informationen dann, wenn komplexe Fließverhältnisse bzw. kaum Natur-

messdaten von abgelaufenen Hochwasserereignissen oder besondere Interessen regionaler Akteure vorliegen. Komplexe Fließverhältnisse können sowohl aus der Komplexität des Fließgewässersystems an sich, aus der Gebietstopografie aber auch aus einer bewusst herbeigeführten (Anlagensteuerung LTV oder Dritte) oder ereignisbedingt entstandenen Ausnahmesituation resultieren.

Primär werden folgende Themen in den PBAK abgehandelt:

- Erweiterung / Überprüfung der Datengrundlage (Hochwassermarken, Vermessungsdaten, Wehrsteuerung etc.),
- Plausibilisierung von Fließwegen und berechneten Überflutungsflächen abgelaufener Hochwasserereignisse (Kalibrierung / Validierung),
- Möglichkeiten und Grenzen von Modellen / Modellgenauigkeiten.

Durch die Einrichtung eines PBAK kann von Anbeginn an eine transparente, nachvollziehbare, von allen Beteiligten getragene Grundlage u. a. für die Aufstellung des HWRM-PL geschaffen werden. Gleichwohl ist die Einrichtung eines PBAK nicht für jedes Fließgewässer zweckmäßig bzw. erforderlich. Der zusätzliche personelle und finanzielle Aufwand muss in einem adäquaten Verhältnis zum zu erwartenden Erkenntniszuwachs stehen.

4 Anwendung der Ansätze am Beispiel der Großen Röder unterhalb der Speicher Radeburg I und II

4.1 Das Gewässersystem der Großen Röder

Das Gewässersystem der Großen Röder erstreckt sich nördlich der Landeshauptstadt Dresden zwischen den Städten Radeberg und Gröditz. Der östlich von der Stadt Radeburg gelegene Teil des Einzugsgebietes der Großen Röder kann dem Sächsischen Bergland und der westliche Teil dem Sächsischen Hügel- und Tiefland zugeordnet werden. Die Große Röder ist ein Gewässer I. Ordnung. Insbesondere unterhalb der Speicher Radeburg I und II (vgl. Abbildung 3) ist das Rödergebiet durch ein komplexes, anthropogenes Graben- und Kanalsystem mit einer Vielzahl von Regelungsbauwerken geprägt. Das Gewässersystem mit den Hauptgewässern Geißblitz, Kleine Röder und Große Röder mündet in Brandenburg in die Schwarze Elster (vgl. Abbildung 3).

Im Gewässersystem der Großen Röder unterhalb der Speicher Radeburg I und II treten im Hochwasserfall großflächige Überschwemmungen auf. Dies ist vor allem auf die sehr flache Topografie des Untersuchungsgebietes zurückzuführen. Das gesamte, stark verzweigte Gewässersystem hat eine Fließlänge von über 300 km und ein Einzugsgebiet von ca. 900 km².

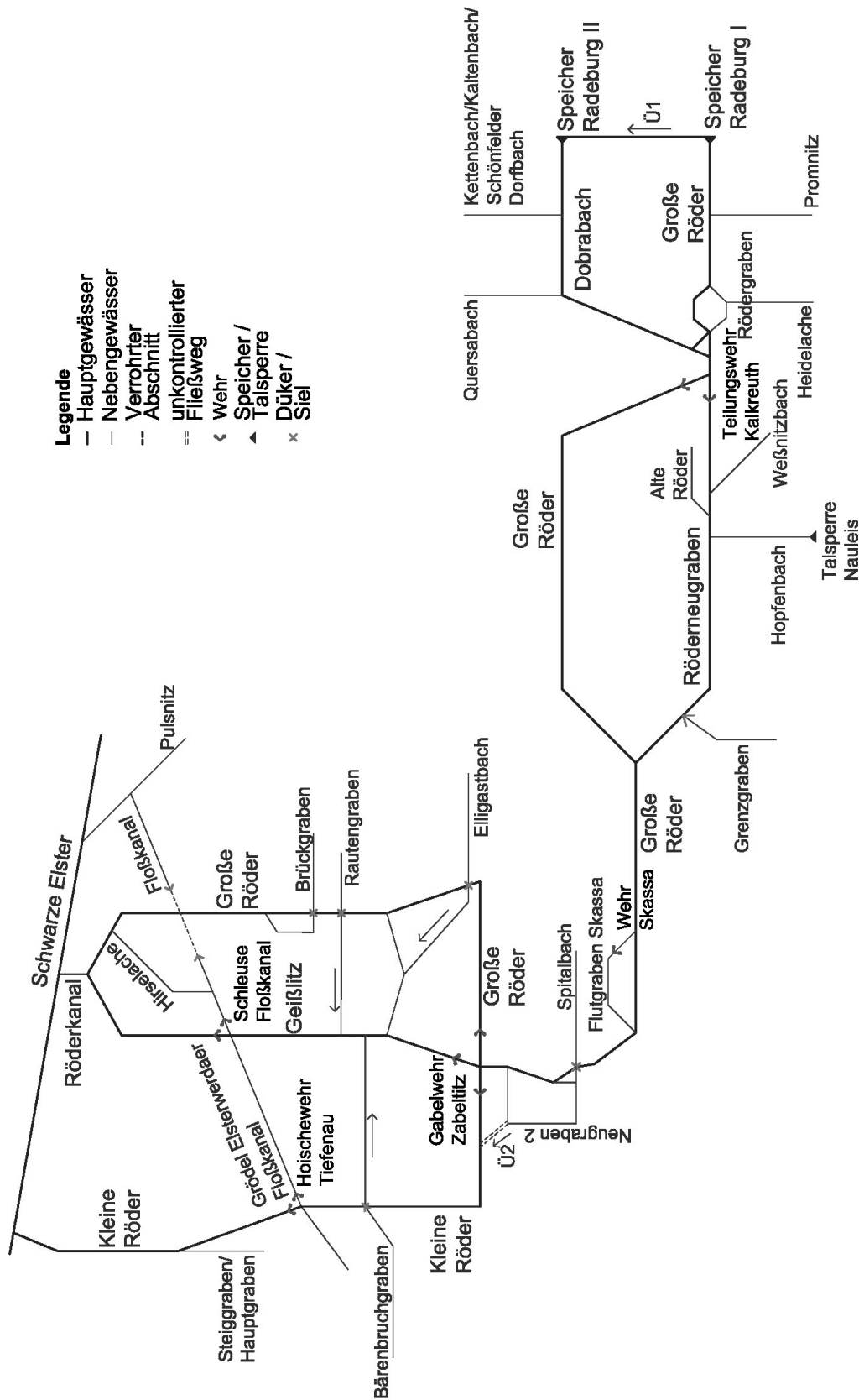


Abbildung 3: Schematische Darstellung des Gewässersystems der Großen Röder unterhalb der Speicher Radeburg I und II (Quelle: KSi, 2014; verändert)

Aufgrund der Komplexität und der großflächigen Überschwemmungen im Hochwasserfall wurde bereits für das *HWSK* (2004) ein gekoppeltes numerisches Strömungsmodell (1D /2D) angewendet.

4.2 Methodische Ansätze bei der Kartenerstellung im Rödergebiet

Analog der Vorgehensweise in *LTV* (2013) wurden zunächst die bestehenden Datengrundlagen gesichtet und analysiert. Bereits bei den Hochwassern 2010 und 2011 wurde festgestellt, dass die tatsächlich überfluteten Flächen im erheblichen Widerspruch zu vergleichbaren Berechnungsergebnissen des *HWSK* (2004) stehen. Als ursächlich für die Differenzen wurden das numerische Strömungsmodell und die Instationarität der Ereignisse identifiziert. Aufgrund der flachen Geländetopografie führten die ungenaue Modellierung und der verwendete stationäre Ansatz zu extrem großen Überflutungsflächen sowie auch abweichenden Fließwegen. Daher wurde entschieden, sowohl ein neues Niederschlags-Abfluss-Modell als auch ein neues zweidimensionales numerisches Strömungsmodell für instationäre, gekoppelte Simulationen aufzubauen.

Das neue zweidimensionale numerische Strömungsmodell des Gewässersystems der Großen Röder unterhalb der Speicher Radeburg I und II bildet eine Fließlänge von ca. 122 km ab. Grundlage für die Modellerstellung ist ein DGM unter Berücksichtigung der hydraulisch relevanten Bruchkanten, das zur Berechnung realitätsnaher Überflutungsflächen und Fließwege beitragen soll.

Die Qualitätssicherung der verwendeten Modelle erfolgte zweistufig. Nach dem Modellaufbau sowie den entsprechenden Kalibrierungsrechnungen wurden die Modelle durch die *LTV* fachtechnisch geprüft. Die Plausibilitätskontrollen der Datengrundlagen und der Berechnungsergebnisse inklusive der sich ergebenden Überflutungsflächen erfolgte im PBAK.

4.3 Methodische Ansätze bei der Einbeziehung der Öffentlichkeit im Rödergebiet

Die Modellerstellung und die Überprüfung der Hochwasserschutzmaßnahmen aus dem *HWSK* (2004) erfolgten unter Beteiligung eines PBAK. Folgende allgemeine Grundsätze sind im Rückblick für das erfolgreiche Wirken eines PBAK wichtig:

- gemeinsame Zieldefinition und allgemein verständliches Vortragen, Diskutieren und Argumentieren aller Beteiligten,
- verbindliche Verfahrensweise zur Berücksichtigung von Daten bzw. Informationen sowie
- gemeinsames zielgerichtetes Arbeiten und fokussieren auf die wesentlichen Fragestellungen

mit dem Ziel, eine fachliche fundierte Arbeitsgrundlage zu erhalten, mit der alle Beteiligten aus fachlicher Sicht einverstanden sind.

Wesentliche Erfahrungen des PBAK Röder waren, dass es zunächst wichtig ist, Begrifflichkeiten zu klären sowie Grenzen und Möglichkeiten der Modelle zu benennen und somit eine Gesprächsbasis herzustellen. Beispielhaft für Begriffsklärungen ist die Unterscheidung in abgelaufene reale Hochwasserereignisse und Hochwasserabflüsse (HQ) bestimmter Wiederkehrintervalle (T).

Die Datengrundlage insbesondere im Hinblick auf Hochwassermarkierungen, Fließwege im Hochwasserfall sowie Überflutungsflächen bei abgelaufenen Hochwasserereignissen und die Anlagensteuerung Dritter konnte wesentlich verbessert werden. Für die Nachnutzung der hydrologischen Daten wurde beispielsweise die Diskretisierung der Ergebnisausgabe des Niederschlag-Abfluss-Modells gemeinsam festgelegt. Zu der transparenten Arbeitsweise im PBAK gehörte zudem, Schwachstellen der Modelle zu benennen und über die Berücksichtigung dieser bei wasserwirtschaftlichen Fragestellung zu diskutieren.

4.4 Vor- und Nachteile der verwendeten Methoden

Aus den Erfahrungen der durchgeführten PBAK können folgende Vorteile abgeleitet werden:

- hohe Transparenz und folglich deutlich bessere Akzeptanz der Ergebnisse,
- deutliche Verbesserung der Datengrundlage, höhere Qualität der Ergebnisse und erheblich verbessertes Verständnis der hydraulischen Prozesse sowie
- im Ergebnis eine gemeinsame, von allen akzeptierte und fachlich fundierte, plausible Handlungsgrundlage für wasserwirtschaftliche Entscheidungen im Bearbeitungsgebiet und als Grundlage für das Hochwasserrisikomanagement.

Zu den Nachteilen gehören:

- personeller, zeitlicher und folglich finanzieller Mehraufwand (Beratungen und entsprechende Ergebnisaufbereitung, Diskussionen, Prüfung zusätzlicher Hinweise und Daten usw.),
- hohes Maß an Sachkenntnis, Toleranz und Disziplin der Beteiligten erforderlich, um zielgerichtetes Arbeiten zu ermöglichen und Konsens herbeizuführen.

5 Resümee

Im zweiten Zyklus der *EG-HWRM-RL* (2007) in Sachsen müssen für ca. 580 Ortslagen die Hochwasserkarten überarbeitet werden. Die vorgestellte Methodik der Kartenerstellung ist in Sachsen für die Fließgewässer I. Ordnung und die Bundeswasserstraße Elbe verbindlich vorgeschrieben und hat sich bewährt. Die Einrichtung eines PBAK ist besonders sinnvoll, wenn komplizierte Strömungsverhältnisse bzw. ungenügende Informationen zu abgelaufenen Hochwasserereignissen vorliegen. Am Beispiel des Gewässersystems der Großen Röder unterhalb der Speicher Radeburg I und II wurde gezeigt, dass die verwendeten Methoden zur Qualitätssicherung und das Wirken eines PBAK mit dem entsprechenden zusätzlichen personellen, zeitlichen und finanziellen Aufwand insbesondere für ein komplexes Fließgewässer sinnvoll und nachhaltig sind.

6 Literatur

- EG-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.
- HWSK (2004): Hochwasserschutzkonzeption rechtselbischer Fließgewässer I. Ordnung, Los 3.1 – Große Röder. Björnson Beratende Ingenieure Erfurt GmbH, Erfurt 2004.
- KSi (2014): 2D-Wasserspiegellagenberechnung im Rödergebiet, unterhalb der Speicher Radeburg I und II bis zur Mündung in die Schwarze Elster. Koban + Schuckert Ingenieurpartnerschaft, Dresden 2014 im Auftrag der LTV Sachsen.
- LTV (2013): Aufgabenstellung für die Aufstellung / Aktualisierung von Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten, Gefahr durch Überschwemmung. Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen, Fassung vom 16.12.2013. Pirna 2013.
- SächsWG (2013): Sächsisches Wassergesetz vom 12. Juli 2013, Fassung vom 05. Mai 2015, rechtsbereinigt mit Stand vom 09. Mai 2015.

Autoren:

Dipl.-Ing. Thomas Kopp

Landestalsperrenverwaltung des
Freistaates Sachsen
Zentrale
Bahnhofstraße 14
01796 Pirna

Tel.: +49 3051 796 444
Fax: +49 3051 796 105
E-Mail: thomas.kopp@ltv.sachsen.de

Dipl.-Geol. Birgit Lange

Landestalsperrenverwaltung des
Freistaates Sachsen
Betrieb Oberes Elbtal
Am Viertelacker 14
01259 Dresden

Tel.: +49 351 40288 101
Fax: +49 351 40288 190
E-Mail: birgit.lange@ltv.sachsen.de

Echtzeitnahes Monitoring risikobehafteter Bauwerke in der Wasserwirtschaft

Christian Malewski
Sebastian Kollar
Christian Förster
Karl-Heinz Spies

In diesem Beitrag stellen wir¹ unser Konzept für ein modulares Messinformationssystem vor. Dieses System ermöglicht es, operative Entscheidungshilfen für Talsperren als risikobehaftete Geoobjekte bereitzustellen und diese somit zuverlässig zu überwachen. Neben räumlichen Informationen sind die Anzeige, der Austausch und die Integration zeitlicher Messdaten ein Schwerpunkt in der Naturgefahrenüberwachung. Unser Konzept zielt darüber hinaus auf eine hohe Übertragbarkeit ab, indem es sich in großem Maße auf offene Geostandards stützt. Anwendung findet das System im Monitoring des Talsperrensystems Bever-Block² im geförderten Forschungsvorhaben TaMIS³.

Stichworte: OGC, SensorWeb, Security, Talsperrenüberwachung, Monitoring

1 Herausforderung für die Überwachung von Talsperren

Talsperren sind Teil einer risikobehafteten Landschaft, welche sich durch klimatische Veränderungen und menschliche Einflüsse dauerhaft ändert. Talsperren unterliegen einem direkten Einfluss unterschiedlicher Natureinwirkungen z. B. Hangrutschungen, welche kaskadierende Effekte auslösen können. Daher wird ihnen ein erhebliches Gefahrenpotential zugesprochen. Es besteht die signifikante Gefahr für sehr große Schäden im Umfeld. Dieser Aspekt ist in der DIN 19700 - 2004 berücksichtigt. Hier ist neben einer ausreichenden Dimensionierung der Anlage das Management des Restrisikos explizit gefordert. Hierfür konzeptionalisieren wir ein Talsperrenmess- und Informationssystem (TaMIS).

¹ Als sondergesetzlicher Wasserverband ist der Wupperverband für die Wassermengenwirtschaft und die Gewässergüte im Einzugsgebiet der Wupper verantwortlich. Der Verband betreibt zwölf Talsperren, elf Klärwerke, eine Schlammverbrennungsanlage und weitere Anlagen.

² http://www.wuppverband.de/internet/web.nsf/id/pa_de_bever-talsperre.html

³ <http://tamis.kn.e-technik.tu-dortmund.de/>

Dieses wird im gleichnamigen Forschungsvorhaben realisiert und im Wupperverband eingesetzt.

Die Gefahren für das Versagen von Staudämmen lassen sich unter anderen in die Kategorien unkontrollierter Überlauf, erhöhtes unkontrolliertes Sickerwasseraufkommen und Deformationen einteilen. Für ein umfassendes Risiko-Management bei Staudämmen sind Maßnahmen relevant, welche die Erfassung von Daten aus verschiedenen Bereichen einbeziehen. Üblicherweise werden solche Daten unabhängig voneinander gesammelt. Alle Daten besitzen ihre eigenen zeitlichen, räumlichen und kontextbasierten Anforderungen. Die Form der Datenaufnahme unterscheidet sich normalerweise von Fall zu Fall und kann automatisiert, semi-automatisiert oder manuell erfolgen.

Die zentrale Herausforderung besteht darin, vielparametrisierte Datensätze mit bodenbasierten Sensoren in einer großflächigen Umgebung des Bauwerks zu sammeln. Diese müssen quantitativ miteinander kombiniert und mit Systemen zur Prozessierung, Alarmierung und Visualisierung verbunden werden, um ein Maximum an Informationen für die Überwachung des Bauwerks zu erhalten. Für diese Datenkombination und deren Interoperabilität sind offene Standards von großem Nutzen.

2 Offene Geostandards

Das Open Geospatial Consortium (OGC) ist eine internationale, gemeinnützige Organisation. Ihre Mitglieder haben eine Reihe offener und standardisierter Datenformate und Schnittstellen für die Datenkombination entwickelt. Für unseren Anwendungsfall sind mehrere Standards relevant.

Die Auszeichnungssprache Observations & Measurements (O&M) (Cox, 2006) beschreibt automatische und manuelle Messungen und verfügt über ein hydrologisches Profil WaterML 2.0 (Taylor, 2012). Als Webdienst-Schnittstelle findet der Sensor Observation Service (SOS) (Na & Priest, 2007) Anwendung. Ein SOS-Dienst stellt den standardisierten Zugriff auf Messungen im O&M-Modell bereit. Folgende Anfrage an einen SOS-Dienst liefert beispielsweise die Abflussdaten an der Messstation *Reinshagensbever* im Zeitintervall von Oktober bis Dezember 2015:

```
http://www.fluggs.de/sos2/sos?service=SOS&version=2.0.0&request=GetObservation&responseformat=http://www.opengis.net/om/2.0&observedProperty=Abfluss&procedure=Einzelwert&featureOfInterest=Reinshagensbever&namespaces=xmlns%28om%2Chttp%3A%2F%2Fwww.opengis.net%2Fom%2F2.0%29&temporalFilter=om%3AphenomenonTime%2C2015-10-01T00:00:00.000Z%2F2015-12-31T23:59:59.999Z
```

Des Weiteren evaluieren wir den Einsatz der im OGC diskutierten Schnittstelle Sensor Event Service (SES) (*Echterhoff & Everding, 2008*). Ein SES-Dienst adressiert die Registrierung von und Benachrichtigung über definierte Ereignisse. Die oben genannten Standards werden unter dem Stichwort Sensor Web Enablement (SWE) (*Bröring et al., 2011*) zusammengefasst.

Weitere OGC Standards sind der populäre Web Map Service (WMS) sowie der Web Feature Service (WFS). Ein WMS-Dienst bietet die Funktionalität zum standardisierten Abruf bildbasierter Landkartenauszüge über das World Wide Web. Ein WFS-Dienst liefert demgegenüber standardisiert Definitionen über Geobjekte.

Auf Basis dieser Standards wurde das Sensor Web im Wupperverband aufgebaut, um einen einheitlichen und schnellen Zugriff auf Messdaten aus verschiedenen Fachbereichen zu ermöglichen (*Heier & Spies, 2009*), (*Spies & Heier, 2011*). Zur weitergehenden Analyse heterogener raumbezogener Daten wurde der Web Processing Service-Standard (WPS) entwickelt (*Schut, 2007*) und praktische Einsatzmöglichkeiten umfangreich erprobt (*Heier et al., 2006*), (*Schäffler, 2010*). Derartige Geoprocessing-Systeme stellen Algorithmen zur Verarbeitung raum-zeitlicher Datensätze bereit (*Zhao et al., 2012*). Über die WPS-Schnittstelle werden in unserem Konzept Fachmodelle berechnet und weitergehende statistische Analysen ermöglicht.

Eine auf SWE aufbauende Geodateninfrastruktur ist in der Lage, Informationen aus heterogenen Quellen zu verarbeiten (*Bröring et al., 2011*). Diese Technologie gilt als zuverlässig, was durch verschiedene wissenschaftliche Studien untermauert ist. *Jirka et al. (2009)* haben gezeigt, wie SWE Komponenten in Feuer-, Luftverschmutzungs- und Feuersituationen verwendet werden können. Die Anwendung von Sensor Web zum Schutz vor Überflutungen wurde bereits von *Spies & Heier (2008)* durchgeführt.

3 Das Talsperrenmess- und -informationssystem

Das TaMIS-System stellt Entscheidungshilfen für das Sicherheitsmanagement von Talsperren als risikobehaftete Bauwerke durch die Vorhersage kaskadierender Effekte in deren Umfeld bereit. Das System adressiert hierbei die drei Aufgaben Alarmierung bei Grenzwertüberschreitung, räumliche und zeitliche Analysen sowie die Datenvisualisierung.

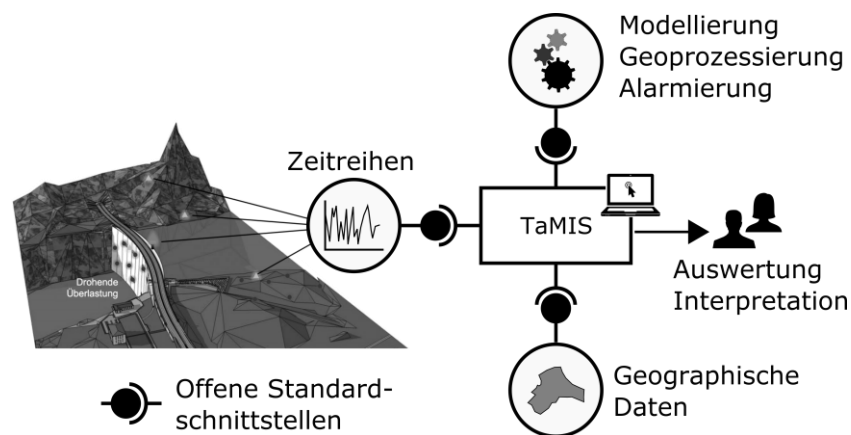


Abbildung 1: Komponenteneinheiten für das TaMIS System

Diese Herausforderungen werden mit der in Abbildung 1 gezeigten Systemarchitektur für das notwendige Sensor- und Mess-Subsystem des TaMIS-Projekts gelöst. Das System besteht aus den Komponenteneinheiten für Zeitreihen, Geoprozessierung, Geobasisdaten und der Kontrollcenterkomponente, welche durch offene Standardschnittstellen miteinander kommunizieren. Letztere ist der Zugriffspunkt für den Nutzer zur Interpretation und Interaktion. Im Folgenden werden die oben genannten Komponenteneinheiten detailliert vorgestellt.

3.1 Die TaMIS Zeitreihenkomponente

Das Untersuchungsgebiet ist mit einem dichten Sensornetz bestückt (Abbildung 2). Das Dammbauwerk selbst ist in die sechs Messebenen A-F unterteilt, welche senkrecht zum Dammbauwerk mit Piezometern ausgestattet sind (Abbildung 3). Innerhalb dieses Sensornetzes werden Messungen automatisch (z. B. Wetterparameter, Sickerwasser, Wasserstand) und manuell (z. B. Piezometer) generiert. Die Messungen werden von unterschiedlichen Fachabteilungen betreut, dort in proprietäre Fachanwendungen eingespeist, geprüft, prozessiert und zum Import in eine harmonisierte Datenbank freigegeben. Die harmonisierten Daten stehen dann über die SOS Schnittstelle⁴ zum Abruf bereit. Der andere Teil wird zunächst als Rohdaten in die Datenbank geladen und dem TaMIS System unmittelbar zur Verfügung gestellt.

Obwohl individuelle Messungen für einzelne Messpunkte nach heutigem Stand der Technik sehr genau sind, können daraus nach wie vor keine allgemeinen Rückschlüsse oder kaskadierenden Einflussfaktoren bestimmt werden.

⁴ <http://fluggs.wupperverband.de/sos2/sos?REQUEST=GetCapabilities&Service=SOS>

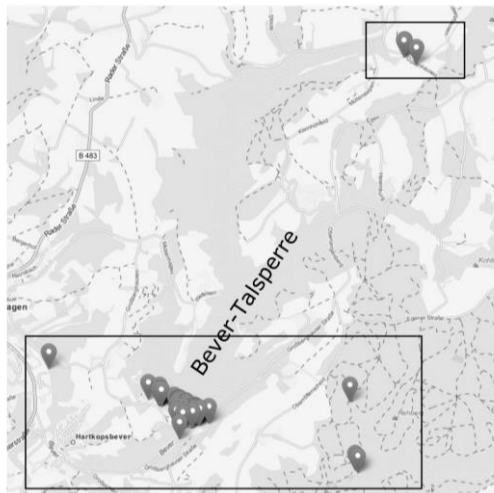


Abbildung 2: Sensormessnetz im Untersuchungsgebiet

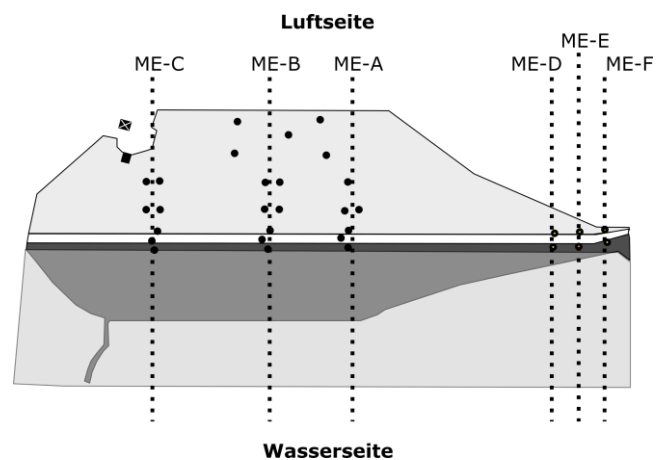


Abbildung 3: Messquerschnitte am Dammbauwerk

Die Überwachung beruht auf der Beobachtung verschiedener Systemparameter, die direkt oder indirekt für die Detektion kritischer Ereignisse relevant sind. Die kontinuierliche Sammlung realer Messdaten ist deshalb die Grundlage für das Risikomanagement in unserem konzipierten System.

Daher werden zusätzliche Sensoren ausgebracht: automatische Piezometer, welche drahtlos kontinuierliche Wasserstandsmessungen im Damm liefern, ergänzen die manuellen Messungen. Für die flächenhafte Bestimmung der Bodenfeuchte an der Luftseite des Dammbauwerks wird zusätzlich eine innovative Sensortechnologie erprobt, welche basierend auf Richtfunkcharakteristiken auf den Wassergehalt im Boden schließen kann (Abbildung 4).

Neben den Boden- und Wettereigenschaften wird die langzeitliche Deformation des Bauwerks mittels satellitengestützter Differenzieller Globaler Positionierungssystem-Technik überwacht.

Nicht nur das Format, sondern auch der Prozess der Messdatenbereitstellung dieser Messtechniken ist heterogen. Während die zeitliche Differenz von der Erhebung bis zum Erscheinen der gemessenen Werte der neu ausgebrachten Sensoren klein ist, werden die Ergebnisse aus dem bereits vorhandenen Messsystem zunächst in Fachanwendungen der verschiedenen Fachbereiche integriert, dort eine Qualitätskontrolle unterzogen und dann frei gegeben.

Die Messungen werden in die bestehende Geoinformationsinfrastruktur integriert und sind somit ebenfalls über die SOS Schnittstelle abrufbar.

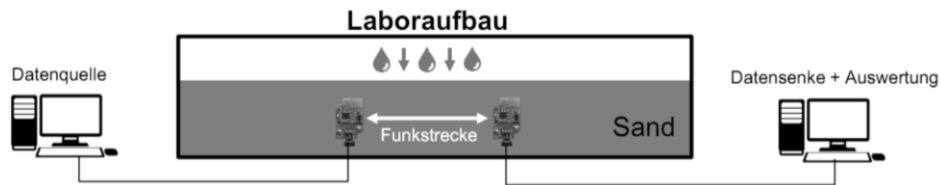


Abbildung 4: Die Sensortechnologie schließt aus Richtfunkcharakteristiken auf den Bodenwassergehalt

3.2 Die TaMIS Geoprozessierungskomponente

Innerhalb der Geoprozessierungskomponente sind mehrere Webdienste als Module realisiert, welche vom Nutzer aus einer Webanwendung angestoßen werden können (siehe 3.4.). Sie prozessieren die erhobenen Daten aus der Zeitreihenkomponente und stellen die Ergebnisse für die Visualisierung und Interpretation bereit.

Die Webdienste bieten hierbei verschiedene Funktionalitäten an. Es werden beispielsweise Simulations-Algorithmen und Modelle z. B. TALSIM (*Ostrowski & Lohr, 2002*) für kurzfristige hydrologische Prognosen bereitgestellt. Zudem werden über diesen Weg Funktionalitäten für Zeitreihenanalysen und räumliche Aggregation als geostatistische Verfahren zur Verfügung gestellt.

Die Webdienste werden die offene Schnittstelle WPS implementieren. Zudem wird für die Datenein- und -ausgabe das O&M-Modell unterstützt. Hierdurch ist eine nachhaltige und erweiterbare Verwendung von Algorithmen und Komponenten möglich.

3.3 Die TaMIS Komponente für geographische Daten

Geographische Basisdaten sind Grundlage für das System, da sie die erhobenen und prozessierten Messdaten in einen räumlichen Kontext stellen und so die Interpretation erleichtern. In dieser Komponente werden geographische Basisdaten zunächst für vier Anwendungsarten zur Verfügung gestellt: interaktive 2D-Webkarten, statische 2D-Draufsichten, statische 2D-Querschnittsansichten und interaktive 3D-Geoobjekte.

Für die 2D-Webkartenansicht werden WM(T)S-Dienste eingebunden. Der Austausch von Landkartenausschnitten mittels dieser Schnittstellen ist der am häufigsten realisierte Geostandard und nicht mehr aus Webkartenanwendungen wegzudenken.

Für die statische 2D-Draufsicht (s. Abbildung 5) werden georeferenzierte Kartenausschnitte über einen Webdienst bereitgestellt. Durch ihre Georeferenz können Messungen in der Integrationskomponente automatisch mit dem Kartenausschnitt kombiniert werden.

Die 2D-Querschnittsansicht zeigt im vorliegenden Fall einen Querschnitt der Messebenen A-F (Abbildung 3). Die Querschnittsgrafik ist ähnlich wie im obigen Fall georeferenziert um die Messpunkte automatisch hinzufügen lassen zu können.

Die 3D-Ansicht, bietet die Möglichkeit, das Bauwerk mit seiner Peripherie zu betrachten und Höheninformationen interaktiv darzustellen. Hierfür befinden sich derzeit Standardkandidaten (3D Portrayal Standard⁵) in Diskussion.

3.4 Die TaMIS Komponente Kontrollcenter

Das TaMIS-Kontrollcenter wird als Webanwendung realisiert. Es ist durch seine Single-Site-Architektur modular, konfigurierbar und erweiterbar. Das TaMIS-Kontrollcenter wird aus einer Sammlung von Informationsmodulen (Widgets) zusammengesetzt. Diese sind auf das Monitoring von Talsperren zugeschnitten und können bei Bedarf durch weitere ergänzt werden. Das JavaScript Framework AngularJS⁶ für die Entwicklung modularer Single-Site-Webanwendungen hat jüngst an Popularität gewonnen und bietet externe Bibliotheken für die Einbindung und Visualisierung geographischer und zeitlicher Daten an. Zudem ist eine Sicherheitskomponente eingebaut. Die Widgets können in TaMIS zu umschaltbaren Kontrollsichten (Dashboards) zusammengeführt werden, um so für einen Anwendungsfall zugeschnittene Informationen auf einen Blick zu haben. Je nach Widgettyp werden unterschiedliche Standardschnittstellen angesprochen. Abbildung 5 zeigt eine solche Kontrollsicht für das Monitoring der Bever-Talsperre. Es sind vier Widgettypen zusammengestellt: Die Talsperrendraufsicht kommuniziert mit der WMS und SOS Schnittstelle. Das Messdetails-Widget, die Messwertenzusammenstellung sowie zwei Instanzen des Ganglinien-Widgets integrieren die SOS-Schnittstelle. Die Widgets können miteinander verknüpft werden, sodass in dem Messdetail-Widget oder dem Ganglinien-Widget Informationen gezeigt werden, die zu dem ausgewählten Sensor im Draufsicht-Widget passen.

Für die Interaktion mit den WPS-Diensten werden ebenfalls Widgets entwickelt, die auf Basis eines ausgewählten Datensatzes Vorhersagen zu festgelegten Phänomenen treffen. Ein Beispiel ist die Vorhersage des Wasserpegels um den Talsperrenabfluss zu regeln. Die Ergebnisse der Geoprozessierung werden im Kontrollcenter zur Verfügung gestellt.

⁵ <http://www.opengeospatial.org/standards/requests/130>

⁶ <https://angularjs.org/>

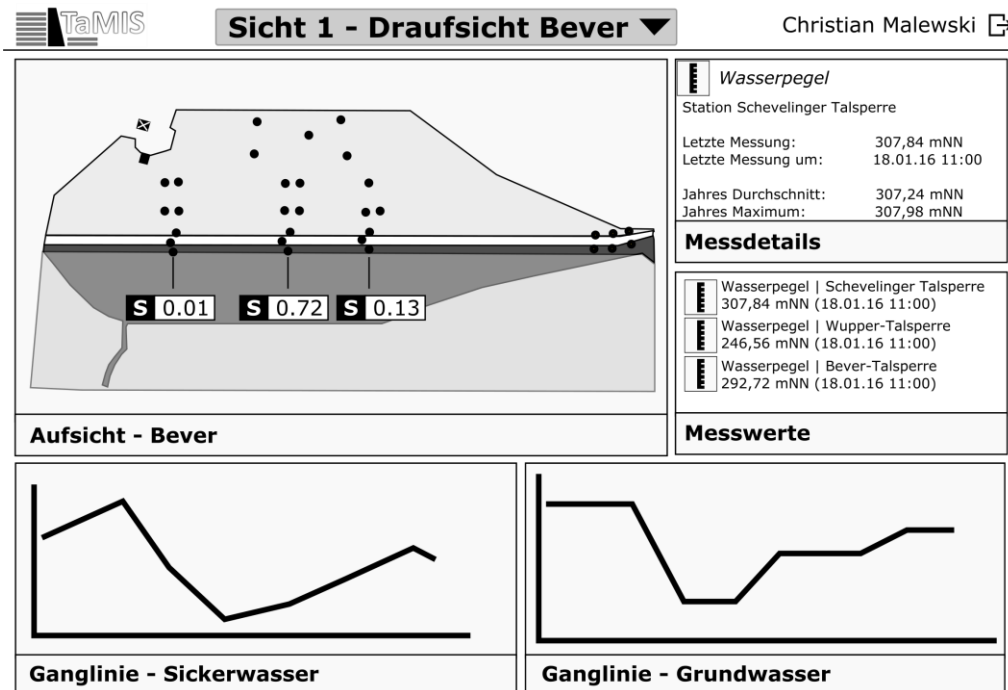


Abbildung 5: Beispiel für die Komposition von Widgets zu einer Kontrollansicht

Um dem Anspruch der guten Übertragbarkeit gerecht zu werden, werden offene Standards genutzt. Diese sind zwar interoperabel, müssen deshalb aber einen nicht unerheblichen Performanznachteil in Kauf nehmen. Diesem Performanznachteil begegnen wir mit einer intelligenten Zwischenschicht welche über die Timeseries API⁷ steuerbar ist und die Standardschnittstellen SWE und WPS kapselt und somit vereinfacht. Die Benutzeroberfläche des Kontrollcenters wird im Wupperverband erprobt und zusammen mit den späteren Nutzern entwickelt.

4 Fazit und Ausblick

Diese Arbeit stellt unser Konzept für ein modulares Messinformationssystem für Talsperren vor. Dieses Messsystem besteht aus einer Reihe von Anwendungs- und Webdienstmodulen, welche in den Komponenteneinheiten Zeitreihenbereitstellung, Geoprocessing, Geobasisdatenbereitstellung sowie das TaMIS Kontrollcenter zusammengefasst sind. Das Konzept ermöglicht ein konfigurierbares Risikomanagement-System. Dabei wird im betrachteten Fall der Wassergehalt im Boden und im Absperrbauwerk bestimmt. Dies kann aufgrund der Bewegun-

⁷ <http://sensorweb.demo.52north.org/sensorwebclient-webapp-stable/api-doc/>

gen des Wassers eine Hilfe für die Lokalisierung von Sickerwasserstellen sein, wodurch mögliche Schäden am Damm frühzeitig vermieden werden können.

Mit Blick auf das Zeitintervall zwischen Datenaufnahme des Sensors und Datenverfügbarkeit im System muss ein Kompromiss eingegangen werden. Zwar ist es technisch möglich, die Rohdaten der neu ausgebrachten Sensoren im System zu visualisieren, allerdings sind die Daten nicht so verlässlich, wie solche, die durch die Fachabteilungen geprüft und freigegeben werden. In zukünftigen Entwicklungen muss deshalb die Unterstützung dieser Prüfprozesse untersucht werden. Gleichzeitig können die Vorhersagemodelle evaluiert und hinsichtlich ihrer Vorhersagespanne verbessert werden.

Bei der Konzeption des Systems und der Verknüpfung der Module kommen in erster Linie offene Geostandards zum Einsatz um die Übertragbarkeit des Systems zu gewährleisten. Hierdurch wird der Weg hinsichtlich einer Plug & Play Integration des Systems geebnet. Das TaMIS-System kann mit wenig Aufwand in solche Infrastrukturen eingepasst werden, mit welchen ähnliche Überwachungsaufträge erfüllt werden sollen. Voraussetzung hierfür ist, dass die bestehende Infrastruktur offenen Standards folgt und Geobasisdaten und Zeitreihen mittels OGC Schnittstellen bereitstellt. Die Anwendungsmodule sind austauschbar und ergänzbar. Das Kontrollcenter ist daher auf einen abgewandelten Anwendungsfall anpassbar.

5 Danksagung

Diese Arbeit wurde gefördert durch das BMBF im Sonderprogramm “Geotechnologien” unter der Kennung 03G0854B.

6 Literatur

- Bröring, A., J. Echterhoff, S. Jirka, I. Simonis, T. Everding, C. Stasch, S. Liang & R. Lemmens (2011): New generation sensor web enablement. *Sensors*, 11(3), 2652-2699.
- Cox, S. (2006). Observations and measurements. Open Geospatial Consortium Best Practices Document. Open Geospatial Consortium.
- Echterhoff, J., & T. Everding (2008). OpenGIS Sensor Event Service Interface Specification (pp. 08-133). Technical Report.
- Heier, C. & K.-H. Spies (2009): Einsatz der OGC Sensor Web Standards in der Wasserwirtschaft. In: *KW - Korrespondenz Wasserwirtschaft* 07/2009: S. 369-373.

- Heier, C., C. Kiehle & K. Greve (2006): Standardized Geoprocessing - Taking Spatial Data Infrastructures one step further. In: Proceedings of the 9th AGILE International Conference on Geographic Information Science, Visegrad, Hungary, pp. 273-282.
- Jirka, S., A.H. Broering & C. Stasch (2009): Applying OGC Sensor Web Enablement to Risk Monitoring and Disaster Management. GSDI 11 World Conference, Rotterdam, Netherlands.
- Na, A. & M. Priest (2007). Sensor observation service. Implementation Standard OGC.
- Schäffler, U., D. Moraru, C. Heier, K.-H. Spies & M. Schilcher (2010): Interpolation of precipitation sensor measurements using OGC Services. In: Greve, K. & Cremers, A. B. (Eds): EnviroInfo 2010. Integration of Environmental Information in Europe. Proceedings of the 24th International Conference on Informatics for Environmental Protection Cologne/Bonn, Germany. Aachen: Shaker Verlag, pp. 549-555.
- Schut, P., (2007): OpenGIS Web Processing Service, OGC 05-007r7, Online verfügbar: http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=24151, letzter Aufruf 11.01.2016
- Spies, K.-H. & C. Heier (2008): OGC Sensor Web in der Praxis - Bereitstellung von Sensordaten in Geodateninfrastrukturen und personalisierter Hochwasserwarndienst. Proceedings 20. AGIT-Symposium Salzburg, July 2-4 2008, Salzburg, Austria, S. 721-725. Heidelberg: Wichmann
- Spies, K.-H. & C. Heier (2011): Sensor Web in der wasserwirtschaftlichen Praxis. In: gis.BUSINESS 7/2011: S. 54.
- Taylor, P. (2012): OGC WaterML 2.0: Part 1-Timeseries. Open Geospatial Consortium Implementation Standard, OGC 10-126r3, 149pp.
- Ostrowski, M., & H. Lohr (2002): Modellgestützte Bewirtschaftung von Talsperrensystemen. Wasser und Abfall, 4(1-3), 40-45.
- Zhao, P., T. Förster and P. Yue (2012): The geoprocessing web. Computers & Geosciences, 47, 3-12.

Autoren:

M.Sc.-Geoinf. Christian Malewski
Dipl. Ing. Sebastian Kollar
Dipl.-Geogr. Christian Förster
Dipl. Ing. Karl-Heinz Spies

Wupperverband
Untere Lichtenplatzer Straße 100
42289 Wuppertal

Tel.: +49 202 583 316
E-Mail: cmi@wupperverband.de
skol@wupperverband.de
cfr@wupperverband.de
sps@wupperverband.de

Gewässerstrukturkartierung aus der Luft – Ersterfassung und Prozessevaluierung mit Hilfe hochaufgelöster topobathymetrischer Vermessungsdaten, Luftbildern, Spektral- und Thermaldaten

Frank Steinbacher
Angelika Otto
Tobias Stadler

Bei der Gewässerstrukturkartierung stellt die Begehung nach dem Vor-Ort-Verfahren noch den Stand der Technik dar. Die luftgestützte Datenerhebung und -auswertung von hochaufgelösten, räumlichen Daten spielt eine immer größere Rolle. Gerade Spektral- und Luftbilddaten stellen hierfür die wesentliche Datengrundlage aus der Fernerkundung dar. Jedoch zeigen Studien, dass die fehlende spektrale und räumliche Auflösung von klassischen Luft- und Satellitenbildern der dominant limitierende Faktor für Anwendungen im Feuchtgebietsvegetationsbereich sind.

Eine neue technische Entwicklung zur kombinierten geometrischen Vermessung von Land- und Wasserstrukturen (topobathymetrisches Laserscanning / Hydro-mapping) eröffnet bei der Gewässerstrukturkartierung nun auch neue Möglichkeiten. Nicht nur die detailgetreue und hochaufgelöste Erfassung der Gewässersohle sollte zukünftig im Vordergrund stehen, sondern auch die Datenerhebung für die anstehenden Aufgaben der Gewässerstrukturkartierung im Zuge der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie. Mit Hilfe von hochaufgelösten, topo-bathymetrischen Datensätzen in Verbindung mit RGB-, Spektral- und Thermaldaten aus niedrigen Flughöhen (RGB GSD~5cm, Thermal- und Spektraldaten ~20cm GSD) werden nun Herangehensweisen entwickelt, die neben der Kartierung auch eine verbesserte Biomasseermittlung ermöglichen. Ziel der laufenden Untersuchungen von hochaufgelösten Datenkombinationen aus RGB-, Thermal-, Hyperspektral- und topo-bathymetrischen Laserscandaten ist es neue Automatismen und vor allem höhere Genauigkeiten und Klassifikationsmerkmale zu erfassen.

1 Anlass

Informationen über die Struktur unserer Gewässer sind unverzichtbare fachliche Grundlagen für hydromorphologische Planungen am Gewässer gemäß EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL). Zur standardisierten Erfassung der strukturel-

len Eigenschaften, der Wechselwirkungen und der dynamischen Veränderungen für jeden einzelnen Abschnitt eines Gewässerlaufes wird die Gewässerstrukturkartierung eingesetzt. Hier stellt die Begehung nach dem Vor-Ort-Verfahren den Stand der Technik dar.

Die luftgestützte Datenerhebung und -auswertung von hochaufgelösten, räumlichen Daten spielt eine immer größere Rolle. Gerade Spektral- und Luftbilddaten stellen hierfür die wesentliche Datengrundlage aus der Fernerkundung dar. Die fehlende spektrale und räumliche Auflösung von klassischen Luft- und Satellitenbildern setzt hier enge Grenzen für die Anwendung im Feuchtgebietsvegetationsbereich.

Eine neue technische Entwicklung zur kombinierten geometrischen Vermessung von Land- und Wasserstrukturen (topobathymetrisches Laserscanning) eröffnet bei der Gewässerstrukturkartierung neue Möglichkeiten.

2 Gewässerstrukturkartierung im Vor-Ort-Verfahren

2.1 Kurzbeschreibung Vor-Ort-Verfahren

Von Verwaltungsorganen der Wasserwirtschaft, wie z. B. dem Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) wurden zur Erfassung und Bewertung der Gewässerstruktur Anleitungen für die Datenerhebung nach dem Vor-Ort-Verfahren erarbeitet. Die Daten werden hierbei durch Auswertung vorhandener Luftbilder und Karten sowie über Geländebegehungen erhoben. Als Ergebnis liefert die Gewässerstrukturkartierung eine Bewertung der Strukturklassen auf unterschiedlichen Ebenen, ausgedrückt durch einen Zahlenwert sowie verbale Beschreibungen zu den 100-m-Abschnitten. Die Daten werden über entsprechende Software mobil in einer Datenbank zur Gewässerstruktur gespeichert und für konkrete Planungszwecke herangezogen. Für die Bearbeitung sind fundierte Erfahrungen im Umgang mit Gewässern und Geographischen Informationssystemen erforderlich.

Die Struktur der Gewässersysteme wird anhand von z. B. 26 Einzelparametern erfasst, von denen in Bayern beispielsweise 21 in die Bewertung eingehen. Fünf Parameter werden lediglich nachrichtlich für Planungszwecke aufgenommen. Das Verfahren zur Datenerhebung ist teilweise von Bundesland zu Bundesland unterschiedlich und bezieht sich im Zuge der weiteren Ausführungen hier nun auf das Vor-Ort-Verfahren in Bayern.

2.2 Datenerhebung Vor-Ort-Verfahren

Vorbereitung im Büro

Vorbereitend werden im Büro alle Hintergrund-Informationen und deren Auswertung auf einem Tablet-PC aufgespielt. Sie bilden die Grundlage für die Geländearbeit.

Im Büro erfolgt auch die Einstufung des potenziell natürlichen Zustandes der Parameter Taltyp, Krümmungstyp, Lauftyp, Sedimenttyp und Gewässerbreite auf Basis der Steckbriefe zu den Fließgewässerlandschaften und von Referenzabschnitten.

Querbauwerke werden im Vor-Ort-Verfahren zunächst in der „Erfassung und Bewertung der flussaufwärtsgerichteten fischbiologischen Durchgängigkeit von Querbauwerken in Fließgewässern (Bayerisches Verfahren)“ aufgenommen und die Ergebnisse werden in die Gewässerstrukturkartierung übernommen.

Der Parameter Laufkrümmung kann durch Auswertung aktueller Luftbilder ebenfalls vor der Geländearbeit im Büro beschrieben werden.

Geländearbeit

Bei der Geländekartierung wird das Gewässer abgegangen und von den Ufern aus die Ausprägung der Parameter erfasst bzw. überprüft. Maßgebend für die Zuordnung ist die am Abschnitt überwiegende Ausprägungsstufe. Alle begehbaren Brücken werden zu einer Bewertung der Gewässersohle genutzt. Bei schlechter Zugänglichkeit von Land aus ist eine Kartierung der Gewässer mit einem Boot notwendig. Für jeden einzelnen Kartierabschnitt wird die Bewertung der Parameter vor Ort in den Tablet-PC eingegeben.

Für die Geländearbeit ist es notwendig, dass der Wasserstand etwas unter dem Mittelwasser liegt und keine üppige Vegetation oder Eis und Schnee die Sohl- bzw. Uferstrukturen verdecken. Bei zu niedrigen Wasserständen kann es bei abflussabhängigen Parametern, wie zum Beispiel dem Strömungsbild oder dem Rückstau zu falschen Einschätzungen kommen. Zu dichter Uferbewuchs behindert die Einschätzung von Uferverbau, Ufererosion und Sonderstrukturen. Zur Kartierung empfohlen werden die Monate November bis April und eine Kartierrichtung vom Oberlauf zur Mündung. Bei einigen Parametern (Sohlverbau, Durchlass/Verrohrung/Brücke, Tiefenvariabilität, Sohlsubstratvielfalt, Kolmation, Sohlsubstrat mineralisch/organisch) können bei hoher Schwebstoffführung, großer Gewässertiefe/-breite, eingeschränkter oder fehlender Sichtbarkeit der Sohle möglicherweise keine Aussagen gemacht werden. Teilweise kann es fachlich ausreichend sein, sich auf die Beurteilung ufernaher Bereiche zu beschrän-

ken, ansonsten muss die Einstufung im Gelände entfallen. Es ist zu prüfen, ob bestehende Daten (Sedimentdatenbanken der Wasserstraßen, Sohlverbaudaten bei Unterhaltungsträgern etc.) vorliegen. Ansonsten ist „nicht erkennbar“ einzutragen.

Jeder Kartierabschnitt ist mit mindestens einem repräsentativen Foto zu dokumentieren (mit GPS-Daten) ebenso wie repräsentative Querbauwerke innerhalb eines Abschnitts.

3 Datenerhebung auf Basis der Befliegungsdaten

3.1 Kurzbeschreibung

Die neue technische Entwicklung zur kombinierten geometrischen Vermessung von Land- und Wasserstrukturen (topobathymetrisches Laserscanning) eröffnet über die detailgetreue und hochauflösende Erfassung der Gewässersohle bei der Gewässerstrukturkartierung neue Möglichkeiten. Mit Hilfe von hochauflösenden topobathymetrischen Datensätze in Verbindung mit RGB-, Spektral- und Thermaldaten aus niedrigen Flughöhen von ca. 500 m (RGB GSD ~5 cm, Thermal- und Spektraldaten ~20 cm GDS) werden Herangehensweisen entwickelt, die neben der Kartierung auch eine verbesserte Biomasseermittlung ermöglichen. Ziel der laufenden Untersuchungen von derart hochauflösenden Datenkombinationen ist es, neue Automatismen und vor allem höhere Genauigkeiten und Klassifikationsmerkmale zu erfassen.



Abbildung 1: Hoch aufgelöstes Luftbild des Wielenbach (Quelle: *Steinbacher Consult*, 2015)

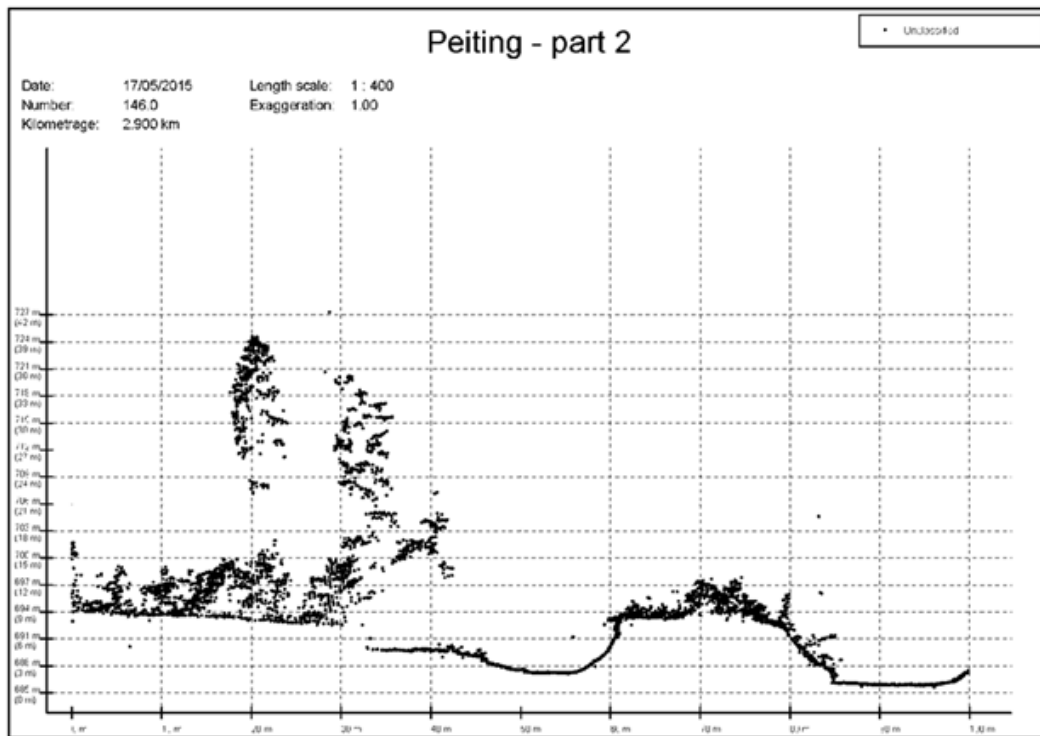


Abbildung 2: Laserscan des Wielenbach bei Peiting (Quelle: *Steinbacher Consult*, 2015)

3.2 Datenerhebung

Die Kartierung der Gewässer soll vollständig anhand luftgestützter Datenerhebung und -auswertung von hochaufgelösten, räumlichen Daten durchgeführt werden. Die bei der Befliegung des Gewässers erhobenen Daten werden in einem Geoinformationssystem (ArcGIS) aufbereitet und entsprechend ihrer Aussagekraft gegenüber den 26 Parametern ausgewertet. Die Erhebung der Parameter erfolgt mit Hilfe der vom LfU zur Verfügung gestellten Kartierungssoftware GSK-Mobil, welche auf dem Programm GISPAD der Firma conterra basiert. Die jeweiligen Parameter werden größtenteils durch Auswahlfelder, in Einzelfällen durch Textfelder mit freier Eingabe erhoben. Nach Abschluss der Parametereingabe für einen Gewässerabschnitt werden automatisch die Gewässerstruktursklasse sowie die untergeordneten Parameter dieses Teilabschnitts berechnet.

4 Erfassung der Parameter im Methodenvergleich

Nachfolgend soll die Methode der Vor-Ort-Erfassung nach der Kartieranleitung des bayerischen Landesamts für Umwelt mit der Datenerhebung durch Befliegung verglichen werden. Die Aussagen basieren auf Erfahrungen, die im Zuge

eines Pilotprojektes „Gewässerstrukturkartierung Wielenbach, Hauserbach und Peitinger Mühlbach“ in Peiting gewonnen wurden.

Als Laufkrümmung wird der aktuelle Verlauf des Gewässerbettes bezeichnet. Der Kartier-Parameter Laufkrümmung wird sowohl im Vor-Ort-Verfahren als auch bei der Befliegungsmethode durch Auswertung aktueller Luftbilder vor der Geländearbeit im Büro erfasst. Die Laufkrümmung ist ein hoch integrierender Indikator, der eine Reihe weiterer Strukturmerkmale des Gewässerbettes zusammenfasst. Anhand von Laufveränderungen kann auch die Naturnähe von Erosions- und Sedimentationsprozessen beurteilt werden.

Als Sohlverbau sind flächenhafte Verbauungen der Gewässersohle zu kartieren. Als Uferverbau gelten alle eingebrachten Materialien und Bauwerke zur Stabilisierung der Ufer gegen Erosion durch fließendes Wasser. Der Uferverbau ist bei Geländebegehungen in der Regel gut zu erfassen. Sohlverbau ist nur bei niedrigen Wasserständen und klarem Wasser eindeutig zu erkennen. Sohl- und Uferverbau sind anhand der aus Laserscandaten errechneten Profilbilder in der Regel zu erkennen. Allerdings kann wie auch im Vor-Ort-Verfahren überhängende Vegetation die Erfassung erschweren.

Als Querbauwerke werden alle quer (oder schräg) zur Fließrichtung verlaufenden Einbauten erfasst, die sich meist über die ganze Breite des Gewässerbettes erstrecken und als Sohlenstufen ausgebildet sind. Wichtig sind hier Angaben über die Fallhöhe, Durchgängigkeit, Vorhandensein von Umgehungsgerinnen. Die Lage der Querbauwerke und Umgehungsgerinne kann aus gewöhnlichen Luftbildern abgelesen werden. Im Gelände müssen Angaben zur Fallhöhe geschätzt und Angaben zur Durchgängigkeit aus der Art der Ausgestaltung abgeleitet werden. Aus den Laserscan-Längsprofilen lassen sich genaue Angaben zur Fallhöhe gewinnen. Aus der morphologischen Ausgestaltung der Sohlenstufen lassen sich Angaben zur Durchgängigkeit über Längsschnitte ableiten.

Bei Verrohrungen, Durchlässen und Brücken ist zu bewerten, ob das Bauwerk den für das jeweilige Gewässer typische Geschiebetransport, den Abfluss oder die biologischen Eigenschaften beeinträchtigt. Vor Ort erfolgt dies durch Sicht-Erfassung und Abschätzung der Öffnungsgrößen sowie Beschreibung der morphologischen Strukturen im, vor und nach dem Durchlass. Die Daten der Befliegungsmethode liefern hier nicht in jedem Fall eindeutige Ergebnisse, da die Durchlassöffnungen abhängig von der Richtung der Aufnahmeerfassung, nicht immer sichtbar sind. Zudem ist die Sohle weder auf Luftbildern noch im Laserscan erkennbar, was eine Bewertung über strukturelle Beeinträchtigung in diesem Bereich verwehrt. Auch ob eine Verengung des Querschnitts vorliegt kann nicht in jedem Fall aus den Befliegungsdaten abgeleitet werden.

Für den Parameter Ausleitungen ist zu erfassen, ob am Fließgewässer Wasser entnommen wird, etwa zum Antrieb von Turbinen oder als Kühlwasser. Im Gelände lassen sich Ausleitungen unterschiedlich gut erkennen. Meist deutet ein angrenzender Fischteich oder eine Turbinenanlage darauf hin. Diese Anlagen sind im hochaufgelösten Luftbild gut zu erkennen und zu bewerten.

Mit dem Parameter Strömungsbild werden die bei mittleren Wasserständen an der Wasseroberfläche erkennbaren Strömungsbilder erfasst. Technisch bedingte Strömungsbilder werden negativ bewertet. Ein naturbedingter Rückstau zum Beispiel durch Talverengungen, Verklausungen, Biberdämme wird nicht gewertet. Im Gelände sind die Strömungsbilder bei Mittelwasser gut abzulesen. Auf Laserscanprofilen- und Luftbildern sind technisch bedingte, veränderte Strömungsbilder nicht zu erkennen. Allerdings können die technischen Bauwerke und Gewässerveränderungen, die zu den Veränderungen des Strömungsbilds führen, erkannt werden und die technisch veränderten Strömungsbilder so abgeleitet werden.

Für den Parameter Querprofile sind die typischen Profiltypen des Gewässerabschnitts zu definieren. Als Profiltiefe wird die mittlere Höhendifferenz zwischen der Böschungsoberkante und dem Sohniveau betrachtet. Die Querprofile sind im Vor-Ort-Verfahren schwer zu erfassen. Sie werden unter anderem anhand der Böschungs- und der Uferlinien beurteilt. Insbesondere wenn die Sohle nicht sichtbar ist, muss die Wassertiefe geschätzt werden. Die Angabe kann nur als grober „Anhaltswert“ dienen. Deshalb werden im bayerischen Vor-Ort-Verfahren auch nur zwei Ausprägungen (flach/vertieft) unterschieden. Die Gewässervermessung aus der Luft ermöglicht dagegen eine genaue Darstellung der Querprofile nicht nur punktuell sondern für das gesamte Gewässer und damit eine wertvolle Planungsgrundlage für alle Maßnahmen am Gewässer.

Mit dem Parameter Tiefenvariabilität werden die Häufigkeit des Wechsels der Gewässertiefen sowie die Ausbildung der Sohle erhoben. Mit der Breitenvariabilität werden Häufigkeit und Ausmaß des natürlichen Breitenwechsels der Querprofile auf Höhe ca. der Mittelwasserlinie, also die Wasserspiegelbreite bei mittleren Wasserständen erfasst. Sie wird im Vor-Ort-Verfahren an der Lage der Wurzeln von Ufergehölzen oder der Zonierung von Wasserpflanzen sowie der Röhricht- und Staudenvegetation auf der Uferböschung bestimmt. Die luftgestützte Datenerhebung ermöglicht die genaue Abbildung der Gewässerprofile aus denen sich die Tiefen- und Breitenvariabilität für alle Gewässerbereiche ablesen lassen.

Als Anzeichen für Erosion werden bei der Vor-Ort-Kartierung vegetationsfreie Anrisse, Abbrüche und Unterspülungen der Ufer kartiert. Bei Waldbächen ist Ufererosion oft an freigespülten Wurzeln zu erkennen. Die luftgestützte Daten-

erhebung ist bezüglich der Ufererosion in ihrer Aussagekraft weniger eindeutig. Erodierte Uferabschnitte lassen sich auch vom geschulten Betrachter auf den hochauflösenden Luftbildern nicht immer eindeutig erkennen.

Als Anlandungen sind Sedimentakkumulationen (unter der Wasseroberfläche oder darüber hinaus) zu kartieren, die bei mittleren und niedrigen Wasserständen erkennbar sind. Vor Ort können Anlandungen in der Regel gut angesprochen werden und ihre Lage ungefähr erfasst werden. Laserscanprofile machen hier genaue Angaben über Lage und Ausdehnung von Anlandungen möglich.

Der Hauptparameter Strukturausstattung fasst die Parameter Böschungsbewuchs, Sonderstrukturen, Strömungsvielfalt, Sohlsubstratvielfalt und Kolmation zusammen. Gewässerabschnitte mit Beeinträchtigungen der Hauptparameter Verlagerungspotenzial und Entwicklungsanzeichen können auf Grund einer sehr guten Strukturausstattung um eine Bewertungsstufe aufgewertet werden. Da die empfohlene Kartierzeit des Vor-Ort-Verfahrens zwischen Oktober und Mai liegt, kann der Uferbewuchs nicht in seiner vollen Ausprägung aufgenommen werden. Eine Zuordnung der Vegetationstypen ist jedoch möglich. Im Luftbild-Verfahren können die typische Ufer- und Auevegetation von geschultem Fachpersonal nach einer Referenzkartierung am Gewässer in hoch auflösenden Luftbildern hinreichend erkannt werden. Die Angabe von Artvorkommen und Neophyten ist nicht möglich. Bei Sonderstrukturen sind Zuordnungen nicht immer möglich. Hier sind bei Bedarf punktuelle Nachkartierungen notwendig.

Der Parameter Sohlsubstrat erfasst die flächenmäßig dominierenden organischen Substrate auf der Gewässersohle im Mittelwasserbereich. Der Parameter Sohlsubstratvielfalt dokumentiert Häufigkeit und Ausmaß des Wechsels unterschiedlicher Substrate bei mineralischen und organischen Substraten auf der Sohle. Dieser Parameter wird nachrichtlich erfasst und geht nicht in die Bewertung ein. Bei niedrigem Wasserstand kann die Sohlsubstratvielfalt im Gelände gut angesprochen werden. Bei tieferem und trübem Wasser ist eine eindeutige Erfassung nicht möglich. Die luftgestützte Datenerhebung lässt keine eindeutige Aussage zu.

Im Rahmen der Gewässerstrukturkartierung sollen die Gewässerabschnitte ausgewählt werden, an denen später vertiefte Untersuchungen zur Kolmation erfolgen sollen. Zudem geht die Kolmation als Parameter in die Bewertung der Strukturausstattung ein. Erhoben wird der Grad der Verfestigung der Gewässersohle durch die Ablagerung von Feinmaterialien im Lückensystem poröser Fließgewässersohlen. Als einfache Erfassungsmethoden stehen z. B. die Handprobe (Entnahme von Steinen aus der Sohle und Beurteilung des Verfüllungs- und Verfestigungsgrades), die Stiefelprobe (Aufwirbeln des Sohlsubstrates mit

Gummistiefel) oder Stocherprobe zur Verfügung. Die luftgestützte Datenerhebung lässt keine Bewertung der Kolmation zu.

Mit dem Parameter Ausuferungsvermögen wird die Verminderung des Abflussgeschehens gegenüber dem Idealzustand des jeweiligen Gewässers durch Eingriffe wie Flutmulden, Anlagen zum Hochwasserrückhalt oder durch Gewässer Ausbau bewertet. Vor Ort kann dies durch Erfassen von Geländemodellierungen und durch charakteristische Vegetationsbestände abgeschätzt werden. Aus Laserscanprofilen und Geländevermessungen können genaue Angaben über mögliche Ausuferungen gewonnen werden.

Der unmittelbar an das Gewässer angrenzende Teil der Aue wird mit seiner dominanten Ausprägung und Nutzung erfasst. Als Auegewässer werden Stillgewässer und Flutmulden/Hochflutrinnen in der natürlichen Aue dokumentiert. Sie sind im Gelände bei günstigem Kartierzeitpunkt gut zu erkennen. Im Luftbild-Verfahren können die typische Auevegetation und die bestehenden Gewässer von geschultem Fachpersonal in hoch auflösenden Luftbildern hinreichend erkannt werden. Durch eine Referenzkartierung kann sich der Bearbeiter das notwendige Wissen aneignen.

Tabelle 1 Eignung der Bewertungsmethoden (Grün = Sehr geeignet, Gelb = bedingt geeignet, Rot = Ungeeignet)

Kennziffer	Einzelparameter	Vor-Ort-Begehung	Luftbilder	Laserscan-Daten
1-1	Laufkrümmung	sehr geeignet	sehr geeignet	sehr geeignet
2-1	Sohlverbau	bedingt geeignet	bedingt geeignet	bedingt geeignet
2-2	Uferverbau	bedingt geeignet	sehr geeignet	bedingt geeignet
2-3	Querbauwerke	sehr geeignet	sehr geeignet	sehr geeignet
2-4	Durchlass/Verrohrung/Brücke	sehr geeignet	bedingt geeignet	bedingt geeignet
2-5	Ausleitung	sehr geeignet	sehr geeignet	sehr geeignet
2-6	Strömungsbild	sehr geeignet	sehr geeignet	ungeeignet
2-7	Querprofil	bedingt geeignet	bedingt geeignet	sehr geeignet
2-8	Profiltiefe	bedingt geeignet	ungeeignet	sehr geeignet
3-1	Tiefenvariabilität	bedingt geeignet	sehr geeignet	sehr geeignet
3-2	Breitenvariabilität	bedingt geeignet	sehr geeignet	sehr geeignet
3-3	Ufererosion	sehr geeignet	bedingt geeignet	sehr geeignet
3-4	Anlandungen	bedingt geeignet	bedingt geeignet	sehr geeignet
4-1	Böschungsbewuchs	sehr geeignet	sehr geeignet	sehr geeignet
4-2	Sonderstrukturen	sehr geeignet	sehr geeignet	sehr geeignet
4-3	Strömungsvielfalt	sehr geeignet	sehr geeignet	ungeeignet
4-4	Sohlsubstratvielfalt	bedingt geeignet	bedingt geeignet	ungeeignet

4-5	Kolmation	bedingt geeignet	ungeeignet	ungeeignet
5-1	Hochwasserschutzanlagen	sehr geeignet	sehr geeignet	sehr geeignet
5-2	Ausuferungsvermögen	sehr geeignet	sehr geeignet	sehr geeignet
6-1	Ufernahe Ausprägung oder Nutzung	sehr geeignet	sehr geeignet	sehr geeignet
7-1	Auennutzung	sehr geeignet	sehr geeignet	sehr geeignet

5 Zeitliche Projektentwicklung und Kosten

Im Zuge des Pilotprojektes handelt es sich um einen ca. 25km langen Gewässerabschnitt. Das Vor-Ort-Verfahren nahm für die Begehung einen Zeitaufwand von 8 Tagen ein, die Nachbearbeitung im Büro beanspruchte weitere 24 Tage.

Die Datenerhebung aus der Luft erfolgte innerhalb von drei Befliegungsstunden. Die Rohdatenprozessierung, welche bereits als Datengrundlage für die Auswertung diente, erfolgte innerhalb von zwei Tagen. Die Kartierung in ArcGIS nahm weitere 12 Tage in Anspruch.

Ein Vorteil der Befliegung besteht darin, dass eine zeitlich fixierte Bestandsaufnahme auch von größeren Gewässerabschnitten in sehr kurzer Zeit erfolgen kann und somit eine tatsächliche Momentaufnahme erfolgt.

Die Kosten für die Auswertung und Datenerhebung mit topobathymetrischem Laserscanner (10Pkt/m²), RGB-Mittelformatkamera (GSD~5cm), Thermobildkamera (GSD~20cm) und Spektralkamera (GSD~20cm) betragen ca. das 1,5fache im Verhältnis zum terrestrischen Kartieraufwand. Jedoch beinhalten diese Daten einen wertvollen Mehrwert, da sie sowohl eine vollständige Vermessung des Gewässers wie auch genauere Bildinformationen liefern als sie bisher für Gewässer vorlagen. Zudem erfolgt eine 100%-Gebietsabdeckung für das Gewässer und keine querprofilstationierte Bewertung im Vergleich zur Vor-Ort-Methode.

6 Zusammenfassung

Derzeit wird eine unabhängige Gewässerstrukturkartierung durch das Landesamt für Umwelt, Bayern für den gleichen Gewässerabschnitt durchgeführt. Ziel ist der Sachbearbeiter unabhängige Vergleich der Ergebnisse einer Gewässerstrukturkartierung am Wielenbach aus der Luft und nach der klassischen Vor-Ort-Methode.

Folgende Methodenvergleiche liegen derzeit vor:

Tabelle 2 Methodenvergleich

Bewertungs-kriterium	GSK Vor-Ort-Methode	GSK Befliegung	Hinweis
Gebietserhebung	Querschnittsbasiert	vollständige Erfassung	
Erhebungsdauer	1,5 Wochen	3 Tage	Momentaufnahme bei GSK Befliegung, keine Veränderungen oder Unterbrechungen durch Witterung/Jahreszeit
Kosten	Faktor 1	Faktor 1,5	
Bewertung Einzelpa- rameter	Personenbezogen im Zuge der Begehung, nicht reproduzierbar	Personenbezogen im Zuge der internen Be- arbeitung, reproduzier- bar und vergleichbar	
Erfasste Einzelparame- ter	vollständig, aber nur Abschnittsweise	teil-vollständig, aber flächige Erhebung	bei GSK Befliegung Parameterableitung teilweise über Berech- nung
Bearbeitungszeit	Monat	2 Woche	Entwicklung von Au- tomatismen könnte eine Auswertung von Befliegungsdaten be- schleunigen
Erstellung der Gewäs- serstrukturkartierung	vollständig	vollständig	Identisches Bewer- tungsergebnis, teilwei- se Unterschiede in den Teilergebnissen
Zusatznutzen	-	weitere gewässerbezo- gene Daten	Vermessung, Luftbil- der, Thermobilder, Spektralbilder

Nach derzeitiger Bewertung stellt die Gewässerstrukturkartierung aus der Luft und somit mit Hilfe der Fernerkundung keine ergebnisbeeinflussende Einschränkung gegenüber einer Vor-Ort-Methode dar. Neben einer schnelleren Datenerhebung wird vor allem auch eine tatsächliche Momentaufnahme des Gewässers geschaffen. Die Auswertung ist Sachbearbeiter unabhängig und somit auch zeitlich unabhängig jederzeit reproduzierbar. Des Weiteren werden weitere Gebietsdaten erhoben, die für Fragestellungen der Wasserwirtschaft von Bedeutung sind. Gerade die morphologischen Parameter sind jedoch von deren Repräsentation über die Luftbilder abhängig. Somit sollten zum Zeitpunkt der Datenerhebung möglichst klare Fließverhältnisse vorliegen. Da dies nicht bei jedem Gewässer zu erwarten ist, ist die Anwendbarkeit der Gewässerstrukturkartierung aus der Luft individuell für jedes Gewässer zu bewerten.

7 Literatur

- Aufleger, M., Steinbacher, F., Baran, R. and Woerndl, M., 2013: ‘Alpine Airborne Hydromapping’. In: The Ministry of Water Resources, P.R. China and International Association for Hydro-Environment Engineering and Research (Ed.): 35th IAHR World Congress. ISBN 978-7-89414-588-8.
- Baran, R., Dobler, W., Steinbacher, F., Ritter, M., Niederwieser, M., Benger, W. and Aufleger, M., 2013: ‘Verschneidung von Airborne Hydromapping und Fächerecholotvermessung bei Rheinfeldern’. In: WasserWirtschaft - Fachzeitschrift für Wasser und Umwelt-technik 9/2013, P. 18 - 25.
- Böder, V. & Wessels, M. (2009), Einsatz hydrographischer Sensoren und Verfahren zur Untersuchung von Pockmark-Strukturen im Bodensee. In: Geoinformationen für die Küstenzone, Band 2, 159 – 164.
- Braun, E.; Schärpf, K. (1994): Internationale Bodensee-Tiefenvermessung 1990. - Landesvermessungsamt Baden-Württemberg (ed.), Stuttgart, pp. 1-98.
- Pfennigbauer M, Steinbacher F, Ullrich A, Aufleger M (2011) High resolution hydrographic airborne laser scanner for surveying inland waters and shallow coastal zones, Proc. of SPIE 8037-5.
- Steinbacher F, Pfennigbauer M, Aufleger M, Ullrich A (2010) AirborneHydroMapping – Area wide surveying of shallow water areas. Proc. of 38th ISPRS Congress, ISPRS.
- Steinbacher, F., Baran, R., Dobler, W., Aufleger, M. and Christiansen, L., 2013: ‘Combining Novel and Traditional Survey Technologies to Monitor Coastal Environments: Airborne Hydromapping and Sonar Data along the Baltic Sea Coastline, Schleswig-Holstein.

Autoren:

DI Frank Steinbacher

Dipl.-Arch. Angelika Otto
Dipl.-Geogr. Tobias Stadler

AirborneHydroMapping GmbH
Technikerstr. 21a
A – 6020 Innsbruck

Steinbacher-Consult Ing.mbH & Co.KG
Umweltplanung
Richard-Wagner-Str. 6
86356 Neusäß

Tel.: +43 512 507 37800
E-Mail: info@ahm.co.at

Tel.: +49 821 46 059 0
Fax: +49 821 46 059 98
E-Mail: a.otto@steinbacher-consult.com
t.stadler@steinbacher-consult.com

Technisch-biologische Ufersicherungen als ökologische Alternative zum Schüttsteindeckwerk an Binnenwasserstraßen – Forschungsergebnisse zur Belastbarkeit und Bemessung

Petra Fleischer
Renald Soyeaux

Technisch-biologische Ufersicherungen können als Alternative zum Schüttsteindeckwerk die ökologische Situation im Uferbereich von Binnenwasserstraßen verbessern. Der vorliegende Beitrag stellt bisherige Forschungsergebnisse aus technischer Sicht zur Belastbarkeit und Bemessung der naturnäheren Ufersicherungen unter Verwendung von Pflanzen vor. In einem separaten Beitrag werden erste Ergebnisse zur ökologischen Wirksamkeit dieser Ufersicherungen gezeigt (*Liebenstein, 2016*).

1 Einleitung

Seit Einführung der EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) im Jahr 2000 sind an Bundeswasserstraßen neben den technischen Anforderungen zur Gewährleistung der Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs vermehrt ökologische Aspekte zu berücksichtigen. Ziel ist, die Wasserstraßen wieder naturnäher zu gestalten, um Lebensräume für Tiere und Pflanzen zu schaffen bzw. zu erhalten. Eine Möglichkeit für ökologische Aufwertungen im Uferbereich ist der Rückbau der überwiegend vorhandenen technischen Ufersicherungen (i.d.R. Schüttsteindeckwerke) oder deren Ersatz durch technisch-biologische Ufersicherungen, d. h. durch Ufersicherungen unter Verwendung von Pflanzen. Unter welchen Bedingungen dies möglich ist, wie alternative Ufersicherungen unter Berücksichtigung der schiffsinduzierten Belastungen geplant und ausgeführt werden können und wie sie ökologisch zu bewerten sind, damit beschäftigt sich seit einigen Jahren ein interdisziplinäres Forschungsprojekt der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) und der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG). Ziel ist es, Empfehlungen und Bemessungsgrundlagen für die Anwendung technisch-biologischer Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen und Kriterien für deren ökologische Bewertung zu erarbeiten und damit Grundlagen zu schaffen für eine

höhere Akzeptanz und breitere Anwendung dieser Ufersicherungen an Wasserstraßen.

2 Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen

2.1 Grundsätzliches zur Uferstandsicherheit

Die Standsicherheit der überwiegend geböschten Ufer von Binnenwasserstraßen ist in erster Linie von den hydraulischen Belastungen infolge Schifffahrt und ggf. Hochwasser abhängig. Zu den schiffsinduzierten Einwirkungen gehören Strömungen (Rückströmung und Wiederauffüllungsströmung), Wellen (Bug-, Heck- und Sekundärwellen) und der Wasserspiegelabsenk (GBB, 2010), zu den hochwasserbedingten Belastungen Strömungen und Wasserspiegelschwankungen. Strömungen und Wellen können am Ufer zu Oberflächenerosionen führen. Infolge eines schnellen Wasserspiegelabsenk können im Boden Porenwasserüberdrücke entstehen, die die Böschung soweit destabilisieren, dass es zu hydrodynamischen Bodenverlagerungen und einem böschungsp parallelen Abgleiten im Uferbereich kommt (Holfelder & Kayser, 2006). Porenwasserüberdrücke treten auf, wenn die Absenkgeschwindigkeit größer ist als die Durchlässigkeit des Bodens, d. h. wenn der Wasserspiegel innerhalb der Uferböschung nicht in gleicher Weise dem Absenk vor der Böschung folgen kann. Besonders gefährdet sind dementsprechend Ufer, die aus gering durchlässigen, nicht kohäsiven Böden bestehen.

Zur Gewährleistung der Uferstabilität sind in der Regel konstruktive Schutzmaßnahmen erforderlich. Bisher übliche technische Schüttsteindeckwerke bestehen im Bereich der überwiegend 1:3 geneigten Uferböschungen in der Regel aus einer 40 cm bis 80 cm dicken Schicht aus losen oder verklammerten Wasserbausteinen auf einem Geotextil- oder Mineralkornfilter. Sie werden mit einem ausreichenden Flächengewicht bemessen, so dass auch bei auftretenden Porenwasserüberdrücken die Böschungsstandsicherheit gewährleistet ist. Die Größe bzw. das Gewicht der Einzelsteine einer losen Steinschüttung sind so dimensioniert, dass sie bei den hydraulischen Belastungen lagestabil sind und im Verbund die Böschung vor Oberflächenerosion schützen (GBB, 2010).

2.2 Besonderheiten von Ufersicherungen mit Pflanzen

Technisch-biologische Ufersicherungen sind umweltfreundlichere Ufersicherungen unter Verwendung von Pflanzen. Dabei wird der Uferschutz langfristig in Abhängigkeit der hydraulischen Belastungen entweder nur durch Pflanzen (z. B. Weidenspreitlagen, begrünte Böschungsschuttmatten) oder durch eine Kombination aus pflanzlichen und technischen Komponenten (z. B. Röhricht-

gabionen, begrünte Steinschüttungen) gewährleistet. Rein pflanzliche Ufersicherungen besitzen in der Regel kein signifikantes Flächengewicht. Bei Auftreten von Porenwasserüberdrücken können sie das Ufer nur durch ihre Wurzeln stabilisieren, indem sie die Scherfestigkeit des Bodens erhöhen oder zu einer Art Bodenvernagelung führen. Wurzeln und oberirdische Sprosse können allein oder in Verbindung mit technischen Komponenten vor Erosion schützen.

Bei der Verwendung von Pflanzen als lebende Baustoffe müssen im Vergleich zur Steinschüttung eine ganze Reihe zusätzlicher Einflussfaktoren berücksichtigt werden. Pflanzen haben keine einheitlichen Eigenschaften, sie wachsen und verändern sich fortwährend. Es sind verschiedene Entwicklungszustände zu betrachten, insbesondere der kritische Anfangszustand nach dem Einbau, wenn sich die zum Uferschutz erforderlichen Wurzeln und Sprosse erst bilden müssen. In dieser Phase sind meist temporäre Hilfsmittel, z. B. Befestigungen oder temporäre Filter, erforderlich, da die hydraulischen Belastungen bereits unmittelbar nach dem Einbau wirken. Weitere Einflussfaktoren sind die Witterungs- und Lichtverhältnisse sowie veränderliche Wasserstände (Überflutungen, Trockenzeiten). Parasiten können die Pflanzen schädigen und dadurch den Uferschutz gefährden. Es gibt spezielle Anforderungen an die Unterhaltung, z. B. aus dem Hochwasserschutz.

2.3 Problemstellung

Dass Pflanzen das Ufer schützen können, zeigen insbesondere die Erfahrungen mit ingenieurbiologischen Bauweisen an kleineren Fließgewässern ohne Schifffahrt. Die Einflüsse der heute immer stärker motorisierten Schiffe führen jedoch zu zusätzlichen Belastungen und Versagensformen. Aus technischer Sicht sind deshalb die Mechanismen zu erforschen und zu quantifizieren, wie Pflanzen mit ihren Wurzeln und oberirdischen Teilen den Uferschutz bei Schifffahrtsbelastung im Anfangszustand und dauerhaft gewährleisten können (*Fleischer & Eisenmann, 2012*). Im Detail geht es um folgende Fragen:

- Wie entwickeln sich die Wurzeln verschiedener Pflanzen nach dem Einbau langfristig? Wie stabilisieren sie das Ufer bei Auftreten von Porenwasserüberdrücken? Wie verändert sich die Scherfestigkeit des durchwurzelten Bodens? Welche Bemessungsansätze sind daraus ableitbar?
- Wie können die oberirdischen Pflanzenteile, ggf. in Kombination mit technischen Komponenten, und die oberflächennahen Wurzeln vor Erosion schützen? Welche Strömungsgeschwindigkeiten und Wellenhöhen können verschiedene Bauweisen aufnehmen, ohne dass Erosion auftritt?
- Wie wird die Filterstabilität im Böschungsbereich im Anfangszustand und langfristig bei verschiedenen Bauweisen gewährleistet?

Die entsprechenden Standsicherheitsnachweise, die analog zur Bemessung von Schüttsteindeckwerken (*GBB*, 2010) für technisch-biologische Ufersicherungen geführt werden müssen, sind für den kritischen Anfangszustand und langfristige Zustände auszuarbeiten.

3 Untersuchungen und Ergebnisse

3.1 Vorgehensweise/ Untersuchungsmethoden

Die genannten technischen Fragestellungen zur Anwendbarkeit und Belastbarkeit technisch-biologischer Ufersicherungen werden seit einigen Jahren im Rahmen des Forschungsprojektes der BAW und BfG untersucht. Begonnen wurde mit Untersuchungen im Bestand zur Erfassung bisheriger Erfahrungen (Literaturrecherchen, Detailuntersuchungen vor Ort an den wenigen Wasserstraßenabschnitten, in denen bereits lokal Ufersicherungen mit Pflanzen eingebaut, die Erfahrungen damit jedoch nicht ausgewertet wurden). Parallel dazu wurde bereits mit der Konzipierung und Ausführung von verschiedenen Labor- und Modellversuchen in der BAW sowie eines Naturversuchs am Rhein in der Nähe von Worms begonnen. Die Ergebnisse werden laufend in einem dazu eingerichteten Internetportal veröffentlicht (<http://ufersicherung.baw.de/de/index.html>).

3.2 Labor- und Modellversuche

Die bisher in der BAW durchgeführten Laborversuche hatten das Ziel, das Wurzelwachstum verschiedener zum Uferschutz geeigneter Weidenarten und die damit einhergehende Scherfestigkeitserhöhung des Bodens quantitativ in Abhängigkeit von der Tiefe unter der Geländeoberkante zu ermitteln. Dazu wurden u. a. im März 2012 austriebsfähige Weidenäste (Purpur- und Korbweide) in 18 mit grobsandigem, feinkiesigem Mittelsand gefüllte Versuchskästen mit einer Grundfläche von 50 cm x 50 cm und einer Höhe von 1 m eingebaut. Nach 7 Monaten Wachstum wurden der Durchwurzelungsgrad und die Scherfestigkeit des durchwurzelten Bodens in 3 Tiefen unter der Astlage (16,5 cm, 49,5 cm und 82,5 cm) mit einem Großschergerät ermittelt. Zum Vergleich wurde die Scherfestigkeit einer Bodenprobe ohne Wurzeln unter denselben Versuchsbedingungen bestimmt.

Abbildung 1 zeigt die nach 7 Monaten Wachstum beispielhaft in einem Versuchskasten freigespülten Wurzeln der Korbweide. In dem Diagramm ist die ermittelte wurzelbedingte Scherfestigkeitserhöhung des Bodens gegenüber dem nicht durchwurzelten Boden in Abhängigkeit von der Tiefe unter der Asteinlage dargestellt. Wenn davon ausgegangen wird, dass sich der Reibungswinkel der

Sande durch die Wurzeln nicht ändert, kann die Scherfestigkeitserhöhung als zusätzliche „Wurzelkohäsion“ betrachtet werden.

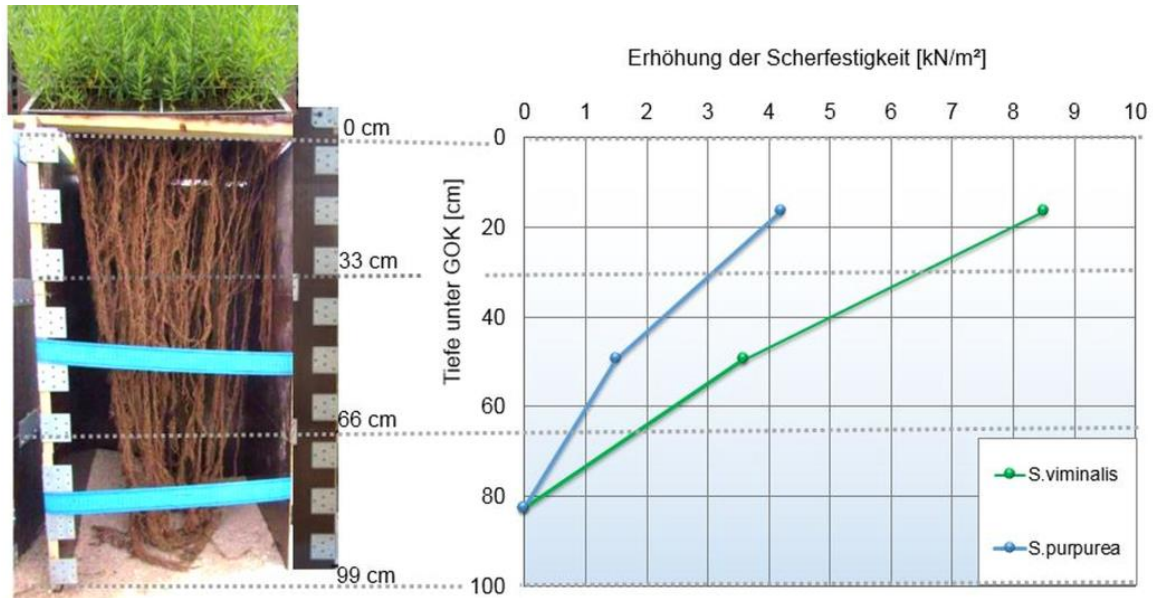


Abbildung 1: Scherfestigkeitserhöhung („Wurzelkohäsion“) infolge Wurzeln der Purpurweide (*S.purpurea*) und der Korbweide (*S.viminalis*) in Abhängigkeit von der Tiefe unter der Asteinlage (*Eisenmann, 2015*)

Erwartungsgemäß nimmt die „Wurzelkohäsion“ mit zunehmender Wurzelrockenmasse zu und dementsprechend mit der Tiefe unter der Asteinlage ab. Die Ergebnisse zeigen, dass die beiden Weidenarten unterschiedliche Wurzeleigenschaften besitzen. Sie zeigen aber auch, dass bereits nach einer Vegetationsperiode im relevanten Bodenbereich Erhöhungen der Scherfestigkeit des Bodens infolge Wurzeln in der Größenordnung nachweisbar sind, die für die Stabilisierung der Uferböschung bei Auftreten von Porenwasserüberdrücken erforderlich sind. Zum Beispiel wird bei einem Wasserspiegelabsenk von 90 cm, wie er an Binnenwasserstraßen der Klasse Vb auftreten kann, und einer hier üblichen Böschungsneigung von 1:3 ein böschungsparalleles Abgleiten vermieden, wenn der anstehende Boden eine Kohäsion von mindestens 3 kN/m² hat, bei einer Böschungsneigung von 1:8 würde bereits 1 kN/m² ausreichen. Die bisherigen Laborversuche sind in (*Eisenmann, 2015*) dokumentiert. Weitere Versuche mit anderen Weiden- bzw. Pflanzenarten sind erforderlich und werden gegenwärtig vorbereitet.

Parallel zu den Laborversuchen wurden 2011 bis 2013 erste Modellversuche mit einer Weidenspreitlage in einer Wellenanlage mit einem 8 m x 14 m großen Becken mit dem Ziel durchgeführt, die Belastbarkeit unter Absenk- und Welleneinfluss zu ermitteln. Dazu wurden Weidenäste (Korb- und Purpurweide) im

Wellenbecken auf einer 1:3 geneigten Böschung (aus Sand und Kies) verlegt und in verschiedenen Zeitabständen nach dem Einbau hydraulisch belastet, wobei die Belastungen allmählich gesteigert wurden. Gemessen wurden jeweils der Absink (die Wasserspiegelauslenkung) und die dazu gehörigen Porenwasserdrücke im Boden. Veränderungen der Böschungsgeometrie bei einem möglichen Versagen der Weidenspreitlage wurden über Neigungsmessketten dokumentiert. Nach einer Vegetationsperiode konnten die Weidenspreitlagen unter den gegebenen Bedingungen Absinkgrößen bis 68 cm trotz auftretender Porenwasserüberdrücke schadlos aufnehmen. Es wird zu diesem Zeitpunkt von einer ähnlichen Wurzelbildung und -wirkung im Boden wie in den oben beschriebenen, parallel angelegten Versuchskästen ausgegangen. Die Ergebnisse sind in (Eisenmann, 2015) dokumentiert.

Gegenwärtig werden weitere Modellversuche u. a. zur Filterstabilität von Weidenspreitlagen in verschiedenen Wachstumszuständen und zum Einfluss der oberirdischen Weidensprosse auf die einwirkenden Strömungsgeschwindigkeiten durchgeführt.

3.3 Naturversuch am Rhein

Seit 2011 wird in Zusammenarbeit mit dem Wasser- und Schifffahrtsamt Mannheim ein großangelegter Naturversuch am rechten Rheinufer, km 440,6 bis km 441,6, in der Nähe von Worms durchgeführt. Hier werden neun verschiedene technisch-biologische Ufersicherungsmaßnahmen unter Wasserstraßenbedingungen getestet. In 5 Versuchsfeldern wurde die ursprünglich vorhandene Steinschüttung oberhalb Mittelwasser entfernt und in 4 Feldern durch neue Ufersicherungen mit Pflanzen ersetzt (Weidenspreitlagen, Röhrichtgabionen, Steinmatratzen, begrünte Pflanzmatten). In einem Feld wurde die Böschung ohne Schutz belassen, um hier eine natürliche Sukzession zu ermöglichen. In weiteren 4 Feldern wurde die vorhandene lose Steinschüttung (LMB_{5/40}) erhalten und durch verschiedene Maßnahmen ökologisch aufgewertet (nachträglicher Pflanzeneinbau, Begrünung durch Alginat, mehr Struktur durch Kies und große Einzelsteine, konstruktiver Schutz von Röhrichten). Zur Förderung der Fischfauna entstand im ersten Versuchsfeld durch Errichtung eines vorgelagerten Steinwalls eine Flachwasserzone, in einem anderen Versuchsfeld wurden ins Wasser reichende Totholzfaschinen eingebaut. Die Randbedingungen und der Aufbau der Versuchsfelder sind in (Fleischer et al., 2012) dokumentiert.

Seit 2012 erfolgt ein umfangreiches Monitoring zur regelmäßigen Erfassung des Zustandes der Ufersicherungsmaßnahmen, möglicher Schäden und Veränderungen der Böschungsgeometrie, zur Messung der hydraulischen Uferbelastungen und der Porenwasserdrücke im Boden, zur Aufnahme der Vegetation und Fauna

sowie der Wetterdaten und Wasserstände. Zusätzlich werden langfristig verschiedene Unterhaltungsstrategien getestet.

Die technisch-biologischen Ufersicherungsmaßnahmen sind im Naturversuch jetzt seit 4 Jahren den hydraulischen Belastungen infolge Schifffahrt (ca. 120 Güterschiffe pro Tag) und verschiedenen Hochwassern mit Wasserspiegelschwankungen bis zu 6 m ausgesetzt. Die Randbedingungen und bisherigen Ergebnisse sind in verschiedenen Berichten der BAW und BfG unter <http://ufersicherung.baw.de/de/index.html> dokumentiert.

Umfangreiche Erfahrungen konnten bereits beim Einbau der pflanzlichen Ufersicherungen unter laufender Schifffahrt gesammelt werden. Unmittelbar nach Baufertigstellung trat das erste Hochwasser auf, das die neuen Ufersicherungsmaßnahmen längere Zeit bei gleichzeitiger Schifffahrtsbelastung einstaute. Seitdem wurden die Maßnahmen immer wieder durch z. T. wochenlang andauernde Hochwasser, teilweise mit Wasserständen bis über das angrenzende Gelände, belastet. Es gab lange Niedrigwasser- bzw. Trockenphasen und im Februar 2012 kurze Zeit nach Baufertigstellung strengen Frost bis -14°C ohne schützenden Schnee, insgesamt also relativ hohe Belastungen für die neuen Ufersicherungen mit Pflanzen, um die Anwendungsgrenzen der Bauweisen auszuloten.

Besonders deutlich hat sich gezeigt, dass die Anfangsphase, in der die eingebauten Pflanzen erst Wurzeln und Sprosse ausbilden müssen, eine sehr kritische Zeit ist. Hier traten lokal Schäden u. a. durch herausgezogene Befestigungspflöcke und Bodenerosion auf. Bei Einstau waren die Ufersicherungen mit Pflanzen gleichzeitig Auftrieb und Strömungen, Wellen und Wasserspiegelabsenkung ausgesetzt. Rein pflanzliche Uferschutzkonstruktionen ohne signifikantes Eigengewicht, wie z. B. Pflanzmatten mit nur punktuellen bzw. linienförmigen Befestigungen, konnten den Uferschutz in den unteren, sehr häufig eingestauten Böschungsbereichen nicht ausreichend gewährleisten. Der für das Wurzelwachstum in den Untergrund erforderliche permanente Bodenkontakt der Pflanzmatten war bei Überstau nicht zu realisieren (*Fleischer & Soyeaux, 2014*). Gute Erfahrungen gibt es unter diesen Bedingungen dagegen beispielsweise mit Weidenspreitlagen, die sich bereits innerhalb der ersten Vegetationsperiode sehr gut entwickeln konnten (Abbildung 2). Auch Steinmatratzen und Röhrichtgabionen konnten das Ufer bisher gut schützen. Langfristig hängt die Stabilität der Röhrichtgabionen sehr stark von den eingebauten Pflanzenarten ab. Als ausreichend überstauungsresistent haben sich im unteren, häufig eingestauten Bereich besonders verschiedene Seggenarten erwiesen (*Behrendt et al., 2015*).

Das Monitoring im Naturversuch am Rhein dauert noch an, fundierte Aussagen sind erst nach mehreren Vegetationsperioden möglich. 2017 erfolgt eine erste umfassende Auswertung aller Ergebnisse.



Abbildung 2. Weidenspreitmatte (links: nach Installation; rechts: nach einer Vegetationsperiode 07/2012 - Blickrichtung stromauf)

4 Erstes Bemessungskonzept

Aufgrund des steigenden Bedarfs an einheitlichen Planungsgrundlagen für technisch-biologische Ufersicherungen wurde parallel zum BAW/BfG-Forschungsprojekt bereits 2008 der Ausschuss WW1.5/ 2.5 der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) mit dem Ziel eingerichtet, den aktuellen Stand des Wissens zur Anwendung technisch-biologischer Ufersicherungen an schiffbaren Gewässern zusammenzutragen. Die Erfahrungen mit ingenieurbiologischen Bauweisen an Fließgewässern ohne Schifffahrt sollten zusammen mit den bisherigen Erkenntnissen an Wasserstraßen aus dem o. g. Forschungsprojekt Grundlage für ein Merkblatt sein, wohl wissend, dass noch keine endgültigen Erkenntnisse und keine Langzeiterfahrungen mit technisch-biologischen Ufersicherungen an Wasserstraßen vorliegen.

Das DWA-Merkblatt M519 (DWA, 2016) erscheint Anfang 2016 als Weißdruck. Darin wird eine Vorgehensweise aufgezeigt, wie aufgrund der bisher vorliegenden Erkenntnisse die Möglichkeit der Anwendung technisch-biologischer Ufersicherungen an großen und schiffbaren Gewässern geprüft und eine technisch-biologische Uferschutzmaßnahme geplant und bemessen werden kann. Es beinhaltet alle dafür wesentlichen rechtlichen, technischen, ingenieurbiologischen und ökologischen Planungsgrundlagen. Zur Bemessung der Ufersicherungen mit Pflanzen wird gegenwärtig noch ein auf der sicheren Seite liegendes Verfahren, basierend auf dem vorhandenen technischen Regelwerk (GKB, 2010), empfohlen. Im Anhang des DWA-Merkblattes werden 10 ausgewählte alternative Bauweisen in Steckbriefen vorgestellt und beschrieben, die aus heutiger Sicht prinzipiell zur Anwendung an großen und schiffbaren Gewässern geeignet erscheinen und ökologische Verbesserungen im Uferbereich erwarten lassen.

Derzeit sind allerdings aufgrund der noch laufenden Forschungen, insbesondere zur Quantifizierung der uferstabilisierenden Wirkung der Pflanzenwurzeln, noch Einschränkungen in der Dimensionierung und Anwendung notwendig. Wenn Porenwasserüberdrücke infolge Wasserspiegelabsenkung für die Bemessung der Ufersicherung maßgebend sind, muss das notwendige Flächengewicht auch mit einer technisch-biologischen Ufersicherung gewährleistet werden. In diesen Fällen können derzeit auf der sicheren Seite liegend nur Ufersicherungen aus Pflanzen in Kombination mit entsprechenden technischen Bestandteilen angewendet werden. Belastungsgrenzen für die einzelnen Ufersicherungsmaßnahmen hinsichtlich Oberflächenerosion (zulässige Strömungsgeschwindigkeiten und Wellenhöhen) wurden zunächst aus Erfahrungen an kleineren Fließgewässern ohne Schifffahrt abgeleitet. Sie müssen nach Vorliegen ausreichender Erfahrungen an Binnenwasserstraßen gegebenenfalls angepasst werden.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Untersuchungen im Rahmen des Forschungsprojektes der BAW und BfG sind noch nicht abgeschlossen. Die bisher vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass Ufersicherungen mit Pflanzen prinzipiell auch an Binnenwasserstraßen angewendet werden können. Der Einsatz hängt von der Größe der schiffsinduzierten und natürlichen hydraulischen Uferbelastungen ab. Sinnvoll sind deshalb zusätzliche dauerhafte oder temporäre (für die kritische Anfangsphase) indirekte Uferschutzmaßnahmen, die die hydraulischen Uferbelastungen durch konstruktive Maßnahmen (z. B. Parallelwerke) oder administrative Maßnahmen (z. B. Begrenzung der Schiffsgeschwindigkeit) verringern. Keine oder nur sehr geringe natürliche Wasserspiegelschwankungen und flache Böschungen erhöhen die Möglichkeiten der Anwendung pflanzlicher Ufersicherungen.

Ein erstes Bemessungskonzept steht mit dem DWA-Merkblatt M519 zur Verfügung (DWA, 2016). Mit diesem Merkblatt werden die Möglichkeiten der Planung und Anwendung von naturnäheren technisch-biologischen Ufersicherungen an großen und schiffbaren Gewässern wesentlich erweitert. Zunehmende Anwendungen führen zu mehr praktischen Erfahrungen an Wasserstraßen. Parallel werden weitere Erkenntnisse aus den noch laufenden Labor- und Modellversuchen und speziell aus dem Naturversuch am Rhein erwartet, so dass das bisherige Bemessungskonzept in den nächsten Jahren überarbeitet und präzisiert werden kann. Damit stehen gute Grundlagen für die Planung von alternativen Ufersicherungen, insbesondere für die im Rahmen des Bundesprogramms „Blau- es Band“ vorgesehenen Uferumgestaltungen an Binnenwasserstraßen in Deutschland, zur Verfügung.

6 Literatur

- Behrendt, K.; Fleischer, P.; Koop, J. (2015): Erste Ergebnisse eines Naturversuchs mit technisch-biologischen Ufersicherungen am Rhein bei Worms. KW Korrespondenz Wasserwirtschaft 2015 (8) Nr. 12.
- DWA (2016): Technisch-biologische Ufersicherungen an großen und schiffbaren Gewässern. DWA-Merkblatt M519.
- Eisenmann, J. (2015): Weidenspreitlagen an Binnenwasserstraßen, Untersuchungen zur geotechnischen Standsicherheit. Dissertation, Boku Wien 2015.
- Fleischer, P.; Eisenmann, J. (2012): Möglichkeiten und Grenzen pflanzlicher Ufersicherungen an Wasserstraßen. BAWMitteilungen Nr. 95, Juli 2012, S. 21-39.
- Fleischer, P.; Soyeaux, R.; Kleinwächter, M.; Schilling, K. (2012): Technisch-biologische Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen – Naturversuch am Rhein, km 440,600 bis km 441,600 (rechtes Ufer). Bundesanstalt für Wasserbau, BAW-Brief Nr. 05/2012.
- Fleischer, P.; Soyeaux, R. (2014): Ufersicherungen mit Pflanzen an großen Schifffahrtsstraßen, erste Ergebnisse zur Stabilität aus einem Naturversuch am Rhein. HTG-Kongress 2014, Tagungsband.
- Holfelder, T.; Kayser, J. (2006): Berücksichtigung von Porenwasserüberdrücken bei der Bemessung von Deckwerken an Wasserstraßen. Beiträge zum 5. Geotechnik-Tag in München, Schriftenreihe der TU München, Heft 38.
- GBB (2010): Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen. Bundesanstalt für Wasserbau, abrufbar unter http://www.baw.de/de/die_baw/publikationen/merkmale/index.php.html.
- Liebenstein, H. (2016): Technisch-biologische Ufersicherungen als Beitrag zur gewässerstrukturellen Entwicklung von Bundeswasserstraßen. TU Dresden, Wasserbauliche Mitteilungen, Heft 57, 2016.

Autoren:

Dipl.-Ing. Petra Fleischer

Dr.-Ing. Renald Soyeaux

Bundesanstalt für Wasserbau
Abteilung Geotechnik
Kussmaulstr. 17
76187 Karlsruhe

Bundesanstalt für Wasserbau
Abteilung Geotechnik
Kussmaulstr. 17
76187 Karlsruhe

Tel.: +49 721 9726 3570
Fax: +49 721 9726 4830
E-Mail: petra.fleischer@baw.de

Tel.: +49 721 9726 3650
Fax: +49 721 9726 4830
E-Mail: renald.soyeaux@baw.de

Technisch-biologische Ufersicherungen als Beitrag zur gewässerstrukturellen Entwicklung von Bundeswasserstraßen

Hubert Liebenstein

Während der verkehrswasserbauliche Bezug bei der Unterhaltung der Bundeswasserstraßen durch die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) in der Vergangenheit stark im Vordergrund stand, haben sich durch die explizite Orientierung der Unterhaltungsmaßnahmen an den Bewirtschaftungszielen und Maßnahmenprogrammen nach Wasserhaushaltsgesetz die Aufgaben der WSV erweitert.

Nachfolgend wird ein Überblick über den Stand technisch-biologischer Bauweisen im Rahmen des gemeinsamen Forschungs- und Entwicklungsvorhabens (F&E-Vorhaben) "Untersuchungen zu alternativen technisch-biologischen Ufersicherungen an Binnen-wasserstraßen" der Bundesanstalten für Wasserbau (BAW) und Gewässerkunde (BfG) gegeben. Mit diesen Bauweisen kann dem Schutz der Ufer Rechnung getragen werden; aus ökologischer Sicht bieten sie zahlreiche Vorteile gegenüber herkömmlichen rein technischen Ufersicherungen. Diese äußern sich u. a. in einer Verbesserung der Strukturvielfalt und -güte hinsichtlich der Lebensbedingungen für Tiere und Pflanzen im Gewässer und Uferbereich und erfüllen somit ökologische Zielstellungen nach WRRL.

Das Hauptaugenmerk des Beitrags liegt auf den strukturverbessernden Aspekten dieser Bauweisen und ersten Ergebnissen des umfassenden Monitoringprogramms einer gemeinsam mit dem Wasser- und Schifffahrtsamt (WSA) Mannheim im Jahr 2011 angelegten, ca. 1 km langen Versuchsstrecke bei Lampertheim in der Nähe von Worms am Rhein. Darüber hinaus werden Beispiele strukturverbessernder Maßnahmen von anderen Bundeswasserstraßen vorgestellt und beispielhaft aufgezeigt, wie diese Maßnahmen auch in Hinblick auf Ökosystemleistungen oder die Biologische Vielfalt wirksam sind.

Weiterhin wird im Ausblick kurz auf die Erfassung und Informationsbereitstellung dieser Maßnahmen eingegangen sowie Anknüpfungspunkte zum Bundesprogramm Blaues Band Deutschland aufgezeigt.

1 Ökologisches Monitoring der Versuchsstrecke Lampertheim, Rhein-km 440,6 – 441,6

1.1 Beschreibung der Versuchsstrecke

Bei den Untersuchungen zur Anwendbarkeit technisch-biologischer Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen sind neben den geotechnischen und hydraulischen Aspekten vegetationskundliche, faunistische und ökologische Gesichtspunkte zu berücksichtigen. Dabei gilt es, Uferschutzmaßnahmen unter Verwendung von Pflanzen zu entwickeln, zu testen und zu empfehlen, die ausreichend standsicher und gleichzeitig ökologisch wirksam sind.

2011 wurde deshalb bei Lampertheim am rechten Rheinufer von km 440,6 bis km 441,6 eine Versuchsstrecke mit neun unterschiedlichen Versuchsfeldern (VF) mit technisch-biologischen Ufersicherungs- bzw. strukturverbessernden Maßnahmen angelegt (vgl. Abbildung 1). Ziel ist es, an einer Wasserstraße mit hohen schiffsinduzierten und natürlichen hydraulischen Belastungen sowie großen Wasserstandsschwankungen verschiedene technisch-biologische Ufersicherungen zu testen und den im Ausgangszustand vom Artenbestand verarmten Uferbereich langfristig ökologisch aufzuwerten. Es werden an dieser Stelle vorwiegend die strukturverbessernden Maßnahmen in Verbindung mit den technisch-biologischen Bauweisen beschrieben.

In vier VF wurde die vorhandene Steinschüttung entfernt und das Ufer durch Weidenspreitlagen (VF2 und 3), Röhrichtgabionen (VF5), Vegetationsmatten (VF7; in VF5 Vegetationsmatten auf Steinmatratzen) und durch Ansaat mit standortgerechten Gräsern, Kräutern und Hochstauden (VF7) gesichert. In den oberen Böschungsabschnitten verschiedener VF wurden zusätzlich Sträucher der Hartholzzone gepflanzt. Diese technisch-biologischen Bauweisen dienen nicht nur dem Schutz der Ufer, sondern sollen auch die Entwicklung unterschiedlicher Vegetationsbestände fördern und somit zu einer Strukturhöhung des bisher weitgehend bewuchsfreien Ufers beitragen.

Nicht überall kann an Bundeswasserstraßen auf eine Sicherung der Ufer mit Steinschüttungen verzichtet werden. Deshalb wurde in vier weiteren VF die Steinschüttung belassen, jedoch zusätzliche strukturelle Elemente eingebaut, um auch diese Ufer ökologisch aufzuwerten. Dazu wurden z. B. inselartige Verwallungen zum Schutz dahinter liegender Uferbereiche und flacher Ruhigwasserzonen (VF1, auch VF8) angelegt, Totholzfashinenbündel (VF4) bzw. Baumstämmen mit Wurzeltellern in die Uferbereiche (VF1) eingebaut bzw. die Steinschüttung mit kiesigem Substrat (VF4) überdeckt. In VF1 wurden darüber hinaus auch Weidensetzstangen und Weidenfaschinen in die bestehende Steinschüttung eingebracht.

Eine wesentliche strukturelle Maßnahme besteht im vollständigen Rückbau der Ufersicherung oberhalb etwa Mittelwasser in VF9, der eine begrenzte eigendynamische Entwicklung des Ufers ermöglicht.

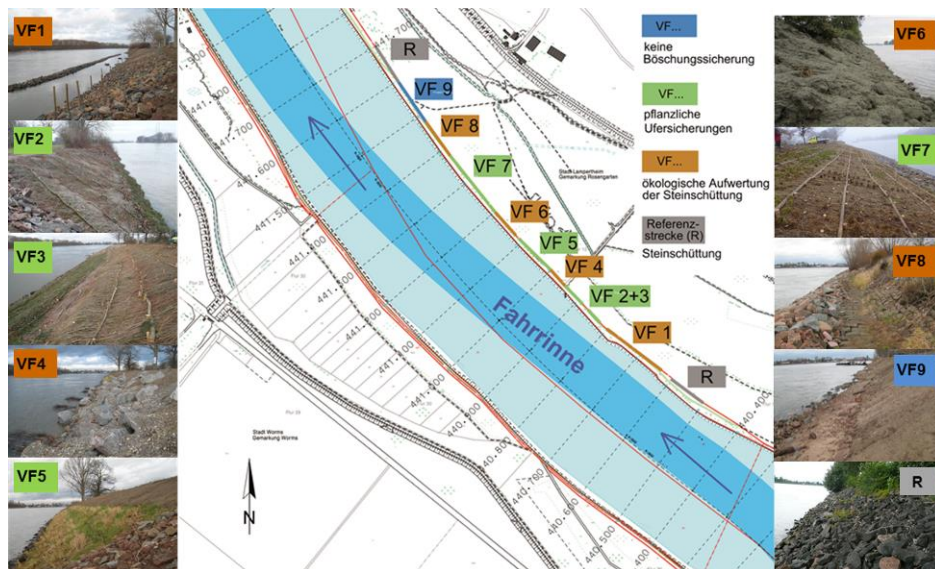


Abbildung 1: Versuchsstrecke Lampertheim mit Angaben zu den Versuchsfeldern

1.2 Vorläufige Ergebnisse des ökologischen Monitorings

Das Monitoring zur Versuchsstrecke beinhaltet zum einen das „technische“ Monitoring, zum anderen ökologische Untersuchungen. Seitens der BfG wurden bereits vor Beginn der Maßnahmen vegetationskundliche und faunistische Untersuchungen in der Versuchsstrecke sowie in zwei an die Versuchsstrecke angrenzenden Referenzflächen durchgeführt (vgl. Abbildung 1, Felder „R“). Nach Fertigstellung der Maßnahmen Ende 2011 wurde im darauf folgenden Jahr das zunächst bis einschließlich 2016 geplante Monitoring in der eigentlichen Versuchsstrecke begonnen. Ziel des Monitorings ist die Bewertung der technisch-biologischen Bauweisen hinsichtlich:

- der technischen Wirksamkeit, d. h. der Gewährleistung der Uferstabilität unter den vorherrschenden hydraulischen Belastungen (BAW),
- der ökologischen Wirksamkeit (BfG),
- der Unterhaltungsaufwendungen, d. h. der ggf. erforderlichen Pflege bzw. Sanierung (WSA Mannheim).

Zur Beurteilung der ökologischen Wirksamkeit werden die Entwicklung der Vegetation und ausgewählter repräsentativer Tiergruppen (Fische, Makrozoobenthos, Vögel, Reptilien, Laufkäfer, Spinnen) in festgelegten, z. B. jährlichen Abständen, untersucht. Dabei wird die Vitalität der eingebrachten Pflanzen er-

mittelt, die Pflanzenarten und Pflanzengesellschaften erfasst und die Besiedlungsdynamik in Abhängigkeit von der Zonierung im Uferbereich dokumentiert. Jährlich werden hierzu die meteorologischen Daten der nächstgelegenen Wetterstation ausgewertet. Faunistische Untersuchungen dokumentieren die Artensammensetzung der einzelnen Tiergruppen und das Besiedlungspotenzial der einzelnen Maßnahmen u. a. in Abhängigkeit von den eingebrachten Strukturelementen. Erste Ergebnisse werden nachfolgend beispielhaft dargestellt.

Die eingebrachten Gehölze, vor allem der VF 1, 2 und 3, haben sich unter den gegebenen Randbedingungen, d. h. hohen Schwankungen der Wasserstände (Wechsel lang anhaltender Überstauzeiten bei Hochwasser mit langen Niedrigwasserständen) und hydraulischen Belastungen bisher gut entwickelt (vgl. Abbildung 2, linkes Foto), das Ufer gesichert und strukturell aufgewertet. Der Gehölzbewuchs dieser VF mit Arten der Weich- und Hartholzzone verbessert den Biotopverbund mit Lebensräumen der angrenzenden Aue bzw. entlang des Flussufers. Dies zeigt sich z. B. daran, dass sich zwischenzeitlich weitere Gehölzarten und krautige Pflanzen über eine natürliche Sukzession aus benachbarten Flächen in den VF eingestellt haben.

Mit der Entwicklung der Ufergehölze verbessern sich auch die Lebensraumbedingungen für Tiere, z. B. Nahrungs- und Nistmöglichkeiten für Vogelarten. Bei höheren Wasserständen sammelt sich mit dem Fluss mitgeführtes Totholz zwischen dem dichteren Astwerk, eine weitere wichtige Strukturanreicherung im Ufer und Lebensgrundlage z. B. für zahlreiche Insekten.

In den VF, in denen Röhrichtgabionen (VF5) und Vegetationsmatten (VF5 und 7) zum Uferschutz eingebaut wurden, konnten sich aufgrund der hydraulischen Belastungen, der nur eingeschränkten Möglichkeiten der Fixierung der Pflanzmatten (zu geringe Auflast) und der oftmals langen Überstauzeiten mit hohen stagnierenden Wasserständen nicht alle Maßnahmen wie gewünscht entwickeln. Insbesondere die Vegetationsmatten hielten diesen Bedingungen nicht stand. In VF 5 konnten sich von den eingebrachten Pflanzen im Wesentlichen verschiedene Großseggen behaupten und bilden nun einen lückigen Röhrichtsaum (vgl. Abbildung 2, Foto rechts), der dennoch aus pflanzlicher und struktureller Sicht eine Verbesserung gegenüber der ursprünglichen Uferausprägung bedeutet. Ähnliche Verbesserungen lassen sich auch für die oberen, nicht so häufig überfluteten Böschungsbereiche von VF7 feststellen, in denen sich ein weitgehend geschlossener Bewuchs mit einer Vielzahl standortheimischer Gräser, Kräuter und Hochstauden sowie einigen (nicht gepflanzten) Sträuchern entwickelt hat.



Abbildung 2: Entwicklung der Weidenspreitlage (VF2, links); Röhricht und Hochstauden (VF5, rechts)

Im Schutz der inselartigen Verwallung stellten sich im VF1 durch die Ablagerung von feinteiligem Material bereits erste Röhrichte, Laichkräuter und Arten feuchter Hochstauden ein, im VF8 konnten sich die in geringem Umfang vorhandenen Rohrglanzgras-Bestände deutlich ausbreiten – jeweils Initiale einer gewässertypischen Ufervegetation.

Die bisherigen Untersuchungen der Fauna ergaben, dass vor allem die unterschiedlichen Strukturen der VF1, 8 und 9 gute Voraussetzungen für das Vorkommen verschiedener Vogelarten bieten. Die Steinwälle (vor allem VF1) bieten bei Wasserständen etwa bis Mittelwasser Sitzwarten während Ruhezeiten, die dazwischen liegende Ruhigwasserzone gleichzeitig Schutz vor landseitigen Störungen. Die eingebauten Baumstämme mit Wurzelteller sind Ansitzwarten z. B. für den Eisvogel, der durch die vermehrt in dieser Ruhigwasserzone anzutreffenden Jungfische ein gutes Nahrungsangebot vorfindet. Die begrenzt zugelassene Eigendynamik in VF9 hat teilweise zu einer flacheren Uferausbildung geführt. In dieser Uferzone hat sich feinteiliges Substrat abgelagert, das z. B. einzelnen Flussuferläufern dort die Nahrungssuche ermöglichte. Insgesamt hat sich die Zahl der Vogelarten in der Versuchsstrecke gegenüber dem ursprünglichen Zustand leicht erhöht.

Eine hohe Bedeutung haben die VF vor allem für Laufkäfer und Spinnen. Es konnte hier eine deutliche Zunahme an Arten im Vergleich zum Ausgangszustand beobachtet werden. Im Gegensatz dazu lassen die Untersuchungen zu den Reptilien zurzeit noch keine Aussagen über die Wirkung der VF auf diese Artengruppe zu.

Bei den aquatischen Artengruppen (Makrozoobenthos und Fische) konnte vor allem bei den Fischen festgestellt werden, dass die Steinschüttungen hauptsächlich von Neozoen besiedelt werden, während vor allem an den Totholzstrukturen (Wurzelteller, Totholzfaschinenbündel) der VF vermehrt auch heimische Fisch-

arten auftraten, z. B. Flussbarsche oder Rotaugen. Diese ersten Ergebnisse lassen darauf schließen, dass vor allem durch diese strukturellen Elemente technisch-biologischer Ufersicherungen der aktuell starken und ökologisch negativen Verbreitung von Neozoen entgegengewirkt werden könnte (Behrendt *et al.*, 2015). Dies muss jedoch weiterhin untersucht werden.

Die bisherigen Ergebnisse lassen jedoch erkennen, dass die angewandten Bauweisen zu einer strukturellen Aufwertung der Uferbereiche in der Versuchsstrecke beigetragen und ihre ökologische Entwicklung deutlich begünstigt haben.

2 Weitere Beispiele strukturverbessernder Maßnahmen an Bundeswasserstraßen

Neben der Versuchsstrecke am Rhein und der bereits seit 1989 bestehenden Versuchsstrecke Stolzenau an der Mittelweser werden auch an anderen Bundeswasserstraßen in Verbindung mit der Umsetzung der WRRL und im Rahmen der wasserwirtschaftlichen Unterhaltung die Ufer durch unterschiedliche strukturelle Maßnahmen gestaltet und ökologisch aufgewertet.

Strukturelle Maßnahmen (vgl. Abbildung 3) sind dabei z. B. dem eigentlichen Ufer vorgelagerte inselartige Verwallungen, Lahnungen, Holzpfahlreihen, veränderte Bühnenformen (Totholzbühnen, Kerbbühnen) oder der Einbau von Totholzstämmen. Mit diesen Maßnahmen werden die Ufer besser vor Wellenschlag geschützt, Ufervegetation erhalten bzw. entwickelt und Stillwasserzonen für die aquatische Fauna geschaffen.



Abbildung 3: Elemente zur Strukturaneicherung und zum Schutz der Ufer und der Ufervegetation; Schutz von Flachwasserbereichen gegenüber Wellenschlag; Holzpfahlreihe (links), Totholzbühne (rechts)

Durch kleinräumig wechselnde Strömungsverhältnisse können unterschiedliche Substratablagerungen im Uferbereich erfolgen und kleinräumig wechselnde Habitate für Pflanzen und Tiere entstehen. Diese Habitate erfüllen unterschiedliche

Lebensraumsprüche zahlreicher Tierarten, die in den rein technischen Ufersicherungen meist fehlen, z. B. Versteck-, Aufwuchs- und Nahrungsmöglichkeiten für Jungfische. Strukturelle Verbesserungen im Uferbereich werden insbesondere durch den Rückbau bestehender Ufersicherungen erzielt (vgl. Abbildung 4), die dem Fluss wieder eigene Gestaltungsmöglichkeiten liefern und neue Habitate schaffen.



Abbildung 4: Eigenentwicklung im Uferbereich nach Rückbau einer Ufersicherung

Innerhalb kurzer Zeit entstehen durch Erosion und Ablagerungen im zurückgebauten Bereich z. B. Steilufer mit Bruthöhlen für den Eisvogel oder flache Uferabschnitte mit unterschiedlicher Substratzusammensetzung als wertvolle Lebensräume z. B. für Laufkäfer oder den Flussuferläufer. Gehölze können dabei unterspült werden, deren freigespülte Wurzelteller Ansitzwarten für Vögel oder Kleintieren Schutz vor Fressfeinden bieten können.

Die beispielhaft dargestellten strukturverbessenden Maßnahmen an den Ufern von Bundeswasserstraßen sind oftmals nur von geringer Ausdehnung. Dennoch sind sie wichtige Trittsteine für die Ansiedlung und Ausbreitung von Pflanzen und Tieren und die ökologische Entwicklung der Wasserstraßen. Wesentlich im Sinne der WRRL sind dabei auch Maßnahmen, die eine strukturelle Veränderung im Gewässer selbst, z. B. unterhalb der Mittelwasserlinie, bewirken.

3 Bedeutung alternativer technisch-biologischer Maßnahmen hinsichtlich Biologischer Vielfalt und Ökosystemleistungen

Die bisherigen Ergebnisse aus dem Monitoring der Versuchsstrecke Lampertheim zeigen auf, dass die mit den technisch-biologischen Bauweisen verbundenen strukturellen Maßnahmen Verbesserungen der ökologischen Situation in den Uferbereichen bewirken können. Inwieweit technisch-biologische Ufersicherungen z. B. auch Beiträge zur Umsetzung der Nationalen Strategie zur Biologi-

schen Vielfalt des *BMU*, d. h. zum Erhalt und zur Förderung der Biologischen Vielfalt leisten können, wurde an der 1989 eingerichteten Versuchsstrecke Stolzenau untersucht, in der über viele Jahre hinweg ein vegetationskundliches Monitoring durchgeführt wurde. In dieser Versuchsstrecke wurde das vorhandene Deckwerk aus Schüttsteinen zurückgebaut, das Ufer teilweise abgeflacht und durch verschiedene technisch-biologische Ufersicherungsmaßnahmen gesichert, z. B. durch die Anpflanzung von Röhrichten oder durch Weidenspreitlagen. Die an das Ufer angrenzenden ursprünglich intensiv beweideten Flächen (vgl. Abbildung 5, linkes Foto) wurden aus der Nutzung genommen. Die zur Ufersicherung eingebrachten pflanzlichen Bauweisen haben sich bis heute zu einem sehr strukturreichen naturnahen Röhricht- und Weichholzaengürtel entwickelt (vgl. Abbildung 5, rechtes Foto). Eine Unterhaltung dieser Flächen war bisher nicht erforderlich. Diese lange ungestörte Entwicklung war ein wesentlicher Grund für die Auswahl dieser Fläche für Untersuchungen zur Bedeutung technisch-biologischer Bauweisen sowohl hinsichtlich der biologischen Vielfalt als auch möglicher



Abbildung 5: Versuchsstrecke Stolzenau, Situation 1989 (links), heutige Entwicklung (rechts)

Ökosystemleistungen wie Kohlenstoffspeicherung, Denitrifikation oder Phosphatretention. Weitere Ökosystemleistungen und der sich daraus ergebende gesellschaftliche Nutzen z. B. hinsichtlich der Wasserreinhaltung, der Erholungsnutzung usw. wurden in diesem Vorhaben nicht betrachtet.

Die bisherigen Ergebnisse der Versuchsfläche Stolzenau zeigen, dass hinsichtlich der Biologischen Vielfalt der Wert der Maßnahme im Wesentlichen in einer Erhöhung der Habitat- und Strukturvielfalt des Ufers liegt. Eine geringere Bedeutung besteht dagegen bzgl. der pflanzlichen Artenvielfalt.

Hinsichtlich der untersuchten Ökosystemleistungen trägt die größere ober- und unterirdische Biomasse des Weichholzgebüsches zu einer Erhöhung der CO₂-Speicherung bei. Durch die abgeflachten, feuchteren und mit Röhricht bewachsenen Uferbereiche verbessert sich die Denitrifikationsleistung und Phosphatre-

tention jeweils deutlich gegenüber der ursprünglichen Situation (vgl. Abbildung 6) (Symmank & Raupach, 2015).


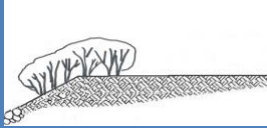

Retentionsleistung	 Weide	 Weichholzgebüsch	 Röhricht
Co ² (Biomasse)	~0 t	~ 24 t	~ 2,8 t
Nitrat	50 kg	125kg	332,5 kg
Phosphat	1 kg	6,25 kg	25,45 kg

Abbildung 6: Versuchsstrecke Stolzenau, Vergleich verschiedener Ökosystemleistungen eines 100 m langen, 5 m breiten und ca. 25 Jahre alten Ufers

4 Ausblick

Aus dem Monitoring der Versuchsstrecke Lampertheim lassen sich bereits jetzt wertvolle Kenntnisse für die Anwendung technisch-biologischer Ufersicherungen auch an stärker hydraulisch belasteten Bundeswasserstraßen gewinnen. Dies gilt ebenso für die mit diesen Bauweisen verbundenen ökologischen und strukturellen Wirkungen. Abschließende Aussagen sind jedoch erst nach Beendigung des Monitorings möglich. Alle bisher im Rahmen des F&E-Vorhabens gewonnenen Erkenntnisse, z. B. die jährlichen Monitoringberichte zur Versuchsstrecke Lampertheim oder Steckbriefe zu einzelnen Bauweisen, z. B. Weidenspreitlagen, werden jeweils aktuell in einem gemeinsamen Internetportal von BAW und BfG veröffentlicht (<http://ufersicherung.baw.de/de/index.html>).

Die Untersuchungen zu technisch-biologischen Ufersicherungen werden in den kommenden Jahren auch an anderen Wasserstraßen fortgeführt und die Maßnahmen wissenschaftlich begleitet, einige davon auch hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Biologische Vielfalt und die ökosystemaren Leistungen. Mit diesen Untersuchungen werden wertvolle Grundlagen für die verstärkte Anwendung technisch-biologischer Bauweisen an den Bundeswasserstraßen bereitgestellt. Dies kann künftig z. B. im Rahmen der Umsetzung der vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit in Zusammenarbeit mit dem Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur ergriffenen Initiative zum Bundesprogramm Blaues Band Deutschland zur Förderung der Renaturierung von Fließgewässern und Auen genutzt werden. Die Maßnahmen kön-

nen dabei wesentlich zur Verbesserung des Biotopverbundes und der ökologischen Verhältnisse an den Bundeswasserstraßen beitragen.

5 Literatur

- BAW, BfG, WSA MA (2012): Bundesanstalt für Wasserbau, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Wasser- und Schifffahrtsamt Mannheim: Einrichtung einer Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen, Rhein km 440,6 bis km 441,6, rechtes Ufer – Erster Zwischenbericht: Randbedingungen, Einbaudokumentation, Monitoring, Karlsruhe/Koblenz, Januar 2012, abrufbar unter <http://ufersicherung.baw.de/de/publikationen/berichte/index.html>.
- BAW, BfG, WSA MA (2015): Bundesanstalt für Wasserbau, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Wasser- und Schifffahrtsamt Mannheim: Einrichtung einer Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen, Rhein km 440,6 bis km 441,6, rechtes Ufer – Vierter Zwischenbericht: Monitoringergebnisse 2014, Karlsruhe/Koblenz, Juli 2015, abrufbar unter <http://ufersicherung.baw.de/de/publikationen/berichte/index.html>.
- Behrendt, K. et al. (2015): Erste Ergebnisse eines Naturversuchs mit technisch-biologischen Ufersicherungen am Rhein bei Worms. KW Korrespondenz Wasserwirtschaft 2015 (8), Nr. 12.
- BMU (2007): Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Herausgeber): Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. Berlin.
- Symmank, L. & Raupach, K. (2015): Inwertsetzung technisch-biologischer Ufersicherungen. In: Bundesanstalt für Gewässerkunde (Hrsg.): Ökosystemleistungen – Herausforderungen und Chancen im Management von Fließgewässern. 5. Ökologisches Kolloquium am 5./6. Mai 2015 in Koblenz. – Veranstaltungen 3/2015, Koblenz, Oktober 2015, S. 62-68. DOI: 10.5675/BfG_Veranst_2015.3.
- Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz-WHG). Neuregelung vom 31. Juli 2009.

Autor:

Hubert Liebenstein

Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz

Tel.: +49 261 1306 5445
E-Mail: Liebenstein@bafg.de

Der Schlitzpass – Ausfluss- oder Überfallströmung

Detlef Aigner

Der Schlitzpass wird oft in Fischaufstiegsanlagen eingesetzt. Seine hydraulische Berechnung basiert auf der Auswertung von Modell- und Naturmesswerten. Hydraulisch ist der Schlitzpass eine extreme Querschnittseinengung mit Rückstau vom Unterwasser. So beziehen sich die Durchflussformeln für den Schlitzpass, z. B. im Merkblatt DWA-M 509, auf den Beckenwasserstand im Oberwasser und sämtliche weiteren Einflussgrößen, wie Anströmung, Einschnürung (Form der Öffnung) und Rückstau aus dem Unterwasserstand sind im Durchflussbeiwert integriert. Das erschwert eine Differenzierung und Übertragung auf andere Bauarten und Formen. Dieser Beitrag schlägt eine Trennung zwischen geometrischen und hydraulischen Einflussgrößen vor.

Stichworte: Schlitzpass, Durchflussbeiwert, Modellversuch, Formbeiwert

1 Einleitung

Die im DWA-Merkblatt 509 angegebene Formel zur hydraulischen Berechnung von Schlitzpässen verbindet hydraulische und geometrische Einflüsse im Durchflussbeiwert. Die damit erhaltene Abhängigkeit dieses Beiwertes vom Wasserstand erschwert seine Differenzierung zu anderen Einflussfaktoren. So werden im DWA-Merkblatt für eine ausgerundete Form des Schlitzpasses gegenüber einer eckigen pauschale Zuschläge von 10 % empfohlen. Andererseits vermitteln unterschiedliche Formeln für den Durchflussbeiwert zwischen strömungsstabilen und dissipierenden Bedingungen im Oberwasser eine hohe Genauigkeit der Durchflussermittlung. Für eine exakte Planung ist eine möglichst genaue Definition der Abhängigkeiten zwischen Schlitzbreiten, Schlitzformen, Beckengeometrien, Wasserständen und Durchfluss erforderlich. Dieser Beitrag geht insbesondere auf die hydraulischen Grundlagen zur Berechnung eines Schlitzpasses und die diese Berechnung beeinflussenden Größen ein. In diesem Beitrag wird eine Trennung zwischen den einzelnen Einflussgrößen im Durchflussbeiwert vorgeschlagen.

2 Rückgestauter Ausfluss aus Seitenöffnungen

In den Grundlagenbüchern der Hydromechanik gibt es keinen direkten Berechnungsansatz für den Schlitzpass. Eine gewisse Ähnlichkeit besteht zwischen der Strömung in einem Schlitzpass und der Strömung aus einem teilweise rückgestauten Seitenauslass. Nach Bollrich (2013) kann man den Ausfluss aus einer teilweise rückgestauten, rechteckigen Öffnung mit der Breite b aus zwei Teilen zusammengesetzt berechnen (Abbildung 1). Den oberen Teilausfluss Q_o mit der Differenz $a - h_u$ und den unteren Teilabfluss Q_u mit der Unterwasserhöhe h_u .

Wird die Anströmgeschwindigkeit berücksichtigt, kann anstelle von h mit der Energiehöhe $h_E = h + v^2/2g$ gerechnet werden (Aigner, 2015).

Der obere Teilabfluss ergibt sich zu:

$$Q_o = \frac{2}{3} \cdot \mu_o \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot \left[(h - h_u)^{3/2} - (h - a)^{3/2} \right] \quad (1)$$

Mit der Querschnittsfläche der oberen Ausströmöffnung $A_o = b \cdot (a - h_u)$ und der zur Verfügung stehenden Energiehöhe $\Delta h = h - h_u$ kann man schreiben.

$$Q_o = \frac{2}{3} \cdot \left[\frac{\Delta h^{3/2} - (h - a)^{3/2}}{(a - h_u) \cdot \Delta h^{1/2}} \right] \cdot \mu_o \cdot A_o \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta h} \quad (1a)$$

Umgestellt ergibt sich:

$$Q_o = \frac{2}{3} \cdot \mu_o \cdot \left[1 - \left(\frac{h - a}{\Delta h} \right)^{3/2} \right] \cdot \frac{\Delta h}{a - h_u} \cdot A_o \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta h} \quad (1b)$$

Für den unteren Teil mit der Öffnungsfläche $A_u = b \cdot h_u$ wird der Ausfluss:

$$Q_u = \mu_u \cdot b \cdot h_u \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta h} = \mu_u \cdot A_u \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta h} \quad (2)$$

Damit wird der Gesamtabfluss für den teilweise rückgestauten Ausfluss aus Seitenöffnungen:

$$Q = Q_o + Q_u = \left[\frac{2}{3} \cdot \mu_o \cdot \left(1 - \left(\frac{h - a}{\Delta h} \right)^{3/2} \right) \cdot \frac{\Delta h}{a - h_u} \cdot A_o + \mu_u \cdot A_u \right] \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta h} \quad (3)$$

$$Q = Q_o + Q_u = \left[\frac{2}{3} \cdot \mu_o \cdot \left(1 - \left(\frac{h - a}{\Delta h} \right)^{3/2} \right) \cdot \frac{\Delta h}{a} + \mu_u \cdot \frac{h_u}{a} \right] \cdot b \cdot a \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta h} \quad (3a)$$

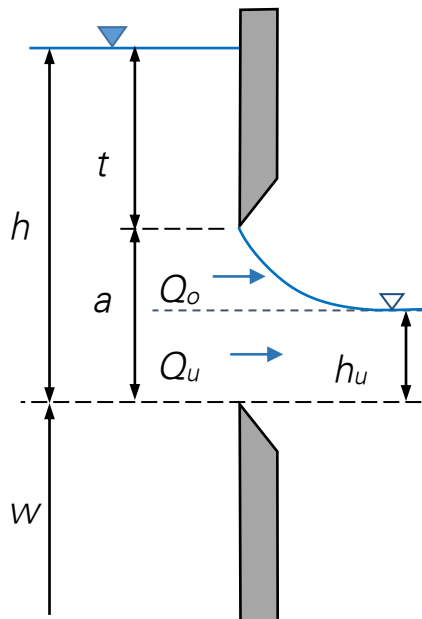


Abbildung 1: Seitenansicht – Ausfluss aus Seitenöffnung

Unter der Annahme, dass für die Teilausflüsse etwa gleiche Strömungseinschnürungen vorliegen, kann man die Ausflussbeiwerte gleich setzen, so dass sich $\mu = \mu_o = \mu_u$ ergibt.

$$Q = Q_o + Q_u = \left[\frac{2}{3} \cdot \left(1 - \left(\frac{h-a}{\Delta h} \right)^{3/2} \right) \cdot \frac{\Delta h}{a} + \frac{h_u}{a} \right] \cdot \mu \cdot b \cdot a \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta h} \quad (3b)$$

$$Q = \mu_G \cdot \mu \cdot b \cdot a \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta h} \quad (3c)$$

Geometriefaktor:

$$\mu_G = \frac{2}{3} \cdot \left(1 - \left(\frac{h-a}{\Delta h} \right)^{3/2} \right) \cdot \frac{\Delta h}{a} + \frac{h_u}{a} \quad (4)$$

Für eine Seitenöffnung mit sehr großem Überstau $h \gg a$ wird der Geometriefaktor $\mu_G = 1$ (Abbildung 2).

Für $h = a$ ergibt sich:

$$\mu_G = \frac{2}{3} + \frac{1}{3} \cdot \frac{h_u}{h}$$

Damit könnte dieser Berechnungsansatz mit $w = 0$ zur Berechnung eines Schlitzpasses verwendet werden.

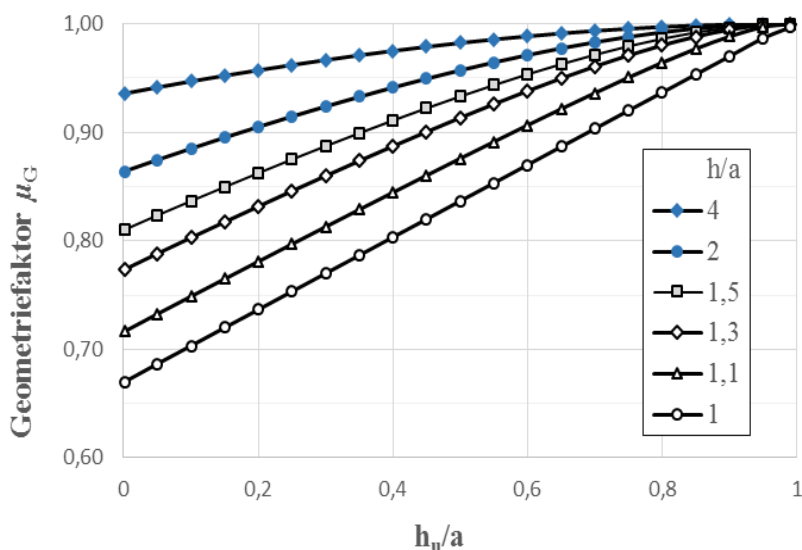


Abbildung 2: Geometrieinfluss für den Ausfluss aus einer Seitenöffnung

3 Ausfluss aus Schlitzpass ohne Rückstau

Beim freien Ausfluss aus einem Schlitzpass ohne Rückstau kommt es zu keiner Beeinflussung aus dem Unterwasser. Der Ausfluss wird hauptsächlich durch die Geometrie der Öffnung und den Oberwasserstand bestimmt. Mit $h_u = 0$ also $h = \Delta h$ lässt sich der Ausfluss Q in Anlehnung an eine Überfallfunktion für die Schlitzbreite $b = s$ mit folgender Gleichung ermitteln.

$$Q = Q_o = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot s \cdot \sqrt{2g} \cdot \Delta h^{3/2} \quad (1c)$$

Durch den Vergleich von Messungen, Simulationen und theoretischen Betrachtungen konnte gezeigt werden, dass die Geschwindigkeitsverteilung beim Ausfluss aus einem nicht rückgestauten Schlitz prinzipiell der theoretischen Betrachtung nahe kommt (Abbildung 3). Die Ergebnisse der numerischen Simulation ergeben etwas geringere Werte als die Theorie wogegen die Messergebnisse aus dem physikalischen Modell bedeutend geringer sind als Theorie und Numerik. Die Geschwindigkeitsverteilung ist relativ unabhängig von der Theorie, so dass man annehmen kann, dass der Abflussbeiwert hauptsächlich durch die seitliche Strahleinschnürung und durch die Abweichungen der Geschwindigkeitswerte zustande kommt.

Die Ableitung der Abflussformel entspricht dem Vorgehen von Weisbach (*Bollrich*, 2013), wobei die Integrationsgrenzen hier zwischen $z = 0$ und der Grenztiefe $z = h_{gr} = \frac{2}{3} h_E$ definiert werden.

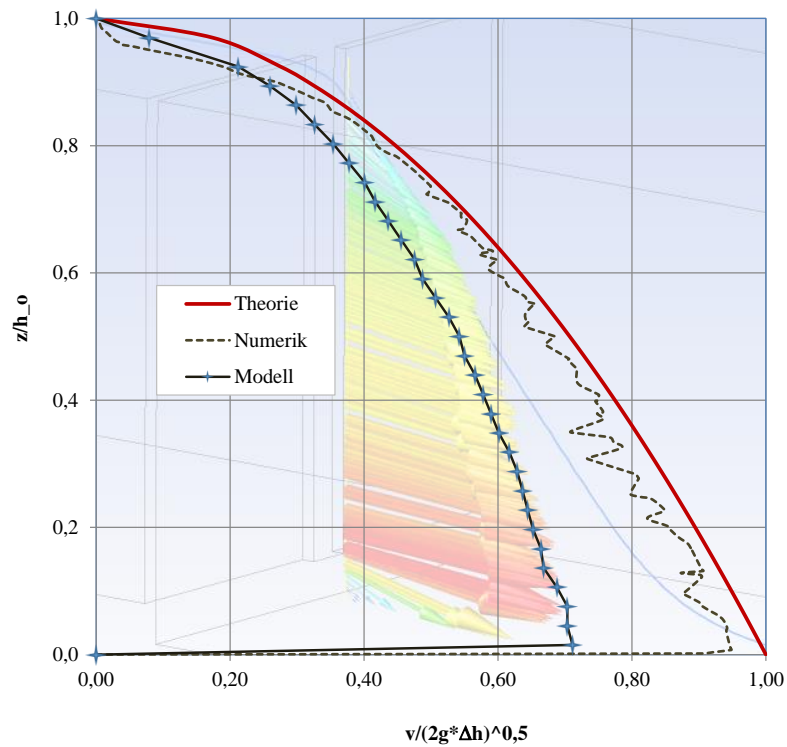


Abbildung 3: Vergleich der normierten horizontalen Geschwindigkeitsverteilung im Schlitzpass zwischen theoretischer Betrachtung, numerischer und physikalischer Simulation

Damit ergibt sich theoretisch der Abfluss als Überfallfunktion ohne Rückstau aus folgenden Gleichungen.

Aus dem Bernoulli-Ansatz kann die Geschwindigkeit in Spaltmitte als Funktion der Variablen z geschrieben werden:

$$v(z) = \sqrt{2g(h_E - z)}$$

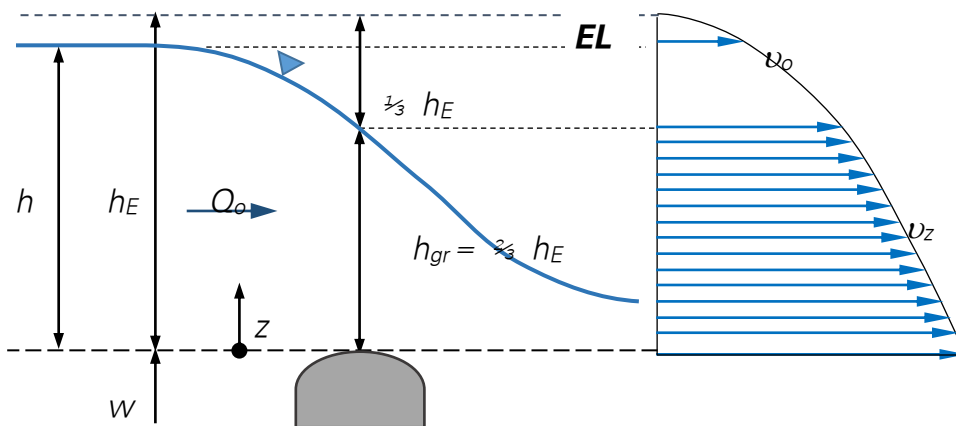


Abbildung 4: Zur Ableitung der Abflussformel ohne Rückstau für einen Überfall

Die Integration über z und der konstanten Spaltbreite s liefert:

$$Q_o = s \cdot \sqrt{2g} \cdot \int_{z=0}^{z=\frac{2}{3}h_E} \sqrt{h_E - z} \cdot dz$$

$$Q_o = s \cdot \sqrt{2g} \cdot \left(-\frac{2}{3}\right) \cdot \left[\left(h_E - \frac{2}{3} \cdot h_E\right)^{3/2} - (h_E)^{3/2} \right]$$

Damit wird $Q_o = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot s \cdot \sqrt{2g} \cdot h_E^{3/2}$ (5)

mit dem theoretischen Abflussbeiwert $\mu = \left(1 - \frac{1}{3^{3/2}}\right) = 0,80755$ und $h_E = h + \frac{v_o^2}{2g}$.

Die Berücksichtigung des Geschwindigkeitsanteiles in h_E spielt hier eine wichtige Rolle, da die Anströmgeschwindigkeit einen entscheidenden Einfluss auf den Abfluss im Schlitzpass von Fischpässen haben kann.

Die Untersuchungen am physikalischen Modell u. a. im Rahmen der Diplomarbeit von *Sanni* (2015) lieferten diesen Abflussbeiwert am scharfkantigen rechteckigen Schlitzpass mit der Schlitzbreite von 51 mm in einem Versuchskanal von 30 cm Breite.

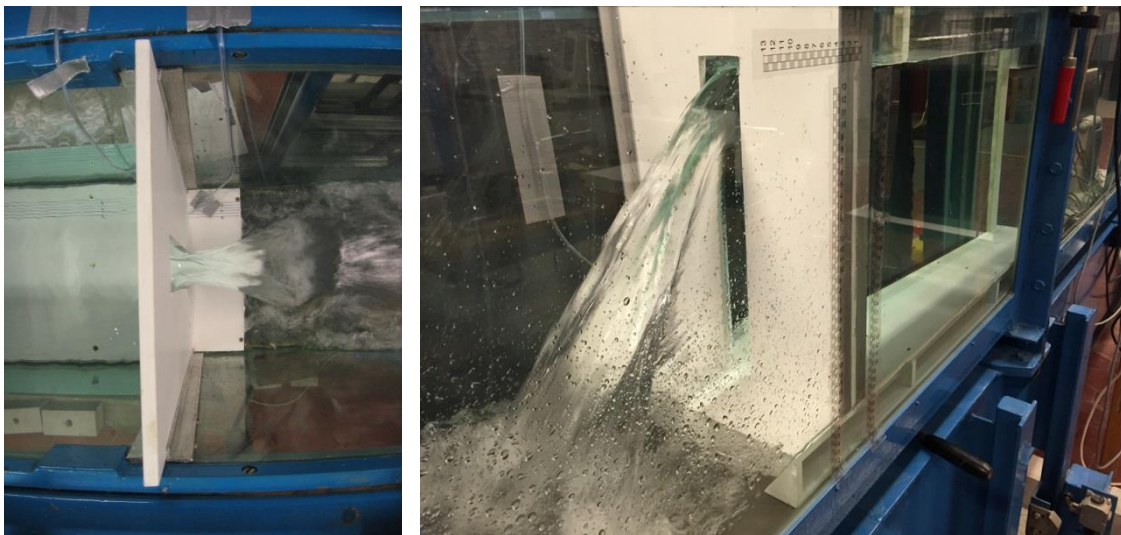


Abbildung 5: Schlitzpass, frei austretender Strahl am physikalischen Modell (rechts) mit sichtbarer Strahleinschnürung in der Draufsicht (links)

4 Ausfluss aus Schlitzpass mit Rückstau

Analog zum rückgestauten Ausfluss aus Seitenöffnungen kann der Teilausfluss für den Anteil des rückgestauten Schlitzpasses nach Gleichung (2) berechnet

werden. Dabei wird die Öffnungsbreite b zur Schlitzbreite s . Setzt man den Gesamtabfluss Q nun aus diesen zwei Anteilen Q_o und Q_u zusammen, mit $h_E = \Delta h$ für den oberen freien Teil und h_u für den unteren rückgestauten Anteil, so erhalten wir folgende Gleichung:

$$Q = Q_o + Q_u = \frac{2}{3} \cdot \mu_o \cdot s \cdot \Delta h \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta h} + \mu_u \cdot s \cdot h_u \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta h} \quad (6)$$

Es ist sofort erkennbar, dass diese Gleichung mit der Ausflussgleichung der Seitenöffnung (Gleichung (3b)) für $h = a$ und $b = s$ übereinstimmt.

Die Gleichung kann durch Umformung unter Verwendung von dimensionslosen Größen folgendermaßen geschrieben werden:

$$Q = \left(\frac{2}{3} \cdot \mu_o \cdot \frac{\Delta h}{h_o} + \mu_u \cdot \frac{h_u}{h_o} \right) \cdot s \cdot h_o \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta h} \quad (6a)$$

Dabei stellt h_o den Wasserstand vor dem Schlitz (Oberwasser) und h_u den Wasserstand nach dem Schlitz (Unterwasser), s die Schlitzbreite und Δh die Wasserspiegeldifferenz zwischen Oberwasser und Unterwasser dar.

Im Rahmen von studentischen Arbeiten wurden Messungen an einem Schlitzpass mit unterschiedlichen Geometrien durchgeführt. Dabei wurden die Ausflussbeiwerte ohne Rückstau und mit Rückstau, für scharfkantige Formen und ausgerundete Schlitz, für rechteckige Öffnungen und trapezförmige Öffnungen ermittelt.

Im Gegensatz zu den im DWA-Merkblatt 509 vorgeschlagenen Formeln zur Berechnung des Durchflusses von einfachen Schlitzpässen ergaben sich mit o. g. Gleichung annähernd konstante, nur von der Form des Schlitzpasses abhängige Beiwerte.

5 Messwerte

Die an einem Modellgerinne mit der Breite $B = 30$ cm durchgeführten Untersuchungen wurden mit den oben aufgestellten Formeln ausgewertet. Die Untersuchungen wurden für einen geraden, scharfkantigen Schlitz der Breite $s = 51$ mm, für einen geraden, ausgerundeten Schlitz der Breite $s = 44$ mm sowie für einen scharfkantigen und einen ausgerundeten trapezförmigen Schlitz der Sohlbreite $s = 51$ mm bzw. $s = 44$ mm und den Neigungen m durchgeführt. Die Untersuchungen erfolgten erst für einen nicht rückgestauten Ausfluss. Um einen Rückstau vollständig zu vermeiden und das Wasser im Unterwasser sofort abzuleiten, wurde nach dem Schlitz ein Sohlabsatz im Gerinne eingebaut (Abbildung 5).

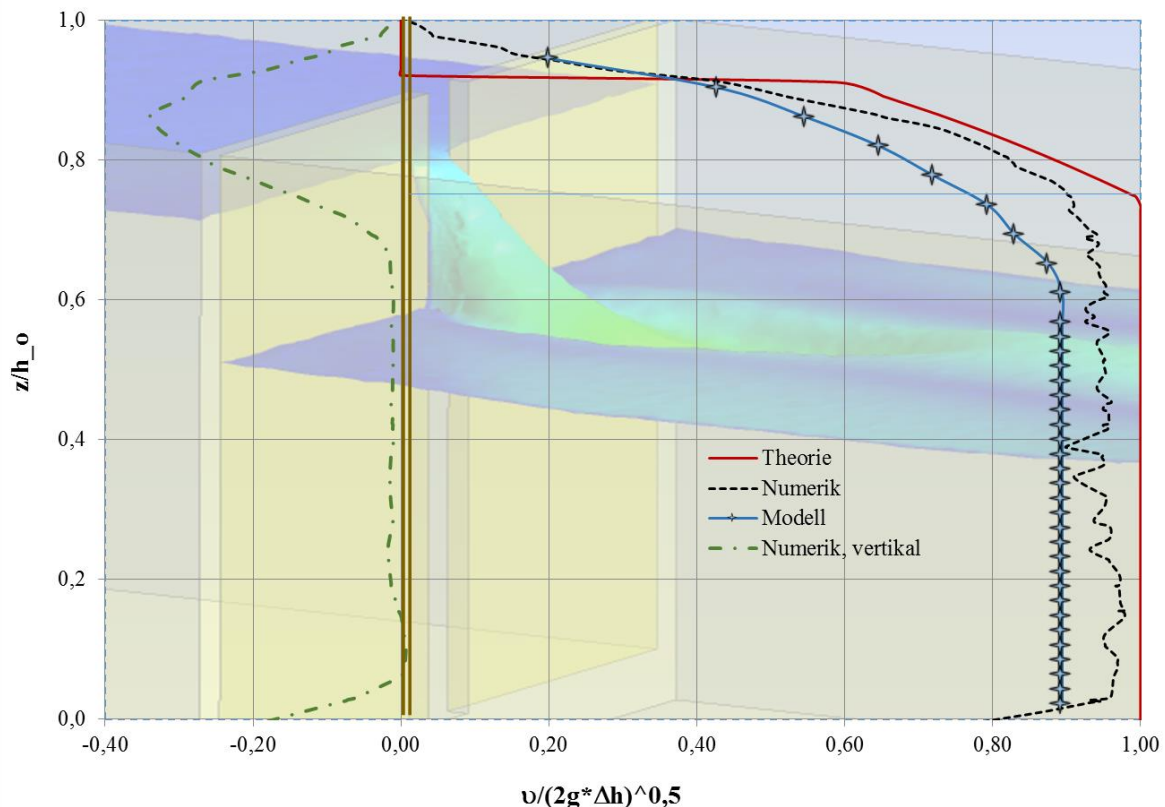


Abbildung 6: Geschwindigkeitsverteilung beim rückgestauten Schlitzdurchlass, theoretisch, numerisch und am Modell

Die Auswertung der Messungen mit Gleichung (1c) bzw. (6a) für $h_u = 0$ lieferte den Wert μ_o , welcher in Abbildung 7 eingetragen ist. Die Auswertung der Messungen zeigte einen fast konstanten Verlauf mit einem Mittelwert von $\bar{\mu}_o = 0,651$ und einem leichten Anstieg des Wertes mit steigendem h_o .

Mit diesem $\bar{\mu}_o$ erfolgte dann die Auswertung der Gleichung (6a) für die Messungen mit $h_u > 0$ zur Ermittlung des zweiten Beiwertes μ_u . Wie erwartet bzw. angenommen wurde, waren beide Werte fast gleich groß. Beide Werte sind vor allem Einschnürungsbeiwerte, die auf die scharfkantige Form der schlitzförmigen Öffnung zurückzuführen sind. Der Einfluss anderer Größen, wie z. B. der Wasserstände h_u und h_o ist hier vernachlässigbar. Der Einfluss des Breitenverhältnisses der Gerinnebreite zu Spaltbreite und der Einfluss der Anströmung wurden nicht untersucht. Die Auswertung des Beiwertes μ_u (siehe Abbildung 7) zeigte eine leichte Streuungen. Die Werte ordneten sich zwischen 0,605 und 0,679 ein und wurden im Mittel mit $\mu_u = 0,643$ bestimmt.

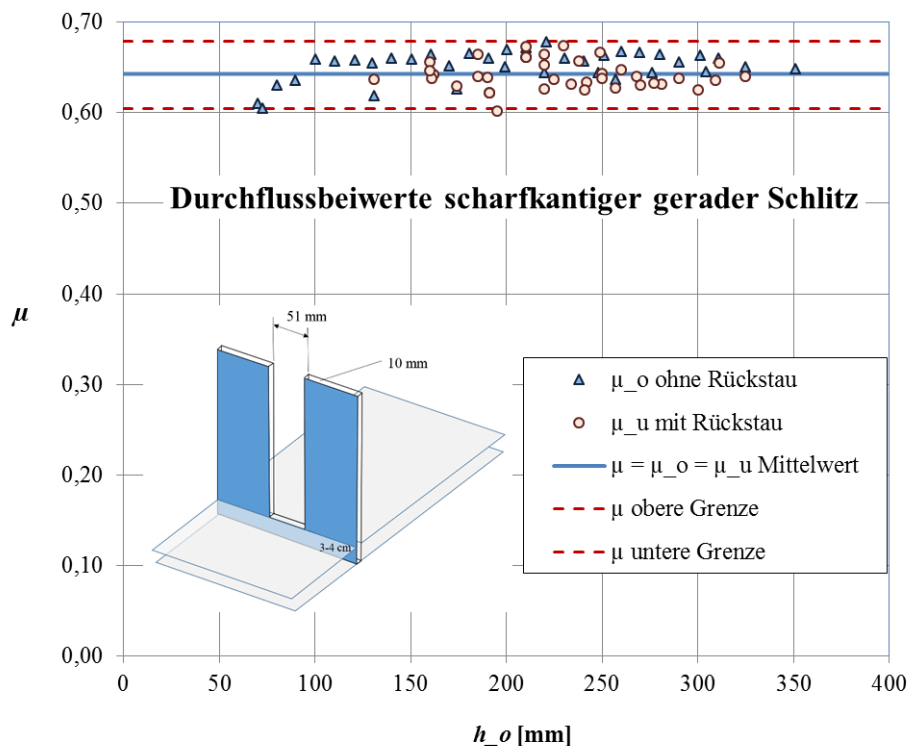


Abbildung 7: Ausflussbeiwerte scharfkantig gerader Schlitz ohne und mit Rückstau sowie als Mittelwert

Damit wurde die Annahme bestätigt, dass die Ausflussbeiwerte für beide Teilabflüsse gleichgesetzt werden können, so dass gilt: $\mu = \mu_o = \mu_u$ und

$$Q = \mu \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot \frac{\Delta h}{h_o} + \frac{h_u}{h_o} \right) \cdot s \cdot h_o \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta h} = \mu \cdot \left(h_o - \frac{1}{3} \cdot \Delta h \right) \cdot s \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta h} \quad (6b)$$

Werden die Messungen mit dieser Gleichung (6b) ausgewertet, ergibt sich der Ausflussbeiwert für scharfkantige Schlitzöffnungen im Mittel zu $\mu = 0,645$ bei einem Breitenverhältnis von $b/B=0,17$.

Der gerade, rechteckige Schlitz wurde für eine weitere Untersuchung mit kreisförmig abgerundeten Kanten mit einem Durchmesser von 15 mm ausgeführt. Die Schlitzweite verringerte sich gegenüber der scharfkantigen Form von 51 mm auf $s = 44$ mm. Der Überfallbeiwert erhöhte sich durch die Ausrundung um über 23% auf im Mittel $\mu = 0,796$.

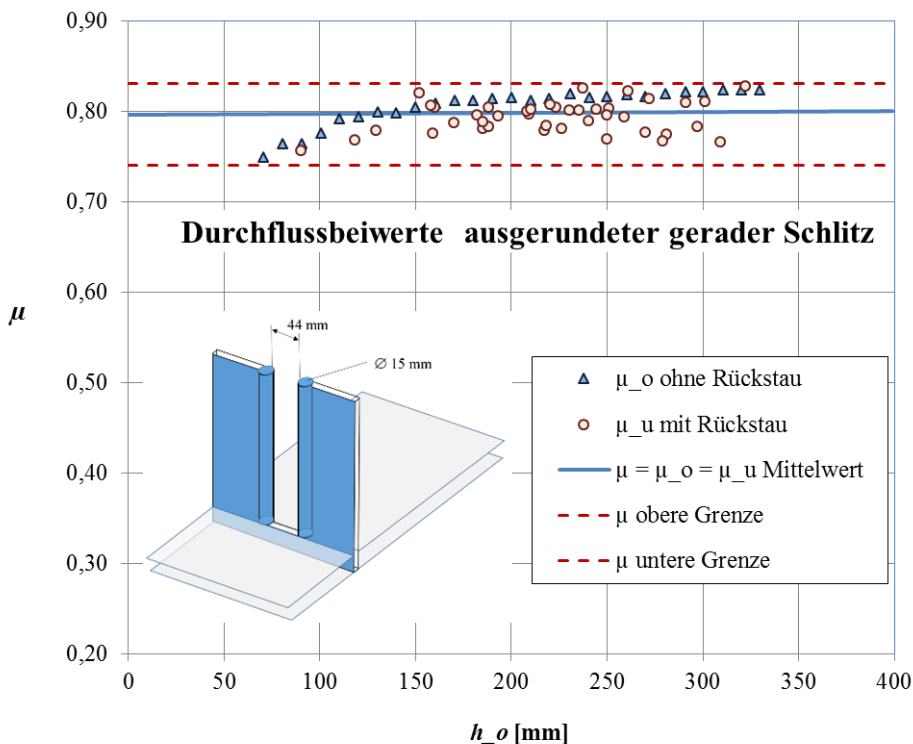


Abbildung 8: Ausflussbeiwerte ausgerundeter gerader Schlitz ohne und mit Rückstau sowie als Mittelwert

6 Trapezprofil

Für das Trapezprofil kann eine ähnliche Betrachtung durchgeführt werden. Hier besteht die Unsicherheit in den Integrationsgrenzen für Q_o , da die Grenztiefe für das Trapezprofil keine direkte Lösung zulässt. Wird näherungsweise die Grenztiefe für das Rechteckprofil verwendet, wird die Lösung allerdings etwas überschätzt. Das Integral für das Trapezprofil des freien Abflusses mit $h_E \cong \Delta h$ lautet:

$$Q_o = \int_{z=0}^{z=\frac{2}{3}\Delta h} v(z) \cdot s(z) \cdot dz = \int \left(\sqrt{2g \cdot (\Delta h - z)} \cdot (s + 2 \cdot m \cdot z) \right) \cdot dz$$

Die Lösung dieses Integrals lautet:

$$Q_o = \mu_o \cdot s \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta h} \cdot \Delta h \cdot \left(\frac{2}{3} + 0,406 \cdot \frac{m \cdot \Delta h}{s} \right)$$

Mit dem rückgestauten Abfluss Q_u ergibt sich der Gesamtabfluss Q .

$$Q_u = \mu_u \cdot s \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta h} \cdot h_u \cdot \left(1 + \frac{m \cdot h_u}{s} \right)$$

$$Q = Q_o + Q_u = \mu \cdot s \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta h} \cdot \left[\Delta h \cdot \left(\frac{2}{3} + 0,406 \cdot \frac{m \cdot \Delta h}{s} \right) + h_u \cdot \left(1 + \frac{m \cdot h_u}{s} \right) \right] \quad (7)$$

Die am gleichen Modellgerinne der Breite $B = 30$ cm durchgeführten Versuche mit den gleichen Schlitzbreiten an der Sohle und den Neigungen von $m = 0,061$ scharfkantig und $m = 0,064$ ausgerundet ergaben ähnliche über h_o konstante Ausflussbeiwerte wie die für den rechteckigen Querschnitt.

Für das scharfkantige Trapezprofil ergab sich ein Mittelwert von $\mu = 0,68$ und für das ausgerundete trapezförmige Profil ein Mittelwert von $\mu = 0,839$.

7 Zusammenfassung

Die Berechnungsformel des Durchflusses durch einen Schlitzpass (Gleichung (6b) Rechteck und Gleichung (7) Trapez) kann aus zwei Teilen, der Ausflussformel und der Überfallformel zusammengesetzt werden. Die sich daraus ergebenden Durchflussbeiwerte μ sind formabhängig aber nicht abhängig vom Wasserstand oder Differenzwasserstand. Sie werden vor allem durch die Einschnürung des Durchflussquerschnittes, der effektiven Durchflussfläche, bestimmt. Diese Einschnürung wird bei scharfen Kanten größer als bei ausgerundeten wodurch der effektive Durchflussquerschnitt kleiner wird und damit auch der Abflussbeiwert. Da diese Einschnürung vor allem formabhängig ist, ist es möglich, Beiwerte anderer Untersuchungen, z. B. für scharfkantige oder ausgerundete Öffnungen, auf den Schlitzpass zu übertragen. Die im DWA-Merkblatt 509 angegebenen Beiwerte zur Berechnung eines Schlitzpasses sind nicht frei von den Einflüssen des Wasserstandes bzw. des Differenzwasserstandes und können deshalb schwer eingeschätzt werden. Die Trennung zwischen wasserstandsabhängigen und geometrischen Einflüssen und damit eine Reduzierung des Durchflussbeiwertes hauptsächlich auf die Formeinflüsse, wie es auch bei anderen hydraulischen Überfall- oder Durchflussbeiwerten üblich sind, wird für die Anwendung auf den Schlitzpass empfohlen. Damit ergibt sich auch eine Möglichkeit zur Berechnung der Wasserstände in den einzelnen Becken entlang der Fischtreppe insbesondere bei schwankenden Unterwasserständen. Aus der Bedingung der Kontinuität $Q_i = Q_{i+1}$ für alle Becken lässt sich z. B. mit Einsetzen der Gleichung (6b) für den rechteckigen Schlitz eine iterative Auswertung der Wasserstände entlang der gesamten Fischtreppe mit folgender impliziten Gleichung durchführen.

$$\frac{\Delta h_{i+1}}{\Delta h_i} = \left(\frac{3 \cdot h_{oi} - \Delta h_i}{3 \cdot h_{oi+1} - \Delta h_{i+1}} \right) \quad (8)$$

Daraus ergeben sich Senkungs- und Staulinie im letzten Abschnitt einer Fisch-
treppe bei Störungen des Unterwasserstandes, so wie sie aus Naturmessungen
bekannt sind.

8 Literatur

- Aigner, D.; Bollrich, G. (2015): Handbuch der Hydraulik. 1. Auflage, Beuth Verlag
GmbH, Berlin-Wien-Zürich 2015.
- Bollrich, G. (2013): Technische Hydromechanik 1 – Grundlagen. 7. Auflage, Beuth
Verlag GmbH, Berlin-Wien-Zürich 2013.
- DWA M-509 (2014): Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke – Gestaltung,
Bemessung, Qualitätssicherung. Mai 2014.
- Sanni, P. M. (2015): Analyse der hydraulischen Parameter eines Schlitzdurchlasses.
Diplomarbeit, TU Dresden, Institut für Wasserbau und THM, 2015.

Autor:

Prof. Dr.-Ing. habil. Detlef Aigner

Institut für Wasserbau und THM
TU Dresden, 01062 Dresden

Tel.: +49 351 46334725
Fax: +49 351 46337120
E-Mail: detlef.aigner@tu-dresden.de

Erarbeitung von Klassifizierungsschemata für die Bewertung der Durchgängigkeit von Fließ- gewässern für Fische und Sedimente

Rita Keuneke
Monika Donner
Christoph Linnenweber

Die Bestandsaufnahme zur Wasserrahmenrichtlinie hat gezeigt, dass wegen der engen Bindung der biologischen Komponenten an die Hydromorphologie, ein großer Teil der erforderlichen Maßnahmen zur Erreichung des guten Zustands auf die Verbesserung der Hauptkomponenten Morphologie, Durchgängigkeit und Wasserhaushalt zielen muss (LAWA, 2014).

Für jede dieser drei Komponenten werden spezifische Klassifizierungsregeln benötigt. Aus diesem Grund ist die Ingenieurbüro Floecksmühle GmbH, Aachen, von der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) mit dem Länderfinanzierungsprogramm (LFP) Projekt „Bewertung der Durchgängigkeit von Fließgewässern für Fische und Sediment“ beauftragt worden. Es sollen Regeln zur Klassifikation der Durchgängigkeit von Fließgewässern bestimmt werden, die einerseits als Grundlage zur Bewertung der Durchgängigkeit für die Bewirtschaftungsplanung und andererseits das Ausfüllen der „reporting sheets“ für die Berichterstattung an die EU geeignet sind. Das Klassifikationsschema soll für drei verschiedene räumliche Einheiten (Standort, Wasserkörper und Gewässersystem) jeweils für die Durchgängigkeit hinsichtlich des Fischaufstiegs, Fischabstiegs und der Sedimentdurchgängigkeit erstellt werden und jeweils eine Einteilung in fünf Stufen aufweisen.

Stichworte: Durchgängigkeit, Wasserrahmenrichtlinie, Bewertung, Klassifikation, Fischaufstieg, Fischabstieg, Sediment

1 Zielsetzung

Im Rahmen dieses Vorhabens sollen fachlich fundierte Bewertungsmethoden und Klassifizierungsschemata für jeden der drei Durchgängigkeitsaspekte Fischaufstieg, Fischabstieg und Sedimentdurchgängigkeit entwickelt werden. Die Bewertungsmethoden müssen geeignet sein, für die Gewässerbewirtschaftung relevante Belastungen zu identifizieren und geeignete Verbesserungsmaßnahmen ableiten zu können. Aus den Bewertungsmethoden wird jeweils eine zweckmäßig differenzierte Klassifikation für das Reporting abgeleitet. Dabei

sollen die räumlichen Ebenen Standort, Wasserkörper und Gewässersystem betrachtet werden.

Wesentliche Grundlage ist zunächst jeweils eine Systemanalyse, welche die wesentlichen Funktionen und Wirkzusammenhänge aufzeigen soll.

2 Das Ökosystem Gewässer

Fließgewässerökosysteme werden natürlicherweise durch ein komplexes Wirkungsgefüge abiotischer und biotischer Faktoren beeinflusst, die direkt, indirekt oder in Kombination das Strukturinventar und die Lebensraumqualitäten eines Gewässers beeinflussen.

Zu nennen sind hier vor allem die geologischen Bedingungen wie Höhenlage und Gefälle, die Beschaffenheit der anstehenden Gesteine sowie die klimatischen Bedingungen wie die Niederschlagsverhältnisse, welche die Wasserführung, das Abflussverhalten und die hydrochemischen Eigenschaften des Wassers bestimmen und damit das Bild der Gewässerlandschaften prägen (DWA, 2014) und die Gewässerbiologie beeinflussen.

Die Strukturen der Fließgewässer wurden im Laufe der Geschichte durch mittelbare Eingriffe (z. B. Gewässerausbau, Landnutzung, Abflussregulierungen) und unmittelbare Eingriffe (z. B. Baggerung, Querbauwerke) anthropogen überformt.

In der Konsequenz treten flächendeckend Phänomene, wie beispielsweise strukturverarmte Fließgewässer, Tiefenerosion mit einhergehender Entkopplung von Fluss und Aue, nicht gewässertypspezifische bewegliche durch Sand geprägte Gewässersohlen, vergreiste und funktionslos gewordene Flussbettstrukturen oder Kolmatierungen der Gewässersohle auf.

Die Beeinträchtigung der Hydromorphologie ist daher einer der maßgeblichen Gründe für die Verfehlung der Ziele der EG-WRRL. Neben der Morphologie und dem Wasserhaushalt kommt der Durchgängigkeit für die Aquafauna und das Sediment eine wesentliche Rolle zu.

2.1 Systemanalyse zur Fischdurchgängigkeit

Querbauwerke behindern oder verhindern die stromaufwärts gerichtete Wanderung von Fischen und aquatischen Wirbellosen, wenn die durch sie bedingten hydraulischen Verhältnisse und die Gestaltung des Gewässerbetts die physiologischen Fähigkeiten der aufwanderwilligen Organismen überschreiten. Insbesondere folgende Parameter sind für die Passierbarkeit von Querbauwerken entscheidend:

- Die Fische müssen entsprechend ihrem normalen Verhalten in der fließenden Welle wandern können.
- Die maximale Fließgeschwindigkeit an jedem Gefällesprung und die Energie, die zur Überwindung eines Wanderhindernisses insgesamt erforderlich ist, dürfen artspezifische Grenzwerte nicht überschreiten.
- Wirbellose benötigen eine ausreichend strukturierte, durchgehende raue Sohle.

Die Aufwanderung wird auch beeinträchtigt, wenn eventuell bestehende Wanderkorridore nicht oder nur mit erheblichem Zeit- bzw. Energieverlust aufgefunden werden können. Die Auffindbarkeit von Wanderkorridoren kann durch konkurrierende Strömungen (z. B. durch Gewässerverzweigungen wie die Mündung des Unterwasserkanals einer Wasserkraftanlage) oder durch kleinräumige Sackgassenwirkungen in Folge falsch platzierter Einstiege in Fischaufstiegsanlagen eingeschränkt werden.

Diadrome Arten sind in besonderem Maße von Einschränkungen der Aufstiegsmöglichkeiten betroffen, da bereits ein einziges stromaufwärts gelegenes unpassierbares Querbauwerk zum Erlöschen der Populationen führen kann.

Die stromabwärts gerichtete Wanderung aquatischer Organismen wird durch Querbauwerke und Wasserkraftanlagen nicht vollständig unterbunden und ist im Gegensatz zur Aufwanderung grundsätzlich auch ohne die Installation spezieller Fischwege möglich. Somit stellt sich vor allem die Frage, ob bzw. in welchem Umfang abwandernde Exemplare geschädigt oder getötet werden.

Die Gefährdung der aquatischen Fauna hängt vor allem von der Wahrscheinlichkeit ab, mit der abwandernde Exemplare in sie gefährdende Anlagenteile gelangen. Verletzungsrisiken werden durch die Dimension und die Konstruktionsweise des Querbauwerks, von einer ggf. betriebenen Wasserkraftanlage und der zugehörigen Turbine bzw. von in Betrieb befindlichen Wasserrädern bestimmt.

Die Schadensraten kumulieren für abwandernde Fische, die in vielfach gestauten Gewässern mit Wasserkraftnutzung weite Strecken zurücklegen, da sich die Überlebensraten an den einzelnen Einzelstandorten über die gesamte Staukette multiplizieren. Dadurch nimmt die Gesamtüberlebensrate entlang des Gewässers ab.

Bei der Fischdurchgängigkeit ist daher der gesamte Lebensraum, insbesondere der potamodromen und diadromen Arten zu betrachten. Im Fall der Lachse beispielsweise alle Habitate und Wanderwege zwischen den Laichgebieten in den Bächen und dem Hauptlebensraum Meer. Generell ist für einen genetischen

Austausch auch auf Verbindungsgewässer zwischen Lebensräumen und Gewässersystemen zu achten.

2.2 Systemanalyse zur Sedimentdurchgängigkeit

Für die Beschreibung der Sedimentdurchgängigkeit ist unabhängig von der Betrachtungsebene der Sedimenthaushalt bzw. der -transport mit der Morphologie zu erfassen.

Der Sedimenttransport im Einzugsgebiet wird geprägt von Niederschlags-Abflussprozessen und dem Sedimenteintrag ins Gewässer infolge Oberflächenerosion. Im Fließgewässer selbst findet der Sedimenttransport je nach Korngröße als Schwebstoff-, Geschiebe- oder Schwimmfrachttransport statt. Hervorgerufen wird der Transport aus der Interaktion des Abflussgeschehens mit dem anstehenden Sediment und der Gewässermorphologie. Diese Interaktion spiegelt sich in dem Fließwiderstand der Gewässersohle (u. a. Erosionswiderstand), der Menge und Art des Feststofftransports und morphologischen Veränderung wieder (ATV-DVWK, 2003). Auch Vegetationen im und am Gewässer und anthropogene Eingriffe beeinflussen die morphologische Entwicklung des Gewässers und des Vorlandes. Daher sind zunächst die Prozesse innerhalb ganzer Gewässersysteme zu betrachten, um alle potenziellen Ursachen von Belastungen erkennen zu können.

Die Skalierung der Bewertungsverfahren für die EG-WRRL erfolgt anhand spezifischer Referenzen, die repräsentativ für den sehr guten ökologischen Zustand sind. Die typspezifische Differenzierung der Referenzen erfolgt vorrangig auf Basis der morphologischen und der fischbiologischen Typologien. Diese Typologien basieren auf dem heutigen potentiellen natürlichen Zustand.

Inwiefern Bauwerke auf die Hydromorphologie Einfluss nehmen und abiotische Parameter am Standort verändern, hängt maßgeblich von der Art des Bauwerks (Höhe des Bauwerks über der Gewässersohle in Relation zum Sohlgefälle) und dem morphologischen Gewässertyp ab. Je nach Bauwerkstyp kann sich im Oberwasser eine Rückstaustrücke (z. B. Wehre, Schwellen) oder eine Beschleunigungsstrücke (z. B. Absturz, Rampe) ausprägen. In beiden Fällen wird das natürliche Fließregime verändert und weist lokal gewässeruntypische Sediment- und Strukturverhältnisse auf. Die im Unterwasser auftretenden Fließwechsel, aber auch das Sedimentdefizit im Unterwasser von Bauwerken, können Erosionen hervorrufen. Folgende Veränderungen der Sedimentdurchgängigkeit können am Standort eines Querbauwerks auftreten:

- Veränderungen des Sedimenttransports durch Einschnürung, Aufweitung, Begradigungen, Gefälleänderung,

- Rückstau durch Schwellenhöhe: Sedimentation und Abnahme des Sedimenttransportvermögens,
- Überdeckung der natürlichen Sohle mit unnatürlichem Substrat: Hemmung bzw. Unterbinden des Geschiebetransports,
- Uferverbau, Böschungssicherungen: Hemmung oder Unterbindung des lateralen Sedimentdurchgängigkeit zwischen Fluss und Aue,
- Unterbrechung oder Unterbindung der longitudinalen Sedimentdurchgängigkeit (z. B. Wehre, Durchlässe, Dämme),
- Bauwerkssteuerung: Schwall und Sunk führen zur Mobilisierung von Ufer- und Sohlsubstrat.

3 Bestehende Methodenansätze zur Bewertung der Durchgängigkeit

3.1 Bewertung der Fischdurchgängigkeit in den Bundesländern

In den Bundesländern bestehen unterschiedliche Herangehensweisen zur Bewertung der Durchgängigkeit. In vielen Bundesländern ist bereits eine Priorisierung der Oberflächengewässer hinsichtlich der Dringlichkeit zur (Wieder-)Herstellung der Durchgängigkeit, vornehmlich für Fische, vorgenommen worden.

Einige Bundesländer haben außerdem eine Bewertung der Durchgängigkeit vorgenommen. Dies wird zum Teil anhand geometrischer Abmessungen durchgeführt oder auf Basis fischbiologischer Untersuchungen oder Experteneinschätzungen. In einigen Ländern weist diese Bewertung ein System mit drei Stufen auf, in anderen mit vier oder fünf. Die Bewertung bezieht sich in manchen Ländern auf die aufwärts gerichtete Durchgängigkeit, in anderen auf die aufwärts und abwärts gerichtete Durchgängigkeit für Fische.

In wenigen Ländern besteht ein sehr umfangreiches Bewertungssystem, das zu großen Teilen kompatibel mit dem von der LAWA angestrebten System von fünf Stufen und der Aufteilung zum einen in aufwärts und abwärts gerichtete Durchgängigkeit und Sedimentdurchgängigkeit und zum anderen in Standort, Wasserkörper und Gewässersystem ist.

3.2 Bewertung der Sedimentdurchgängigkeit

Um die Funktionsfähigkeit der Sedimentdurchgängigkeit zu bewerten, ist zunächst der potentiell natürliche Gewässerzustand aus hydromorphologischer Sicht zu beschreiben. Hierfür wird auf die morphologischen Gewässertypen von *Briem* (2003) zurückgegriffen.

Grundlagen für die Bewertung der Sedimentdurchgängigkeit bilden vor allem die vorliegenden Bewertungen in den Bundesländern aus der Gewässerstruktur-gütekartierung (LAWA, 2000, 1999). Für die Entwicklung einer erweiterten Bewertungsmethodik für die Sedimentdurchgängigkeit wurden verschiedene Methoden gesichtet: Der Ansatz nach Valmorph, *IKSE* (2014) und *Quick et al.* (2014) zur Durchgängigkeit umfasst eine Bewertung der Querbauwerke (Art und Absturzhöhe) am Standort und auf Ebene des Gewässersystems. Die Verfahren nach *Pottgiesser et al.* (2009), *Harvey et al.* (2008) und *Belletti et al.* (2015) erfassen die Substratausprägung, das terrestrische und aquatische Raumentwicklungspotential, z. T. auch physikalische Indices (z. B. Strömungsenergie), Variabilität der Fließdynamik, lokale Vegetationsindices. *Gurnell et al.* (2014) bewerten die Durchgängigkeit über die Auswirkungen von Bauwerken je Fließgewässertyp anhand einer prozentualen Beeinträchtigung im Sedimenttransport, dem Transport von organischem Material und der Abflussmenge. Das DVWK AB WW 1.5 2003 liefert eine Bewertungsgrundlage für die Auswirkung natürlicher und künstlicher Querstrukturen, indem nicht nur Zustände, sondern auch Wirkzusammenhänge wie veränderte Strömungsverhältnisse, Sedimentbedingungen bis zur veränderten Lebensgemeinschaften beschrieben werden. Das Verfahren zur morphologischen Entwicklungsfähigkeit nach *Hugo et al.* (2012) bewertet die „natürliche“ Entwicklungsfreudigkeit und das „restriktiven“ Entwicklungspotenzial.

Auch wenn sich die Methoden auf unterschiedliche Fragestellungen beziehen, lässt sich für die Sedimentdurchgängigkeit festhalten, dass das Raumentwicklungspotential vom Gewässerbett, über Böschung / Ufer und Aue bis in das Vorland für alle Betrachtungsebene relevant ist. Um Zustände und Prozesse zu erfassen, ist eine grundlegende Bewertung der Abflussdynamik und des Sedimenttransports erforderlich. Ein wichtiger Ausgangspunkt für die Bewertung der Sedimentdurchgängigkeit wird der morphologische und hydrologische Referenzzustand sein.

Die für die Methodenwahl verfügbaren Datengrundlagen in den Ländern werden derzeit noch geprüft. Sollten für einen Parameter keine Daten vorliegen oder Daten nur lückenhaft vorhanden sein, kann auch die Nutzung von vereinfachten Berechnungsansätzen wie z. B. Bodenabtragungsgleichungen, Sedimenttransportansätze, Sedimentationsansätze für das Vorland, die Minimum-Stream-Power Theorie oder die Regimetheorie indirekt zur Bewertung Sedimentdurchgängigkeit genutzt werden.

4 Ausblick

Im nächsten Arbeitsschritt werden aufbauend auf den erarbeiteten Grundlagen die Zieldefinitionen für den sehr guten Zustand hergeleitet. Die Definitionen sind für den Fischaufstieg, den Abstieg und die Sedimente und jeweils für die verschiedenen räumlichen Ebenen „Standort“, „Wasserkörper“ und „Gewässersystem“ zu erarbeiten. Auf Grundlage bestehender und neuer Methoden wird ein Bewertungsverfahren zur Klassifizierung entwickelt.

Um die Anwendbarkeit der Klassifizierungsschemata zu prüfen, werden im Rahmen einer Defizitanalyse konkrete Fließgewässerabschnitte mithilfe der neuen Schemata bewertet. Hierbei wird aufgrund der vorhandenen Datenlage das fachlich Notwendige mit dem derzeit Möglichen abgeglichen. Es werden ggf. Vorschläge zur Vereinfachung der Schemata oder zur zusätzlichen Datenerhebung durch die Länder unterbreitet.

Ziel des Vorhabens ist es geeignete und solide Klassifizierungsregeln für die Durchgängigkeit aufzustellen, die von allen Ländern für die Bewertung und das Ausfüllen der „reporting sheets“ angewandt werden können.

5 Literatur

- Belletti, B.; Rinaldi, M.; Buijse, A. D.; Gurnell, A. M. & Mosselman, E. (2015): A review of assessment methods for river hydromorphology. In: *Environ Earth Science*, 2015 - 73, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014, pp. 2079–2100.
- Briem, E. (2003): Gewässerlandschaften der Bundesrepublik Deutschland.
- DVWK AB WW-1.5 (2003): Wehre und Staue an kleinen und mittelgroßen Fließgewässern - Grundlagen zu Strömung, Sedimenttransport und ökologischen Funktionen, ATV-DVWK-Arbeitsgruppe WW-1.5 "Wasserbau und Flusslandschaft", Januar 2003
- DWA (Hrsg.) (2014): Merkblatt DWA-M 509 „Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke - Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung“, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V, 335 Seiten.
- Gurnell, A. M.; Bussettini, M.; González, M.; Del Tánago, R.; Grabowski, C.; Hendriks, D.; Henshaw, A.; Latapie, A.; Rinaldi, M. & Surian, N. (2014): A hierarchical multi-scale framework and indicators of hydromorphological processes and forms. Deliverable 2.1, Part 1, of REFORM (REstoring rivers FOR effective catchment Man-agement), a Collaborative project (large-scale integrating project) funded by the European Commission within the 7th Framework Programme under Grant Agreement 282656.
- Harvey, G. L.; Gurnell, A. M. & Clifford, N. J. (2008): Characterisation of river reaches: The influence of rock type. In: *Catena* 76, pp. 78–88.
- Herpertz, D.; Schäfer, B. & Esser, B. (2011): Ökologische Durchgängigkeit der Bundeswasserstraßen - Neue Wege nicht nur für Fische. *Wasser und Abfall* 3/2011: S. 10-13.

- Hugo, R.; Kinsinger, R.; Assmann, R. (2012): Ermittlung der morphologischen Entwicklungsfähigkeit der Fließgewässer Hessens, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Juni 2012.
- IKSE (2014): Sedimentmanagementkonzept der IKSE. Vorschläge für eine gute Sedimentmanagementpraxis im Elbegebiet zur Erreichung überregionaler Handlungsziele.
- LAWA (1999): Gewässerstrukturgütekartierung in der Bundesrepublik Deutschland. Übersichtsverfahren. München.
- LAWA (2000): Gewässerstrukturgütebewertung in der Bundesrepublik Deutschland. Verfahren für kleine und mittelgroße Fließgewässer, Schwerin.
- LAWA (2014) Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser (Hrsg.): "Klassifizierung des Wasserhaushalts von Einzugsgebieten und Wasserkörpern – Verfahrensempfehlung – a) Handlungsempfehlung". Dresden.
- Linnenweber, C.,(2010) Die Bedeutung der Hydromorphologie, 13. Gewässermorphologisches Kolloquium, 27./28.10.2010, Koblenz
- Linnenweber, C. (2015) Ökologische Durchgängigkeit der Fließgewässer – Entwicklung von Bewertungsmethoden bei der LAWA. 4. Kolloquium – Forschung und Entwicklung zur Qualitätssicherung von Maßnahmen an Bundeswasserstraßen, 9./10.7.2014, Koblenz
- Pottgiesser, T.; Kail, J.; Mischke, U.; Wolter, Ch.; Rehfeld-Klein, M.; Köhler, A. & Van De Weyer, K. (2009): Das gute ökologische Potenzial von Wasserstraßen-Methodisches Vorgehen eines maßnahmenorientierten Ansatzes. In: Korrespondenz Wasserwirtschaft, 2009 (2), Nr. 9.
- Quick, I.; Jährling, K.-H.; Vollmer, S.; Anlanger, C. & Fricke, D. (2014): Hydromorphologische Indikatoren als Zeiger für den Status des Sedimenthaushaltes der Elbe zwischen der deutsch-tschechischen Grenze und Geesthacht. In: Fachbeiträge zum Sedimentmanagementkonzept Elbe. Schriftenreihe Mitteilungen der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz. 30: S.75-140.

Autoren:

Rita Keuneke

Ingenieurbüro Floecksmühle GmbH
Bachstraße 62-64
D-52066 Aachen

Tel.: +49 241 94986 0

E-Mail: ib@floecksmuehle-fwt.de

Christoph Linnenweber

Obmann des LAWA-EK Hydromorphologie
Landesamt für Umwelt
Kaiser- Friedrich- Str. 7
55116 Mainz

E-Mail: christoph.linnenweber@lfu.rlp.de

Dr. Monika Donner

DHI-WASY GmbH
Niederlassung Syke
Max-Planck-Straße 6
28857 Syke

E-Mail: mod@dhi-wasy.de

Vorgehensweise zur Entwicklung von populations- unterstützenden Maßnahmen für die Fischarten am Inn (Obb.)

Manfred Holzner
Georg Loy

Im Rahmen einer Vereinbarung mit dem Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit wurden seit 2011 umfangreiche ökologische Maßnahmen auch mit dem Ziel der Förderung und des Schutzes von Fischpopulationen umgesetzt. Ausgehend vom Leitbild eines ursprünglichen Inns mit seinen Fischarten (Referenzfischfauna nach der Wasserrahmenrichtlinie der europäischen Union), den Randbedingungen, aus den über die Jahrhunderte durchgeführten anthropogenen Veränderungen und dem erkennbaren Potenzial der noch vorhandenen Strukturen, einer Analyse des Ist – Zustandes mit einer Konzeptentwicklung dem sog. „Fischhabitatmodell“, wurden Maßnahmen entwickelt um Habitate für alle Lebensstadien der am Inn heimischen Fischarten anbieten zu können.

Entscheidender Aspekt ist dabei der Versuch, das im ursprünglichen Inn vorhandene Lebensraumangebot zu sanieren oder, wo möglich, soweit wieder herzustellen, dass den vorkommenden Fischarten das vollständige und erfolgreiche Absolvieren ihres Lebenszyklusses ermöglicht wird. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf den rheophilen Flussfischarten, wie Nase, Barbe, aber auch Äsche oder Huchen. Nicht vergessen werden dürfen weniger gefährdete, eher euryöke oder limnophile Fischarten, wie Aitel, Brachse oder Rotaugen, die bezüglich der Biomasse Verhältnisse im Ökosystem einen wichtigen Anteil zur Funktion des Ökosystems Fluß liefern. Damit können die Einflüsse der heute in weiten Gewässerstrecken wieder anzutreffenden Prädatoren wie Kormoran oder Gänsesäger auf die Fischfauna abgedeutet werden.

Um die Wirksamkeit der Maßnahmen und deren Nachhaltigkeit verfolgen zu können, ist beabsichtigt begleitend eine Maßnahmenbewertung durchzuführen. Zum anderen, welche und viele gezielte Maßnahmen und Funktionen sind erforderlich, um den Habitatansprüchen der am Inn vorkommenden Fischarten umfassend gerecht zu werden. Ziel ist es ein Maßnahmenportfolio zu entwickeln das auch auf andere Staugebiete übertragen werden kann.

Wichtig war in diesem Zusammenhang der Konsens bei allen Projektbeteiligten, dass in der Neuintiierung von dynamischen Entwicklungen der Schlüssel zu den gewünschten Verbesserungen liegt. Veränderungen gehören zu einem Flusssystem.

tem wie dem Inn und diese prägen die Artenvielfalt. Wenn der Fluss durch die anthropogene Umgestaltung dies aus eigener Kraft nicht mehr erreicht, muss aktiv eingegriffen werden, um den Lebensraum mit seiner Vielfalt langfristig erhalten zu können. Der naturschutzfachliche Abwägungsprozess wurde in der Planung berücksichtigt und die Orte und Maßnahmen zur Eingriffsminimierung z. B. durch Muschelbergung und Verzicht auf manche Entlandung, gezielt gewählt. Das Besondere lag und liegt auch hierin, dass es sich ausschließlich um Maßnahmen im „Gewässerunterhalt“ handelt und auf ein kosten- und zeitaufwändiges Planungs- und Genehmigungsverfahren durch ständige Abstimmung mit allen Beteiligten weitgehend verzichtet werden konnte. Dies trifft auch die regelmäßigen Unterhaltsarbeiten, wie Anbindungsoptimierung bei Nebengewässerstrukturen, die nach dem Hochwasser 2013 bereits ausgeführt wurden, zu. Das Kostenbewusstsein aller Beteiligten und auch die Fortentwicklung von Strukturverbesserungsmaßnahmen durch die Fischerei – an Stelle von Besatzmaßnahmen - führten zu einer ansehnlichen Liste an Maßnahmen seit 2011, die sich sehr unterschiedlich entwickeln.

Die Analyse und Umsetzung der Maßnahmen am Inn werden an Beispielen dargestellt und der beabsichtigte Forschungsansatz als Maßnahmen zum Schutz der Fischpopulationen am Inn wird erläutert.

Keywords: Wasserrahmenrichtlinie, Habitatverbesserung, Fischfauna, Fischpopulation, Gewässerunterhaltung, Monitoring

1 Grundlagen der Maßnahmenentwicklung

1.1 Gewässertypische Rahmenbedingungen Abfluss, Sedimente, Strukturen, Nutzungen

Das Einzugsgebiet des Inn ist geprägt durch den hochalpinen Charakter des größten Teiles des Einzugsgebietes. Hier wechseln sehr geringe Winterabflüsse jährlich mit den hohen, durch Schneeschmelze und Niederschlagsereignisse gespeisten Hochwasserzeiten in Frühjahr und Sommer ab.

Fischökologisch bedeutsam am Inn ist insbesondere Beginn und Ende der Hochwasserphase im Jahresverlauf und deren außergewöhnlich langes Anhalten. Im Frühjahr setzt der Abflussanstieg des Inns üblicher Weise bereits Ende März mit einer leichten Abflusssteigerung ein, wenn in den Voralpen und im vorgeschalteten Hügelland des Voralpenlandes die Schneeschmelze einsetzt. Je nach Witterungsverlauf und Niederschlagseinflüssen folgt dann gegen Mitte April bis Anfang Mai eine deutliche Steigerung der Abflüsse, wenn die Schneeschmelze die Alpenregion erreicht. Dies bringt dann auch mit eine erhebliche Trübung des Inns mit sich.

Fischökologisch bedeutsam ist auch die vorhandene Sedimentqualität und deren jahreszeitlich bedingte Veränderungen. Im Gewässerbett des Inns dominieren eigentlich Kiese verschiedener Körnungen. Das spiegelt sich auch im Laichverhalten (Kieslaicher – Interstitiallaicher / Kieslaicher – Substratlaicher) der Fischarten wieder. Entscheidend ist hier der Wechsel zwischen Stabilität und wiederkehrender Umlagerung dieser Kiesstrukturen.

Ursprünglich handelt es sich strukturell beim Inn um einen Voralpenfluss des Furkationstyps. Eine ständige Umlagerung von mehreren Abflussgerinnen durch Hochwasserereignisse war normal. Nebenstrukturen wurden ständig neu geschaffen und verändert. Eine ausgedehnte Überschwemmungszone mit Weich- und peripher Hartholzaue begleitete den Fluß. Ausnahmen waren hier nur Schlucht- oder Durchbruchstrecken, wie sie am Inn mehrfach auftreten.

Einfluss nehmend auf die Gewässerentwicklung, neben der Landgewinnung und dem Hochwasserschutz, ist hier auch die Innschiffahrt zu berücksichtigen. Sie wurde als Treidelschiffahrt betrieben was die intensive Bewirtschaftung und Befestigung zumindest einer Uferseite erzwang. Die Wasserkraftnutzung am Inn setzte im Vergleich zu den bereits viel früher erschlossenen Nebenflüssen (Bsp. Isen, Rott) erst später ein, weil dies ingenieurtechnisch und baulich erheblich anspruchsvoller und aufwändiger einzuschätzen ist. Zwischen erstem und zweitem Weltkrieg entstanden die ersten Kraftwerke am Inn, der zu diesem Zeitpunkt schon weitgehend begradigt und eingedämmt war (Innschiffahrt / Hochwasserschutz, Landnutzung). Der derzeitige Ausbaugrad des Flusses in Bezug auf die Nutzung der Wasserkraft war im wesentlichen Anfang der 1980er Jahre erreicht. Die Nutzung der Fischbestände am Inn blickt auf eine lange Tradition zurück und wurde nach dem Zweiten Weltkrieg Schritt für Schritt von der Berufsfischerei hin zur heutigen angelfischereilichen Nutzung entwickelt.

1.2 Fischökologische Rahmenbedingungen

Der Fischbestand des Inns setzt sich heute aus zwei Komponenten zusammen. Zum einen aus den Fischarten, die sich auf Grund der Staulegung und Gewässerveränderungen hier in den letzten Jahrzehnten verstärkt ausgebreitet haben und andererseits aus den immer noch deutlich erkennbaren Fischbestandsanteilen, des ursprünglichen Wildgewässers. Eigentlich wäre der Inn in diesem Bereich fischökologisch als reine Äschenregion im Donausystem zu beschreiben. Damit hat man mit den 38 Fischarten der Referenzfischfauna der Wasserrahmenrichtlinie der europäischen Union (*Landesanstalt für Landwirtschaft Institut für Fischerei Stand 2013*) einen sehr artenreichen Fischbestand zu berücksichtigen. Als dominante Arten sind Äsche, Nase, Barbe, Aitel und verschiedene andere Arten zu erwarten. Der Huchen, neben dem Hecht und dem Wels hier im Inn die Rolle des Endräubers (Weitere Informationen s. a., *Holzner, 2010*). Vor den

Planungen wurden anhand von Charakterarten dieser Gewässerabschnitte die essentiellen Lebensraumbedingungen für Lebensabschnitte und Altersstufen dieser Arten zusammengetragen. Dies geschah vor dem Hintergrund, dass mögliche Maßnahmen möglichst optimal an die Ansprüche der vorkommenden Gewässerbewohner angepasst werden müssen. Hier sind die Anforderungen an Laichplätze, für Brut- und Jungfischstandorte bis hin zu Lebensraumabschnitten, die den erwachsenen Fischen gerecht werden von essentieller Bedeutung. Bei vielen vorhandenen Fischarten Arten handelt es sich um sogenannte rheophile Fischarten, die typische Fließgewässerlebensräume allerdings durchaus in sehr unterschiedlichen Ausformungen bevorzugen.

Auf Basis dieser Daten wurde dann ein Fischhabitatmodell entwickelt. Dieses bildet die fachliche Grundlage für die mittlerweile umgesetzten und künftige populationsfördernden und –erhaltende Maßnahmen. Als Grundbaustein des Modells wurden die 38 Referenzfischarten des Inn in Gilden mit ähnlichen Habitat-Ansprüchen eingeteilt. Ein grundlegender Aspekt bei der Einteilung sind die unterschiedlichen Ansprüche an den Laichplatz, wobei hier in limnophile Haft-/Substratlaicher, rheophile Haftlaicher und rheophile Interstitiallaicher differenziert wurde. Als weiteres Unterscheidungskriterium gilt die benötigte Habitat-Vielfalt im Lebenszyklus. Für die 3 Staustufen ergaben sich auf diese Weise fünf Fischgilden (Details s. a. *Holzner et. al.*, 2014).

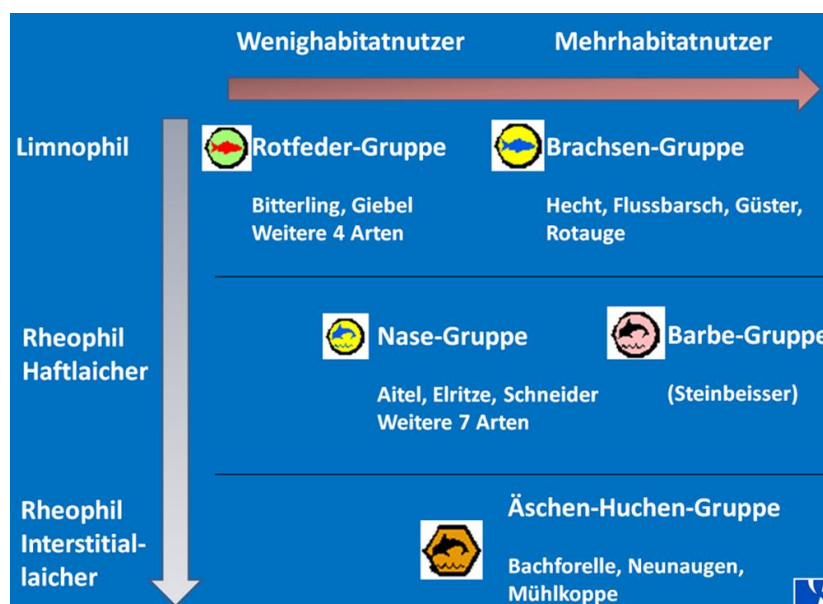


Abbildung 1: Einteilung der Fischgilden (Quelle: Schober, 2013)

Auf Basis dieses Modells wurden dann die drei Staustufen Wasserburg, Teufelsbruck und Gars jeweils analysiert und bewertet. Jede Staustufe wurde dabei als abgetrennter Raum betrachtet in dem durch geeignete populationsfördernde und populationserhaltende Maßnahmen den dort vorkommenden Fischarten

bzw. Gilden des gesamten Lebenszyklus ermöglicht werden soll. Ober- und Unterstrom liegende Staugebiete und damit auch die Frage der Durchgängigkeit der Wehranlagen waren nicht Gegenstand dieser Betrachtung. Ziel war der möglichst vollständige Ausgleich der vorliegenden Defizite.

2 Defizitanalyse

Aus einem naturnahen Fluss mit mehreren Gerinnen und einer Vielzahl von angebundenen und teilweise oder nicht angebundenen Nebenstrukturen, wurde im Laufe der Jahrzehnte ein sehr einheitlich gestaltetes Flussbett. Landgewinnung, Flößerei und der Hochwasserschutz haben mit der Zeit das Gewässer so weit eingeeengt, dass die heute zusätzlich stattfindende Wasserkraftnutzung erst umsetzbar wurde. Der Kontakt zu Nebengewässern wurde an vielen Stellen abgetrennt, die Vernetzung mit der Aue war auf wenige Areale und nur bei starken Hochwasserereignissen beschränkt. Dabei waren die wesentlichen Veränderungen wie Begradigung, Fixierung der Ufer im Rahmen der Landgewinnung, Hochwasserschutzmaßnahmen und kontinuierlicher Verfall der Wasserspiegel- und Grundwasserspiegellagen bereits vor Staustufenbau gegeben. Bereits da kam es zu Degradation der Auen und von Nebengerinnen und Hochwässer erreichten diese nur noch selten. Es kam zu Tiefenerosion und hohen Fließgeschwindigkeiten im Hauptgerinne. Der anschließende Wasserkraftausbau mit den zusätzlichen Zielen Hochwasserschutz, Sicherung der Infrastruktur und Kulturlandgewinnung verstärkte diese Effekte. Die Nutzung der Wasserkraft ist heute am ganzen Inn durchgehend vorhanden und greift neben dem Aufstau auch durch den Betrieb der Turbinen in das Gewässer ein. Mögliche Schadeinflüsse hinsichtlich des Turbinenbetriebes hängen stark von Wander- und Driftbedingungen und auch den technischen Voraussetzungen der Anlagen ab. Eine Bewertung dieser Aspekte ist im Gange, aber aufgrund grundlegender fischökologischer Wissensdefizite derzeit nicht abschließbar. Der Aufstau verursachte nun aber auch niedrige Fließgeschwindigkeiten und in der Folge Verlandungsstrukturen, teilweise wurden aber auch ehemalige Auen wieder angeschlossen.

Auch die Abflussgestaltung zeigte Veränderungen. Wie in den meisten Gewässern ist in den letzten Jahrzehnten durch Flächenversiegelung, Begradigung und Drainage in der Landwirtschaft eine Beschleunigung der Hochwasserereignisse zu beobachten. Für die Gewässerfauna verkürzen sich daher die Reaktionszeiten, die genutzt werden können, um der ungewollten Verdriftung durch das Hochwasserereignis durch Ausweichen in Rückzugsgewässer zu entgehen. Gleiches gilt aber auch für das Anschwellen der Hochwasserwelle, was bedeutet, dass den Fischen heute auch deutlich weniger Zeit zur Verfügung steht, um aus

den Rückzugs- und Überschwemmungsflächen wieder ins Hauptgewässer zurückzugelangen. Zudem verändern auch weitere Aspekte (Speichernutzung, Schwallbetrieb, Gletscherrückgang) die natürliche Abflussdynamik am Inn.

Der ursprünglich am Inn dominante Kiestransport, der das Gewässer optisch und als Lebensraum prägte, wurde durch Querverbauungen auf den Transport von Feinmaterialfrachten reduziert. Die Kies- und Schotterfraktion wird dabei nahezu gänzlich im Oberlauf zurückgehalten. Am Inn stellen nun Glimmersande zentralalpiner Herkunft die dominante Körnungsfraktion dar, so dass über längere Zeiträume hinweg das Wasser sehr trüb ist („Gletschermilch“). Diese Feinmaterialfrachten führen zu einer sehr schnellen und dauerhaften Kolmation von bestehenden Kiesbänken, was eine Umlagerung nahezu unmöglich macht. Zudem zeigen diese Kiesbänke Abpflasterungseffekte (grobe Deckschicht aus Grobkies). Eine erfolgreiche Nutzung solcher Kiesflächen als Laichgebiete fällt fast gänzlich aus. Eine natürliche Neubildung von frisch umgelagerten Kiesbänken im begradigten Flusslauf findet derzeit kaum mehr statt.

Aber auch die Einleitungen durch Industrie, Haushalte und Landwirtschaft und damit die Wasserqualität beeinflussten die heutige Habitatqualität mit.

Auch die Veränderung der fischereilichen Nutzung von der Berufsfischerei zur Angelfischerei zeigt Einflüsse. Zum ursprünglichen Fischartenspektrum wurden Fischarten wie die Regenbogenforelle oder der Aal in den Inn eingeführt. Heute sind Besatzfischwirtschaft und angelfischereiliche Nutzung eng verwoben, die Pflege und Nutzung der ursprünglich Innfischfauna tritt dadurch leider oft deutlich in den Hintergrund und gewinnt erst in den letzten Jahren mit der zunehmenden Nachhaltigkeitsdiskussion innerhalb der Fischerei wieder an Bedeutung. Die Fischerei hat heute, bei nachhaltiger Ausführung, einen erheblichen Anteil am Erhalt der natürlichen Innfischbestände.

Als zentraler Punkt wurde in Gesamtheit der Veränderungen (Begradigung, Eindeichung, Aufstau) dem Fluss die Fähigkeit zu dynamischen Prozessen weitgehend entzogen. Das bedeutet, dass vorhandene, essentielle Strukturen am Fluss und im Gewässerbett mit den Jahren alterten und ihre Funktion nach und nach einbüßen. Eine Neuschaffung dieser Strukturen durch den Fluss selbst ist aber aufgrund der fehlenden Gewässerdynamik heute nicht mehr möglich oder zumindest auf sehr kleine Restflächen (Fließstrecken, Unterwasserbereiche) beschränkt.

3 Maßnahmenportfolio

Ein zentraler und zunehmend wichtiger Aspekt wurde aber in den letzten Jahren auch die Erkenntnis, dass es möglich ist viele für die Gewässerfauna essentielle Strukturelemente im Rahmen des Gewässerunterhaltes zu pflegen, wieder herzustellen oder dort künstlich zu ergänzen, wo sie als echtes Defizit erkannt wurden. In begrenztem Maße übernimmt hier nun der Gewässerunterhalter die dynamische Rolle des Gewässers selbst. Dies ist vor allem in den Abschnitten nicht zu umgehen, wo einengende Rahmenbedingungen des Hochwasserschutzes und der Besiedelung eine echte Kehrtwende zurück zu mehr Gewässerdynamik unmöglich machen. Im dichtbesiedelten Inneinzugsgebiet sind die räumlichen Möglichkeiten leider an vielen Stellen drastisch beschränkt. (Details s. a. *Loy et. al.*, 2014)

3.1 Laichplätze

Hier sind vor allem die kiesdominierten Laichplätze für Kieslaicher – Interstitiallaicher und Kieslaicher – Substratlaicher als Defizit erkannt worden. Veränderungen im Feststofftransport des Gewässers haben diese nachhaltig denaturiert.

Als Maßnahmen werden im Innbereich sowohl die maschinelle Umlagerung von bestehenden Kiesbänken, wie auch die Dotation von passenden Kiesfraktionen aus dem Umland praktiziert. Die positiven Auswirkungen auf das Brutaufkommen insbesondere der Äsche konnte bereits wissenschaftlich bestätigt werden (*Zickler*, 2014). Dies soll aber weiter auch quantitativ mit Untersuchungen belegt werden.

3.2 Brut- und Jungfischstandorte

Standorte für Brütlinge und Jungfische müssen zum einen eine geeignete Lage aufweisen, dass die aus dem Laichplatz emergierenden Brütlinge diese mittels Drift auch erreichen können. Zum anderen müssen diese dann natürlich auch geeignete Lebensraumumstände für die jeweiligen Arten und Altersstadien bereitstellen. Hier kommen Uferstrukturierungen im Fluss selbst, aber auch Flachbereiche in angebundenen Nebenstrukturen (Altgewässer) in Frage. Gemeinsam haben beide Standorte aber eine hohe Strukturvielfalt, zumindest bevorzugt geringe Wassertiefen und meist höhere Wassertemperaturen.

3.3 Hochwasser- und Wintereinstände

Auch in diesem Zusammenhang kommen wieder Strukturen im Fluss selbst, aber auch Bereiche in Nebengewässern in Frage. Im Hauptfluss sind hier meist Rinnen, Kolke oder strukturreiche Überschwemmungsbereiche in Innenkurven von Bedeutung. Die größere Bedeutung kommt aber in Zusammenhang mit

Hochwasser- und Wintereinständen den angebundenen Nebengewässern, den sogenannten Altgewässern zu. Entscheidend ist hier die Dauerhaftigkeit dieser Schutzstandorte. Altgewässer, die bei steigenden Wasserständen völlig überströmt werden bieten nur bedingt Schutz bei Hochwässern. Deshalb wurden beim künstlichen Bau dieser Strukturen meist aus dem Aushubmaterial Wälle, sogenannte Rehen geschüttet, die eine Überströmung bei Hochwasser möglichst lange verhindern sollen. Dies sichert stehende Wasserverhältnisse und minimiert vor allem den Eintrag von Sandmaterial bei Hochwasser.

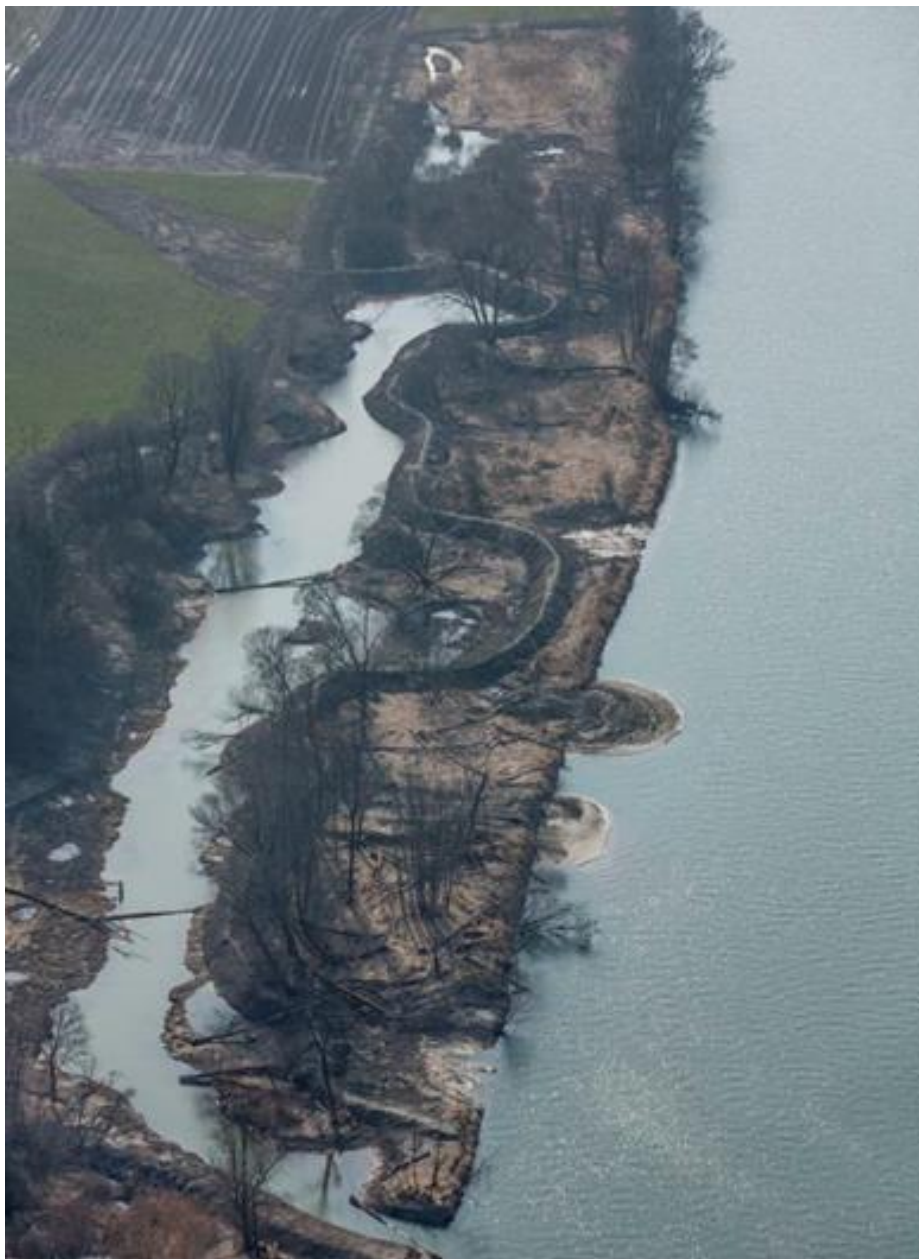


Abbildung 2: Altwasser Thalham (T) mit Portfolio an Altwasser- und Fließgewässerstrukturen, kurz nach der Fertigstellung 2013

4 Forschungsansätze – Monitoring

Zentrale Frage der bevorstehenden Forschungsarbeiten mit der TU München ist die Frage nach der Habitatnutzung. Welche Fischarten nutzen welchen Lebensraumabschnitt wann und in welcher Intensität. Dies ist Voraussetzung um bei zukünftige Maßnahmenumsetzungen diese noch besser an die zwingenden Bedürfnisse der vorkommenden Fischarten anzupassen. Problem ist hier speziell das sichere Erkennen der Schlüsselhabitate für die jeweilige Fischart. Unter Umständen kann ein Habitat nur an wenigen Tagen pro Jahr genutzt werden und ist doch essenziell für die Erfolgreiche Entwicklung der jeweiligen Art. Beispielfhaft sein hier die Nutzung von Hochwassereinständen bei der Nase genannt (*Chondrostoma nasus*), die oft nur wenige Tage pro Hochwassersaison andauert, die Fische aber nachhaltig vor der Verdriftung in flussab gelegene Bereiche schützt.

5 Literatur

- Holzner et. al. (2014): Vorgehensweise zur Entwicklung von populationsunterstützenden Maßnahmen für die Fischarten am Inn in Oberbayern. Wasserwirtschaft Jhr. 104, Heft 7/8, S. 18 – 25.
- Holzner, M. (2010): Konzeptstudie zur Verbesserung der biologischen Durchgängigkeit und gewässerökologischen Gesamtsituation am Inn zwischen Rosenheim und Stammham im Sinne der Wasserrahmenrichtlinie. Unveröff. Bericht erstellt im Auftrag der Verbund Innkraftwerke GmbH.
- Landesanstalt für Landwirtschaft - Institut für Fischerei (2013): Referenzfischfauna für den Oberen Inn – Wasserrahmenrichtlinie der europäischen Union.
- Loy et. al. (2014): Maßnahmen zur Förderung von Populationen bedrohter Fischarten am Inn (Oberbayern) im Rahmen des Gewässerunterhaltes. Wasserwirtschaft Jhr. 104, Heft 7/8, S. 26 – 33.
- Zickler, M. (2014): Untersuchung und Dokumentation Ingenieurbiologischer Maßnahmen zur Verbesserung von Kieslaichplätzen. Bachelorarbeit an der Hochschule Weihenstephan Triesdorf – Fakultät Landschaftarchitektur, 92 S.

Autoren:

Dr. Manfred Holzner

Dipl. Ing. Georg Loy

Büro für Gewässerökologie und Fischbiologie
Schweigermoos 13
94431 PilstingVerbund Innkraftwerke GmbH
Werkstraße 1
84513 TögingTel.: +49 9953 981826-5
E-Mail: Holzner-manfred@t-online.deTel.: +49 8631 39 1264
E-Mail: Georg.Loy@Verbund.com

Warum und wie sich nachhaltig strategische Akquisition von Fach- und Führungskräften (m/w) für das Projektgeschäft in Ingenieurgesellschaften, speziell im Fachgebiet Wasserbau, positiv wirksam entwickeln lässt

Stephan Olschowka

Auch mit einem schlanken Potential an fachlichen Experten mit langjährig internationaler u./o. nationaler Berufserfahrung müssen Ingenieurbüros innovative und effektive Projektarbeit zu wirtschaftlichen Konditionen und innerhalb fordernden Projektrealisierungszeiträumen zusichern. Engpasskonzentrierte Schnellschüsse laufen oft ins Leere und schaden der Markt-Reputation. Auch beim Auftraggeber übernehmen berufsunerfahrene Ingenieure Aufgaben, ohne sich persönlich über das Ausmaß der Verantwortung bewusst zu sein.

Auftragnehmer sind aufgefordert, alles aus einer Hand oder in koordinationsintensiven Arbeitsgemeinschaften anzubieten. Nur diejenigen Unternehmen, die dazu dauerhaft in der Lage sind, ohne hierbei die eigene Substanz zu riskieren, werden den eigenen, gut ausgebildeten Stamm an Mitarbeitenden auch auf Dauer binden. Wesentlich für den erfolgreichen Wettbewerb sind: Ein ansprechendes Umfeld mit Atmosphäre für Kreativität und zündende Ideen, fachliche und menschliche Expertisen, Förderung und Herausforderungen, Kommunikation und Image. Das eigene Netzwerk und fachlich hochwertige Mitarbeiter mit Kapazitäten und Referenzen sind zunehmend entscheidend für den Erfolg von Präqualifikationsnachweisen und Angeboten. Einige Ingenieurbüros engagieren immer mehr Subunternehmer oder freie Mitarbeiter, die mal gute, mal weniger gute Arbeiten abliefern. Wie werthaltig ist diese Konstellation, wenn dann auch noch HOAI u./o. VOF untergraben werden?

Der Beitrag beleuchtet vordergründig die Zielgruppe langjährig Berufserfahrener in Deutschland, und bezieht immer beide Geschlechter ein. Ich möchte erstens sensibilisieren für den Stellenwert des sich verändernden Markt-Umfelds, zweitens veranschaulichen, wie passende Mitarbeiter mit langfristig ausgerichtetem Handeln gewonnen und ebenso gebunden und fachlich und persönlich weiterentwickelt werden können und drittens die damit im Zusammenhang wirkende unternehmerische Signifikanz herausarbeiten. Inwieweit ist man sich den beschriebenen Randbedingungen bewusst? Welcher Nutzen lässt sich generieren, wenn man bereit ist, sich dieser Entwicklung nicht nur zu stellen, sondern auch aktiv gegen zu steuern? Was bedeutet das für die Profilierung und Positionierung im Markt, die Abgrenzung im Wettbewerbsvergleich und die Wahrnehmung des Unternehmens aus Sicht der Marktteilnehmer?

Stichworte: Operative Ergebnisverbesserung, Wettbewerbsvorteile, Marketing, Kreativität, Transparenz, Vertrauen und Zutrauen, Unternehmenskultur, Work-Life Balance

1 Eine nachhaltig strategisch ausgerichtete Akquisition ist im hohen Maße wettbewerbsentscheidend

Bauingenieure haben Zukunft! Nach einem Krisenjahrzehnt sucht die Branche händeringend Fachkräfte und verspricht ihnen langfristig gute Perspektiven. Allerdings leidet die Bauwirtschaft weiterhin unter einem Imageproblem. Dabei sind Bauingenieure bei allen großen gesellschaftlichen Themen gefragt. Der jüngsten Statistik der Bundesagentur für Arbeit zufolge gibt es in Deutschland rund 99 100 Bauingenieure. Damit nähert sich die Branche wieder den Beschäftigungswerten um die Jahrtausendwende. Von 2002 bis 2012 hat sich die Zahl der Studienanfänger auf 16 500 verdoppelt, allerdings blieb die Zahl der Absolventen mit 6700 pro Jahr (Stand 2012) auf dem Niveau von 2002. Dennoch ist die Bauwirtschaft nach Beobachtung des Kölner Professors nur schwer für duale Studiengänge zu begeistern: „Wir können leider nicht alle verfügbaren Plätze vergeben, weil wir nicht genügend Ausbildungsplätze bekommen (*vdi-Nachrichten*, Dezember 2015; *Die Renaissance des Bauingenieurs hat begonnen*, Wolfgang Heumer, 23. Januar 2015).

„Das Thema Personalplanung liegt bei vielen Firmen noch im Argen“. Gerade bei den kleinen und mittleren Unternehmen werde noch zu sehr auf den aktuellen und kurzfristigen Bedarf geschaut, aber nicht auf lange Sicht geplant. Nachdem er sich intensiv mit dem Kommunikationsverhalten seiner Studenten beschäftigt hatte, stellte er zudem fest, dass für seine Studenten extrem viel über digitale Wege läuft. Dem gegenüber zeigen sich die Präsentationsformen der Unternehmen different. Die Firmen müssten sich bei der Suche nach Ingenieuren der Konkurrenz durch andere Branchen wie die Versicherungs- oder die Immobilienwirtschaft bewusst sein. Deshalb muss die Bauwirtschaft jungen Ingenieuren nicht nur für den monetären Bereich die entsprechenden Konditionen bieten, sondern auch für weiche Rahmenbedingungen, wie erreichbare Kindertagesstätten sorgen (*nach Prof. Dr.-Ing. Bernd Schweibenz, Köln.*)

Der Arbeitsmarkt hat sich vom Verkäufermarkt zum Käufermarkt gewandelt. In der Folge finden sich die Arbeitgeber immer mehr in der Rolle eines aktiven Verkäufers wieder. Der Arbeitsplatz wird zum Produkt, der Arbeitnehmer zum Kunden. Unternehmen werden sich vermehrt bei potentiellen Mitarbeitern direkt bewerben müssen. Wenn neue Fach- und Führungskräfte im ersten Jahr scheitern, entstehen erhebliche Kosten. Materiell kaum zu messen und folgenschwe-

rer wiegen jedoch Kontinuitätsverlust, Verzögerungen von Entscheidungen und Projekten, Verunsicherung und Vertrauensverlust bei Kunden, Geschäftspartnern und Mitarbeitern im Unternehmen. Es geht also um die Basis für weiteres Wachstum. Will sagen: Minimierung von Risiken, Gewinnmaximierung, den Ausbau weiterer Quellen für Reinvestitionen, Marktanteile, neue Geschäftsfelder, technologisch innovative und individuell nützliche Lösungen für Auftraggeber und Nutzer, Profilierung und Positionierung des Unternehmens in den Märkten, um die Attraktivität der Marke "Arbeitgeber".

Investitionen in geeignete Menschen sind Investitionen in die Zukunft Immer wieder drücken einzelne Mitarbeiter mit ihren speziellen Fähigkeiten und Netzwerken dem Ingenieurunternehmen sein Alleinstellungsmerkmal mit auf, wonach sich auf Spezialgebieten Erfolge einstellen. Bedenke: Das menschliche Individuum ist originärer Ausgangspunkt für alle unternehmerischen Aktivitäten! Angefangen bei der Geschäftsidee, über den Business-Plan bis hin zur Umsetzung von wirtschaftlich nützlichen Lösungen für die Ziele von (potentiellen) Kunden-Unternehmen, Mensch und Umwelt mit entsprechenden Effekten auf das volkswirtschaftliche Gemeinwohl.

Insider meinen: Der Markt erwartet erstklassige Planungs- und Ausführungsprozesse, ein gutes Schnittstellenmanagement, Fachkompetenz und Kreativität! Parallel dazu steigt der Verwaltungs-Anteil. Es ist für alle Beteiligten effektiver, sich aus dieser Zwickmühle "Operative Mehr-Belastung" bei gleichzeitig "Ingenieurtechnischer Exzellenz" zu befreien, Mitarbeiter in den Projektphasen vorausschauender einzuplanen und sich mehr auf Markt-Strategie und Umsetzung zu konzentrieren.

Unterschiedliche Interessen auf ein gemeinsames Ziel hin auszurichten ist substantiell. Wesentlich dafür sind Wissen und Informationen über Märkte, Menschen und adäquates Verhalten. Es entsteht ein Netzwerk, das permanent über Kontakt-Akquisition zu potentiellen Mitstreitern und Gleichgesinnten aktiviert werden muss, um dran zu bleiben. Das ist ein Beitrag zum Ausbau der eigenen Ingenieur- und Arbeitgebermarke. Es eröffnet sich mehr Raum für Transparenz und Leistungs- statt Preiswettbewerb!

Als Unternehmen unterscheiden Sie sich und punkten im Wettbewerb um Human-Resources mit nachvollziehbarer Authentizität und weichen Faktoren wie "Atmosphäre" oder "Vereinbarkeit von Beruf und Familie". Offerieren Sie eine Unternehmenskultur die dazu beiträgt, sich notwendigen Veränderungen nicht nur anzunehmen, sondern diese auch umzusetzen! Sie verleihen der eigenen Innovations- und Wettbewerbsfähigkeit nachhaltig positiv wirkende Impulse, und tragen so langfristig zum dauerhaften Markenausbau Ihres Unternehmens bei.

Das Web, vergleichbar mit einer gigantisch öffentlichen Podiumsdiskussion, trägt vermehrt dazu bei, dass wir immer schneller Entscheidungen ermöglichen, suchen und treffen. Die damit entstandene Transparenz in den Märkten ermutigt Unternehmen dazu, die Arbeit von Personalberatern, Headhuntern und Rekrutern selbst zu übernehmen, auch um Kosten einzusparen. Dafür nutzen sie die Informationen aus Facebook und Co. Deren Inhalte lässt man z. T. von jungen Mitarbeitern ohne Berufserfahrung oder Praktikanten auswerten. Unternehmer bzw. Entscheider werden durch die Masse der Dienstleistungen in den HR-Märkten mit sehr unterschiedlichen Offerten überhäuft. Das verunsichert! Hinzu kommen Vorurteile, Ressentiments und schlechte Erfahrungen, die speziellen Anbietern nicht selten genug zugeordnet werden. Andererseits werden sich immer wieder Personal-Situationen auftun, die relativ kurzfristige Lösungen erfordern oder sich nur schwierig gestalten lassen. Hierfür eignet sich "Headhunting": Auf ausgesuchte, potentiell passende Fach- und Führungskräfte pro-aktiv zugehen und direkt ansprechen. Wir bewegen uns in einem völlig transparenten Business-Umfeld: Jeder kann sich über Blogs, Foren, Bewertungsportale und soziale Netzwerke ausgiebig informieren und umgekehrt für sich werben. Das macht ein Umdenken erforderlich! Alle im Unternehmen können dazu beitragen, die Firma für Bewerber begehrenswert zu machen. Eine professionelle Suche wird zur Notwendigkeit, ist Vertrieb und Marketing, keine Option mehr, bestimmt die wirtschaftliche Zukunft des Unternehmens und wird zum Thema der Geschäftsleitung.

Zum vorbeugenden Nutzen einer Strategischen Langzeit-Partnerschaft lassen sich drei Unternehmens-Szenarien skizzieren: Ingenieurbüros,

- die schließen müssen, weil für sie keiner mehr arbeiten will,
- die auf Veränderungen im Human-Ressource halbherzig reagieren und weiter Marktanteile verlieren, weil sie die dafür geeigneten Mitarbeiter in der Personalabteilung bzw. im Rekrutierung nicht haben. Diese Firmen werden Imageprobleme bekommen und nicht mehr in der Lage sein, Menschen weder adäquat zu fördern noch zu motivieren, geschweige denn sie für eine ernst gemeinte Zusammenarbeit auf Sicht gesehen zu interessieren und zu gewinnen. Sie bieten wenig Atmosphäre, Perspektiven, Entfaltungsmöglichkeiten oder erfüllende Aufgaben mit der Möglichkeit, frühzeitig Verantwortung zu übernehmen.
- die Mitarbeiter begeistern, weil sie sich den gestiegenen Ansprüchen stellen und anpassen.

Menschen sind stolz darauf, in einem nach außen hin sichtbaren Unternehmen mit Leben und Gefühl zu arbeiten. Das entfaltet Ausstrahlungskraft und de-

monstriert ein erfolgreiches Zusammenwirken. Es muss sichtbar sein, dass die Arbeit im und mit dem Unternehmen Freude macht und das Unternehmen mit der Zeit geht. Unternehmen spiegeln das wieder, was in ihrem Inneren vorgeht!

Ich beobachte aus Erfahrung, dass Markt und Zukunft Investitionen in „menschliches Wachstum“ verlangen. Menschen, die sich auf neue Herausforderungen einstellen und die Entwicklung Ihrer Fähigkeiten selbst fördern, gewinnen im internationalen Wettbewerb an Bedeutung. Nationale Herkunft rückt in den Hintergrund. Fach- und interkulturelles Wissen werden wichtiger. Weiter entscheidend sind intellektuelle und soziale Kompetenz, Belastbarkeit und Erfahrung. Es kommt entscheidend darauf an, weitere Quellen für qualifiziertes Personal zu erschließen. Machen Sie sich den Wert Ihrer Mitarbeiter intensiv bewusst! „Selbst wenn mir meine Produktionsanlagen und alle meine Gebäude verloren gehen, so bin ich doch zusammen mit meinen Mitarbeitern jederzeit in der Lage, mein Unternehmen wieder aufzubauen“ (Zitat: *Henri Ford*). Märkte erwarten von Unternehmen ein unverwechselbares, markantes und transparentes Profil. Marktpositionen aber verändern sich positiv ausschließlich durch fähige, kreative und motivierte Mitarbeiter. Das menschliche Verhalten ist der einzig wirklich steigerungsfähige Erfolgsfaktor! Erfolg beginnt mit der Auswahl von Spitzenkräften! Unternehmen wachsen mit den richtigen Personen in den richtigen Funktionen! So entwickeln sich Firmenwachstum, langfristige und nachhaltige Erfolge! Kooperieren Sie gegebenenfalls mit qualifizierten, vertrauenswürdigen und strategisch ausgerichteten Partnern, die sich selbst das Ziel gesetzt haben, Ihre Erwartungen zu übertreffen.

2 Eine nachhaltig strategisch ausgerichtete Akquisition kann positiv wirksam aufgebaut und weiter entwickelt werden

Nutzen Sie Kommunikation, Information, Kooperation, Kreativität, Know-how aus Vertrieb und Marketing, zielgruppenfokussierte Beschaffungs- Quellen, Vertrauen und Verhalten als Schlüssel für

- Mitarbeiter-Empfehlungen, Fachveranstaltungen, Wettbewerbe u. a. m.,
- frühzeitige Identifizierung potentieller Leistungsträger auf Rekrutierungsveranstaltungen an Universitäten, Fachhochschulen und auf Jobmessen. Dazu gibt es 2016 in Deutschland mehr als 20 Tagesveranstaltungen.
- Bauen Sie sich Ihre “Potentielle Mitarbeiter-Pipeline” auf. Stellen Sie den Stamm entsprechend den Zielen und Markterfordernissen fortlaufend fachlich und menschlich weiter zusammen und aus. Befassen Sie sich mit ihrem zukünftigen Einstellungsbedarf, mit Zielgruppenkampagnen und einem anspre-

chenden Programm für potentiell neue Mitarbeiter. Machen Sie es Bewerbern leicht zu lesen, zu hören oder zu sehen, warum die Mitarbeit in Ihrem Unternehmen langfristig betrachtet lohnenswert ist!

- Konzentrieren Sie sich strategisch auf die Bereitstellung von passenden Persönlichkeiten für ihr Unternehmen und auf die Authentizität ihrer Arbeitgebermarke! Führen Sie Menschen mit sich ergänzenden Fähigkeiten für neue Ideen zusammen. Das ist individuelle Direktansprache (Personalberatung sieht anders aus!) zusammen mit einem von Ihnen beauftragten und anders als üblich im Markt arbeitenden Headhunter (Branchenerfahrung vorteilhaft!) Ihres Vertrauens. Im originären Fokus stehen High-Potentials, die für Wettbewerber arbeiten und nicht aktiv auf der Suche sind. Diese identifiziert Ihr vorgenannter Geschäftspartner und überzeugt sie, sich bei Ihnen zu bewerben. Dem anderen Unternehmen entsteht beim Weggang eines wertvollen Mitarbeiters wahrscheinlich ein signifikanter Schaden. Wenn Sie es nicht tun, macht es die Konkurrenz!
- Sorgen Sie für Ihre mittelfristig ausgerichtete Personal-Marketing-Strategie im Sinne eines permanent wirkenden Instruments. Bauen Sie aktiv langfristig angelegte Beziehungen zu etwaig passenden neuen Mitarbeitern auf und pflegen diese Verbindungen. Schaffen Sie ein Reservoir, das Sie bei Bedarf aktivieren! Das ermöglicht bereits im Vorfeld von sich abzeichnenden Neu- und Umbesetzungen Verbindungen zu potentiellen Mitarbeitern, die sich für Ihr Unternehmen interessieren und deren Kompetenzen und Erfahrungen Ihren Zielen dienlich sind. Verstärken Sie die Ausschöpfung dieses latenten Potentials. Bauen Sie dafür geeignete Rekrutierungsstrategien für definierte Zielgruppen von Fach- und Führungskräften und Märkte auf, aus denen Mitarbeiter für ihre Absichten gewonnen werden sollen.
- Nutzen und bedienen Sie ausgewählte Foren, Blogs, Messen, Kolloquien, Symposien oder Rekrutierungs-Events. Das erfordert Kontinuität und ist zeitaufwendig. Die dafür notwendigen Kapazitäten sollten vorher mit den dafür Verantwortlichen besprochen, abgestimmt und vereinbart werden. Definieren Sie Anforderungsprofile, die auf Sicht gesehen zur Suche anstehen sollten.
- Sorgen Sie für Unverwechselbarkeit und Loyalität. Was nach außen kommuniziert wird, muss weitgehend dem entsprechen, was im Inneren gelebt wird! Zufriedenheit im Inneren wirkt sich positiv nach außen aus! Dazu gehört auch die Qualität der Integration neuer Kollegen in das Tagesgeschäft. Begrüßen Sie sie entsprechend. Stellen sie neue Mitarbeiter im Kollegenkreis vorbereitet vor und führen sie ebenso ein. Geben Sie ihnen in festgelegten Zeitabständen Feedback, und fordern Sie dieses auch umgekehrt ein.

- So beraten und unterstützen Sie die Leitung in den jeweiligen Fach-Abteilungen frühzeitig und reaktivieren potentiell passende Kandidaten automatisch, die bereits zuvor Einblick in Ihre Unternehmenskultur, Organisation und unternehmerischen Absichten erhalten haben.

Schlagen Sie möglichst schnell zu. Besonders dann, wenn es um gefragte Fähigkeiten geht. Gewinnen Sie einen Bewerber nach seinem Zeitplan, und gehen Sie nicht nach Ihrem eigenen! Achtsamkeit ist bei extrem zögerlicher Kandidatenhaltung geboten. Auch wenn hier sehr genau zu differenzieren ist zwischen den Beweggründen seiner Unsicherheit. Informieren Sie Bewerber immer schnellstens über den Fortgang seiner Bewerbung. Bleiben Sie im Dialog! Zeigen Sie Mut und echtes Interesse, ihn bestmöglich kennenzulernen, auch privat! Sprechen Sie mit ihm über "Wodurch unterscheiden wir uns vom Wettbewerb in puncto Innovation, Erfolg, Kompetenz, Erfahrung und Zusammenarbeit im Team, was sind die Unternehmensziele, warum gerade diese?" und holen Sie dazu seine Ansichten ein. "Warum lohnt es sich, gerade für ihr Unternehmen zu arbeiten? Wie sehen die Vorstellungen von Aspiranten dazu aus? Wie ist deren Erwartungshaltung"? Sie investieren in Zeit und gewinnen zusätzlich ergänzendes Wissen und Informationen über Märkte und die hier arbeitenden Menschen.

Sie sollten wissen, wen Sie, fachlich und menschlich betrachtet, im Unternehmen haben möchten und empathisch vorgehen. "Wo halten sich diese Menschen auf, welche Sprache und Kanäle nutzen sie, was ist ihnen wichtig"? Seien Sie bereit für diese Grundsatzthemen. Sie tragen dazu bei, dass sich ihr Unternehmen und seine Menschen merklich positiv im Markt unterscheiden. Das verstärkt die Begeisterung von Menschen für Unternehmen und von Unternehmen für Menschen!

Die Personalauswahl wird meiner Ansicht nach allzu oft auf Basis einer falschen Fragestellung durchgeführt! "Welcher Kandidat passt am besten zu der offenen Stelle und der dazugehörigen Stellenbeschreibung"? Der Begriff allein ist an sich schon vielsagend genug! Eine Stelle ist unbeweglich. Entsprechend ist auch eine Stellenbeschreibung - also statisch - und zudem nicht selten unverständlich formuliert. Welche Aufgaben, Kompetenzen und Ziele sind gemeint? Vielleicht sollten wir stattdessen den Blick mehr auf Zuordnungen lenken. Will sagen: "Welche spezifische Aufgaben stellen sich einem neuen Mitarbeiter in welchem Zeithorizont, welche Ergebnisse sollen von ihm in dieser Zeit erzielt werden"? Es wird immer wieder intensiv beleuchtet, ob der Bewerber zum Unternehmen beziehungsweise zur neuen Aufgabe passt, aber zu wenig, ob dies auch umgekehrt gilt. Genauso wichtig ist, sich auch daran zu orientieren, inwieweit ein Bewerber seine individuellen Stärken entfalten kann. Muss man eigentlich immer von hundertprozentig passenden Mitarbeitenden / Bewerbern zu den Zielen

des Unternehmens ausgehen? Deshalb sollten Sie versuchen, auch vorgenannte Aspekte in ein Anforderungsprofil mit einzupflegen.

Orientieren wir uns mehr an Stärken! Die grundsätzliche Leidenschaft und Leistungsbereitschaft (intrinsische Motivation) sollte vom Mitarbeiter selbst kommen. Sie kann nicht herbeigezaubert werden. Dafür ist sie nach Ansicht von Psychologen umso höher, je mehr die persönlichen Stärken und Vorlieben mit den beruflichen Aufgaben übereinstimmen. Individuelle Stärken von Mitarbeitern zur Geltung gebracht eröffnen Zusatznutzen. Stärken werden sich stärker entwickeln, die Motivation wird zulegen. Machen Sie sich die Stärken Ihrer Mitarbeiter bewusst und entwickeln Sie diese gezielt weiter!

Stellen Sie den Menschen in den Mittelpunkt! Konzentrieren Sie sich einmal mehr auf seine Auswahlkriterien. Beschäftigen Sie sich damit, wie man als Kandidat den Bewerbungs- und Auswahlprozess wohl empfindet und weniger damit, einen Job anzupreisen! Gewährleisten, fördern und fordern Sie deswegen im Zuge des Rekrutierungsprozesses auch einen kontinuierlichen Informationsaustausch zwischen den Abteilungen! Kooperationsfähigkeit ist mitentscheidend. Machen Sie das Miteinander zum Bestandteil der Firmenkultur!

Einer der größten Innovationskiller in Deutschland ist die Ablehnung von Ideen, die von außen kommen und ein gewisser Egoismus in der Zusammenarbeit. Dahinter steht die vielfach vertretene Einstellung, dass Erfolge nur wertvoll sind, wenn sie im eigenen Team entstehen. Menschen haben tendenziell Angst davor, dass andere schneller und kreativer sein könnten und verhalten sich eigennützig. Die Konkurrenz beginnt nicht erst beim Wettbewerber, sondern oftmals bereits intern an der Abteilungsgrenze. Konkurrenz-Denken ist jedoch ein Null-Summen-Spiel! Langfristig gesehen gibt es nur Verlierer.

Offerieren Sie eine Unternehmenskultur, die nach außen und innen hin gerichtet ist. Zeigen Sie, dass Sie sich notwendigen Veränderungen nicht nur annehmen, sondern diese auch umzusetzen. Auch das bewirkt nachhaltig positiv wirkende Impulse für Ihre Innovations- und Wettbewerbsfähigkeit. Erfolgreiche Unternehmen vermarkten ihre Vorzüge und folgen permanent den Markterfordernissen und Veränderungen. Praktizieren Sie richtungsweisende und qualitativ hochwertige Unterschiede im Wettbewerbsvergleich und generieren systematisch ernsthaftes Interesse bei Fach- und Führungskräften.

Man begegnet sich respektvoll und auf Augenhöhe und erkennt bislang verdecktes Potential. Das Unternehmen erhält daraus resultierend die Chance, komplementär nützliche Quellen für die eigene Wertschöpfungskette zu nutzen. Nur ernsthafte Absichten bewirken ein positives Feedback in Bezug auf die gegenseitige Erwartungshaltung. Menschen haben nur dann das Gefühl an einem

Strang zu ziehen, wenn sie ihren artikulierten Anspruch auch in der praktischen Zusammenarbeit wieder finden.

3 Personal-Marketing, bezogen auf das Employer-Branding und die Weiterentwicklung und Bindung des vorhandenen Personals haben große Bedeutung!

Verantwortungsvolles Verhalten und Handeln in Bezug auf Marktveränderungen sind die Voraussetzung für Entwicklungs-Potenzial und dient den ökonomischen Zielen des Unternehmens und seinen Mitarbeitenden.

Ingenieure bevorzugen Arbeitgeber, die vor allem die Faktoren "Economic Value", "Innovationskultur", "Corporate Social Responsibility (CSR)" u./o. "Development Value" implementieren. Ihr Mitarbeiter fühlt sich ihrem Unternehmen emotional verbunden, wenn Sie ihm ein Arbeitsumfeld bieten, das sich durch ein gutes Arbeitsklima auszeichnet. Zudem sind, im Rahmen der Unternehmensbindung, ebenfalls die Implementierung eines attraktiven Vergütungssystems sowie die Ausrichtung sämtlicher Unternehmensaktivitäten an der Umwelt von zentraler Relevanz. Es ist ferner empfehlenswert, Weiterbildungsmöglichkeiten anzudienen! Qualifizieren Sie Ihre Belegschaft kontinuierlich. Bauen Sie die individuellen Fähigkeiten ebenso konsequent weiter aus.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Der Personalmarkt für Ingenieure ist nicht erst seit heute im Wandel begriffen. Die Zielgruppe ("Passende Ingenieure für Unternehmens-Vorsätze") wird immer selbstbewusster! Man entwickelt ein erweitertes Spektrum an eigenen Anforderungskriterien im Ingenieurbüro wie: Work-Life-Balance, Vereinbarkeit von Familie, Beruf und Karriere hinsichtlich flexibler Arbeitszeiten- und Orte, Entwicklungsmöglichkeiten, Berücksichtigung von Familieninteressen, Freundeskreis, Hobbies, Wertschätzung, flache Hierarchien, Umgang miteinander u. a. m. Wem es gelingt in seinem Unternehmen eine kreative Atmosphäre zu schaffen, wird Wettbewerbsvorteile im Kampf um die besten Ideen erzielen, ein positiveres Klima im Büro erreichen und fähige Mitarbeiter langfristig an sein Unternehmen binden. Mit dem Heranwachsen der jüngeren Generationen Y (die um die Jahrtausendwende geboren wurde) und Z (zurzeit Schüler oder angehende Studenten) verschieben sich wesentliche Werte und Präferenzen der zukünftigen Mitarbeiter. Aufgewachsen mit einer selbstverständlichen Einbettung in digitale Kommunikation und soziale Netzwerke empfinden sie beispielsweise zeitliche

und räumliche Fixierungen als erhebliche Hindernisse. Als Konsequenz werden etwa weitgehende Flexibilität bei Arbeitszeit und -ort sowie nicht-hierarchische Kommunikation zu erfolgsentscheidenden Strukturen in vielen Unternehmen. Für die Dexina AG, Böblingen ist Work-Life Balance Quatsch. Leben ist bei dem jungen Unternehmen laut Aussage von Geschäftsführer Heiner Scholz auch bei der Arbeit möglich – Life@work! Bisher scheinen allerdings nur wenige Unternehmen in der Lage zu sein, die Bedürfnisse und Wünsche dieser Generationen mit ihrer Unternehmenskultur in Einklang zu bringen. Natürlich geht dies alles nicht von heute auf morgen. Kooperationsfähigkeit ist nicht nur irgendein Softskill, sondern das Überlebenshandwerkszeug für die Zukunft. Kooperation verändert die Perspektive und inspiriert, den zu verteilenden Kuchen größer zu machen, anstatt um den vorhandenen zu kämpfen. Kooperatives Handeln macht nicht nur Innovationen erst möglich, es bindet die kreativen Mitarbeiter auch ans Unternehmen. Warten Sie nicht ab, wie innovationsfähig sich Ihr Unternehmen, die Führungskräfte und Mitarbeiter in Sachen Kooperation entwickeln. (*Gero Hesse und Roland Mattmüller, 2015*). Nehmen Sie das Heft des Handelns jetzt und persönlich in Ihre Hände.

5 Literatur

- Gero Hesse und Roland Mattmüller (2015): Perspektivwechsel im Employer Branding, Neue Ansätze für die Generationen Y und Z, Springer Gabler 2015.
- Prof. Dr. Tim Weitzel u.a. (2014; 2015): Recruiting Trends 2014 und 2015, Empirische Untersuchung mit den Top-1.000 Unternehmen aus Deutschland sowie den Top-300 Unternehmen aus den Branchen Health Care, IT, Finanzdienstleistungen und Maschinenbau.
- Anne M. Schüller (2009): Kundennähe in der Chefetage, Wie Sie Mitarbeiter kundenfokussiert führen, orell füssli Verlag AG, 2009.

Autor:

Stephan Olschowka

Agentur für Fach- und Führungskräfte
Bürenbrucher Weg 26 B
58239 Schwerte

Tel.: +49 2304 789 309
+49 151 127 32654

E-Mail: s.olschowka@fach-und-fuehrungskraefte.com

Geotextile Schläuche als vielseitige Lösung für Ökologische Wasserbauprojekte

Johannes Wiemers
Markus Wilke

In dieser Veröffentlichung wird der Einsatz von Geotextilen Schläuchen zur Umsetzung von ökologischen Wasserbauprojekten beschrieben. Hierzu zählt die Revitalisierung von verlandeten Gewässern unter Einsatz geotextiler Entwässerungsschläuche bei gleichzeitiger Verwendung als Element zur Re-Modellierung von Gewässern.

Stichworte: Geotextile Schläuche, Schlammentwässerung, Gewässermodellierung

1 Einleitung

Die Verlandung und Verschlammung von Gewässern hat unter anderem eine Verschlechterung der Gewässerqualität zur Folge. Auf Grund dessen wurde der Schmelzteich in Bernsdorf unter Berücksichtigung verschiedenster Interessen in den Jahren 2012 und 2013 renaturiert. Hierzu wurde das sedimentierte Material in großformatige geotextile Schläuche eingebracht und somit als Baustein zur Umgestaltung der Uferlinie eingesetzt.

2 Urzustand und Interessen

Die allgemeinen Ziele der Sanierung des Schmelzteich Bernsdorf waren: Erreichen eines guten Gewässerzustandes gemäß WSRRL 2015 und Schaffung einer nachhaltigen Flora und Fauna. Zusätzlich galt es die Interessen der Stadt zu berücksichtigen. Hierzu zählten die Schaffung eines Naherholungsgebietes, verbesserter Hochwasserschutz, Erhalt der Insel und nicht zuletzt die Wiederaufnahme eines Bootsbetriebes. Der Anglerverband Elbflorenz (AVE) als Eigner erstrebte die Verbesserung der Angelbedingungen bzw. die Schaffung eines optimalen Anglergewässers. Hierzu zählen die Herstellung von Wasserflächen mit Flach- und Tiefwasserbereichen von bis zu 2,0 m, eine Morphologie nah am Urzustand und folglich gute Angelbedingungen.

Der Schmelzteich Bernsdorf war vor Beginn der Maßnahme nahezu völlig verlandet. Abbildung 1 zeigt die Situation des Schmelzteichs Bernsdorf vor Start der Sanierung.



Abbildung 1: Zustand Schmelzteich Bernsdorf vor der Sanierung 2012

Die Grundfläche des Sees betrug ca. 50.000 m² mit Schlammablagerungen von rund 17.000 m³ bei einer Mächtigkeit von bis zu 30 cm. Der See war stark eutroph bis und wies PH-Werte zwischen 7,8 und 8,2 auf.

3 Umsetzung

Zur Entschlammung und Verbesserung der Wasserqualität gibt es eine Vielzahl von Maßnahmen, deren Anwendbarkeit aber durch die verschiedenste Randbedingungen ausgeschlossen werden können/müssen. Eine gute Übersicht unterschiedlicher Verfahren gibt *Scharf et al.* (1992), die in Tabelle 1 auszugsweise dargestellt ist.

Meist kommen die aufgeführten Maßnahmen auch in Kombination zwecks einer erfolgreichen Entschlammung zum Einsatz. Nachfolgend wird das Sanierungskonzept für die Baumaßnahme Bernsdorf vorgestellt. Die Eigenschaften des Schmelzteiches Bernsdorfs sind in Tabelle 1 grün hinterlegt.

Die gewählte Lösung stellt eine Kombination aus Entschlammung, Konditionierung, Einkapselung und Umlagerung dar. Diese Lösung verfolgt das Ziel möglichst vielen Interessen gerecht zu werden. Die Projektkosten werden so vergleichsweise niedrig gehalten, da das Sediment im See verbleiben kann und nicht entsorgt bzw. lediglich umgelagert werden muss.

Tabelle 1 Übersicht Entschlammungsverfahren (nach *Scharf et al.*, 1992); (+: Gut geeignet; -: Ungeeignet; (?): Fraglicher Erfolg)

Seenoberfläche	> 1	> 1	< 1	< 1
Max. Tiefe (m)	5	< 5	5	< 5
Nährstoffinaktivierung	+	+	+	(?)
Verdünnung	+	+	+	+
Sedimentkonditionierung				+
Entschlammung			+	+
Sedimentabdeckung		(?)	+	(?)
Belüftung Hypolimnion	+	-	+	-
künstl. Destratifikation	+	-	+	-
Tiefenwasserableitung	+	-	+	-
Entkrautung	(?)		(?)	+
Beschattung				+

Das Sediment wird mit einem Saugbagger gefördert, konditioniert und in geotextile Schläuche verbracht. Nachdem diese gefüllt sind ist ein Sedimentationsraum für das restliche Sediment zwischen den geotextilen Schläuchen und der Uferlinie entstanden. Die Tiefwasserzone mit ca. 2 m befindet sich nahe des Abflusses. Durch diese ökologischen Aspekte werden attraktive Angelbedingungen geschaffen, zu denen durch spezielle Stege den Anglern Zugang gewährt wird.

Entlang der Straße wurde so die gesamte Uferlinie verbreitert. Am Kopf der Insel wurde eine Verlandungsfläche geschaffen. In Abbildung 2 sind die morphologischen Veränderungen zu erkennen.



Abbildung 2: Zustand vor (linkes Bild) und nach (rechtes Bild) der Sanierung, Quelle Google Earth

Das Schlüsselement bei diesem Vorhaben sind die geotextilen Schläuche, die eine wesentliche Volumenreduktion des Schlammes garantieren, einen erosionsstabile Uferlinie bilden und zur Ausbildung eines Geländesprunges verwendet werden (siehe Abbildung 3).

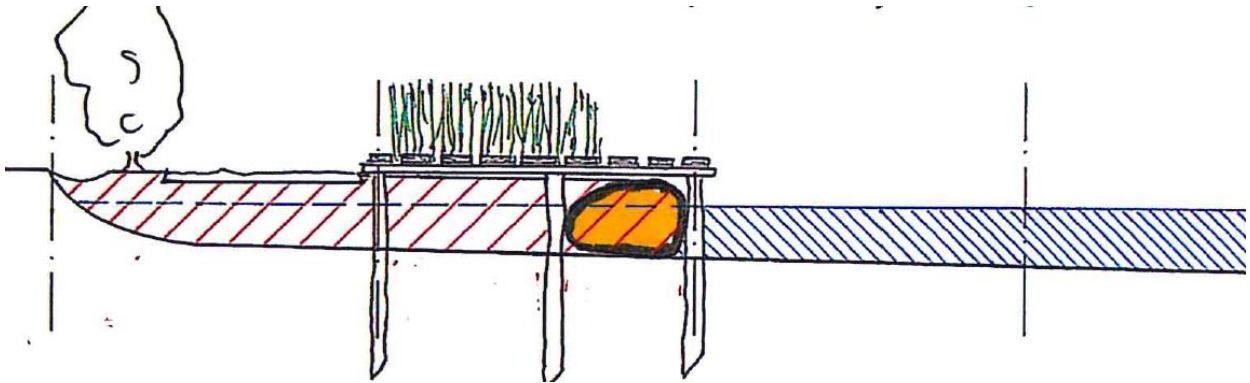


Abbildung 3: Typischer Querschnitt des Nordufers.

3.1 Umsetzung in der Praxis

Nachdem die Profilierung und Räumung der Schlauchtrasse von scharfkantigen Gegenständen abgeschlossen war, wurde ein Vliesstoff ausgelegt, um während des Befüllens der Schläuche Erosion durch austretendes Filtrat zu verhindern. Nachdem die Schläuche verlegt waren, wurde mit der Befüllung mittels amphibischem Saugbagger begonnen (siehe Abbildung 4).



Abbildung 4: Amphibischer Saugbagger und geotextiler Schlauch während der Befüllung

Der Amphibische Saugbagger förderte das Sediment direkt in die geotextilen Schläuche. In der zu den Schläuchen führenden Rohrleitung wurde ein Flockungshilfsmittel (FHM) zugegeben. Nach mehrmaliger zyklischer Befüllung und Erreichen der zu erzielenden Befüllhöhe wurde der geotextile Schlauch mit einer Schutzlage abgedeckt.

Eine detaillierte Beschreibung der Funktionsweise geotextiler Schläuche in Kombination mit Flockungshilfsmitteln folgt in Kapitel 4.

4 Technik

Das System zur Entwässerung mittels geotextiler Schläuche bzw. auch die Verwendung dieses Systems zum Uferverbau, bei der die Entwässerungsschläuche am Ende des Stoffstroms stehen, setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen.



Abbildung 5: Vereinfachte Darstellung des Systems der Entwässerung mittels geotextiler Schläuche bzw. des „Schlammflusses“ (von links nach rechts)

Das System besteht aus drei elementaren Prozessschritten (vgl. Abbildung 5):

- Produktion bzw. Förderung des Schlammes,
- Aufbereitung und Konditionierung des Schlammes,
- Entwässerung des Schlammes in geotextilen Schläuchen.

Per hydraulischer Förderung mittels amphibischem Saugbagger erfolgt die direkte Bepflügelung der geotextilen Schläuche. Im Zulauf der geotextilen Schläuche wird durch entsprechendes Equipment das FHM in den Stoffstrom eingemischt. Abweichend von obiger Grafik wurde in Bernsdorf das austretende Filtrat nicht gesammelt und kontrolliert abgeführt, sondern direkt wieder in den See eingeleitet.

4.1 Flockungshilfsmittel

Die Wirkungsweise von Flockungshilfsmitteln besteht in der Agglomeration der in der Suspension enthaltenen Schwebstoffteilchen zu größeren so genannten Flocken. Hierdurch wird die Entwässerung vereinfacht bzw. in den meisten Fällen erst ein zufriedenstellendes Entwässerungsergebnis ermöglicht. Mit Zunahme

der mineralischen Fraktion des Schlammes wird das potentiell zu erzielende Entwässerungsergebnis, d. h. der Trockensubstanzgehalt des entwässerten Materials, größer, wohingegen mit Zunahme der organischen Fraktion der Schlamm als immer problematischer hinsichtlich der möglichen Entwässerung einzustufen ist.

Ein Großteil der auf dem Markt erhältlichen Flockungshilfsmittel wird auf synthetischer Basis hergestellt. Das in Bernsdorf verwendete Flockungshilfsmittel wird auf Chitin Basis gewonnen und besteht somit aus einem biologischen Grundstoff. Das Zusammenspiel von FHM, Schlamm, Befüllung und geotextilen Schläuchen wird nachfolgend erläutert.

4.2 Funktionsweise des geotextilen Schlauchs

Bei der Entwässerung mittels geotextiler Schläuche handelt es sich im Verfahrenstechnischen Sinne um eine Filtration, d. h. es erfolgt eine mechanische Trennung eines Stoffgemisches, hier Suspension, bei der der Feststoff von der flüssigen Phase separiert wird. Die Methode „Geotextiler Entwässerungsschlauch“ ist ein passives, statisch gravimetrisches Verfahren, das zwischen den extensiven rein statischen Entwässerungsmethoden (z. B. Spülfelder) und den mechanischen Verfahren (z. B. Siebbandpressen, etc.) angesiedelt werden kann.

Auf Grund der besonderen geometrischen Form des Filtermediums als Ellipse, kommt es bei dem Verfahren der Entwässerung mittels geotextiler Schläuche zu einigen Besonderheiten. Die Geometrie des Schlauches in Kombination mit der hydraulischen Befüllung, bedingt sowohl eine einaxiale und radiale als auch tangentielle Filtration. Des Weiteren stellen die elliptische Form und die daraus resultierenden Zugspannungen zusätzliche Anforderungen an das Filtermedium. Infolge des Pumpvorganges entsteht ein Überdruck innerhalb des geotextilen Entwässerungsschlauches, der einerseits wie bei einer Druckfiltration die Geschwindigkeit des Prozesses erhöht und andererseits zu einer Kompression des Filterkuchens und der damit verbundenen Erhöhung des Filtratwiderstandes führen kann.

In der Entwässerungsphase handelt es sich hingegen maßgeblich um eine reine Schwerkraftfiltration. Durch die Geometrie und das Eigengewicht des Füllmaterials steht die geotextile Schlauchhülle konstant unter einer geringen Zugspannung, die einen geringfügigen Überdruck innerhalb erzeugt, der die Infiltration von z. B. Regen in den Schlauch bzw. das bereits entwässerte Material verhindert.

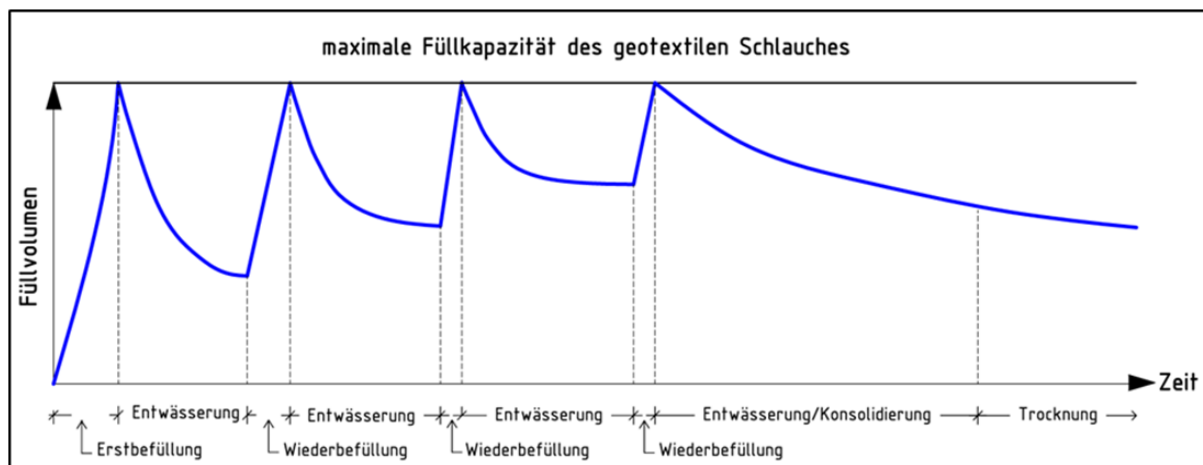


Abbildung 6: Schematischer Ablauf der Befüllung und Entwässerung

Die zyklische Befüllung des Schlauches mit Unterbrechungen des Pumpvorganges, vergleiche auch Abbildung 6, führt zu einem diskontinuierlichen Filtrationsprozess, bei dem sich die Druckfiltration infolge des Befüllvorganges mit der Schwerkraftfiltration der Entwässerungsphase abwechselt. Hiermit einher geht eine unterschiedlich stark voranschreitende Konsolidierung des Filterkuchens, der am Ende des gesamten Prozess als Baustoff eingesetzt werden kann.

5 Fazit

Das Verfahren der Entwässerung von Schlämmen mit feinkörnigen organischen und mineralischen Bestandteilen mittels geotextiler Filterschläuche ist im Begriff sich am Markt zu etablieren. Die gleichzeitige Verwendung dieser als Element für Bauwerksstrukturen ist national bisher noch nicht zur Anwendung gekommen. Somit stellt der Schmelzteich Bernsdorf das Pilotprojekt für Deutschland dar. Es hat eindrucksvoll verdeutlicht, dass geotextile Schläuche und ökologischer Wasserbau nicht im Widerspruch stehen, sondern vielmehr, dass geotextile Schläuche eine vielseitige Alternative zu konventionellen Bauweisen darstellen.

6 Literatur

- Scharf, B., Hamm, A., Steinberg, C. (1992): Seenrestaurierung. In: Besch, W.K. et al. (1992): Limnologie für die Praxis. Grundlagen des Gewässerschutzes. 3. Aufl. München.
- Cantré, S., Schulz, H. (2011): Mobile Baggertgut-Entwässerung mit geotextilen Schläuchen: Wasser und Abfall Heft 3/2011.

Autoren:

Dipl.-Ing. (FH) Johannes Wiemers

Huesker Synthetic GmbH
Fabrikstraße 13-15
48712 Gescher

Tel.: +49 2542 701 291

Fax: +49 2542 701 493

E-Mail: Wiemers@huesker.de

Dipl.-Ing. Markus Wilke

Huesker Synthetic GmbH
Fabrikstraße 13-15
48712 Gescher

Tel.: +49 2542 701 296

Fax: +49 2542 701 493

E-Mail: Wilke@huesker.de

Flutmulde Rees - ein Bypass für den Rhein

Reinhold Neisser

1 Ein neues Konzept für den technischen Wasserbau

1.1 Einführung

Das Aufgabenfeld der Ingenieurbiologie ist im Garten- und Landschaftsbau immer noch eine Nische. Dies führt dazu, dass ingenieurbiologische Baumaßnahmen, die Bestandteil von größeren Bauvorhaben sind, von branchenfernen Firmen ausgeführt werden. Die Flutmulde Rees ist ein Beispiel für eine zukunftsweisende und nachhaltige Baumaßnahme im Bereich des Wasserbaus. Die hier angewendeten Materialien und Bauweisen lassen sich leicht auf kleinere Projekte, wie zum Beispiel Renaturierungen von Bachläufen und kleineren Flüssen, übertragen. Sie fügen sich somit nahtlos in das Tätigkeitsfeld des Garten- und Landschaftsbaus ein und haben ausreichend Potential neue Geschäftsfelder erschließen zu können.

Bei Rees am Niederrhein im Landkreis Kleve wurde im August 2015 eine Flutmulde fertig gestellt. Sie dient der Entlastung des Hauptstroms des Rheins bei Hochwasserereignissen und zur generellen Reduzierung der Fließgeschwindigkeit. Hierbei handelt es sich um ein zukunftsweisendes wasserbauliches Projekt des Wasser- und Schifffahrtsamts Duisburg-Rhein.

Wie jedes natürliche Flusssystem verändert auch der Rhein immer wieder seinen Flusslauf. Diese Dynamik ist das Ergebnis eines Wechselspiels zwischen Erosion und Anlandung. Doch durch die Eindeichung des Rheins ist eine Ufererosion (Seitenerosion) des Flusses kaum noch möglich. Dies hat zur Folge, dass der Rhein sein Bett nur noch in vertikaler Richtung verändern kann. Die daraus resultierende Sohlerosion stellt eines der größten Probleme von frei fließenden Gewässern dar.

Ziel ist es die Baumaßnahmen möglichst nachhaltig umzusetzen. Dabei ist zu beachten, dass ökologische und ökonomische Nachhaltigkeit in Einklang gebracht wird. Einerseits sollen Natur und Umwelt, sowie die Artenvielfalt, Kultur- und Landschaftsräume für nachfolgende Generationen erhalten werden. Andererseits stellt gerade der Rhein als eine der verkehrsreichsten Wasserstraßen der Welt einen enormen Wirtschaftsfaktor, nicht nur für die Region Rees, dar.

1.2 Nadelöhr Rees

Nahe der Stadt Rees, wo der Rhein einen engen, landschaftlich sehr schönen Bogen macht (Rheinkilometer 833,5 bis 839,0), beträgt die Sohlerosion pro Jahr etwa zwei Zentimeter. Dies stellt die Schifffahrt vor Probleme: Denn durch die Sohlerosion entstehen in den Innenbögen Anlandungen, die die Schifffahrt behindern, da hier die Fließgeschwindigkeit des Wassers reduziert ist. In den Außenbögen des Flusslaufs hingegen konzentrieren sich Strömungskräfte, die die Sohle auskolken. Langfristig führt dieses Wechselspiel zu einer Verringerung der Fahrwassertiefe und –breite und somit zu Einschränkungen in der Schifffahrt.

Bei Rees ist das Problem der Sohlerosion des Rheins besonders ausgeprägt, da der Fluss hier durch die Uferpromenade von Rees auf der einen, und durch das über dem Mittelwasserspiegel liegende Rheinvorland auf der anderen Rheinseite, begrenzt wird. Denn diese Verengung des Fließquerschnitts des Rheins (A in m^2) wirkt auf das Wasser wie eine Düse. Bei steigenden Wasserständen (Volumenstrom¹ = \dot{v} m^3/s) erhöht sich die Fließgeschwindigkeit (c in m/s) und damit auch die Sohlerosion des Flussbetts überproportional.

Diese Entwicklung hat neben den Problemen mit der Schifffahrt noch weitere unerfreuliche Folgen für die Bewohner von Rees: Denn durch die Erhöhung des Volumenstroms wird im Nadelöhr Rees die Strömungsgeschwindigkeit des Rheins ebenfalls stark erhöht. Diese hat zur Folge, dass der Strömungsdruck auf die Reeser Stadtmauer wächst und das Hochwasserrisiko für die Anwohner steigt.

1.3 Die Flutmulde ein Bypass

Die Flutmulde Rees ist ein wasserbauliches Projekt des Wasser- und Schifffahrtsamtes Duisburg-Rhein, was diesen Problematiken begegnen soll. In fünf Jahren soll die Flutmulde als naturnaher Seitenarm des Rheins ausgestaltet werden. Die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes hat für die Baumaßnahme 50 Millionen Euro zur Verfügung gestellt. Das Land Nordrhein-Westfalen beteiligt sich mit weiteren 4 Millionen Euro. Der Bau der Flutmulde ist eine anspruchsvolle Maßnahme im Bereich des technischen Hochwasser-

¹ Unter einem Volumenstrom wird das Volumen eines Mediums verstanden, das innerhalb einer Zeiteinheit durch einen Querschnitt fließt. Der Volumenstrom berechnet sich nach folgender Formel: $\dot{v} = c * A$.

schutzes, der die Eintiefungstendenzen des Rheines deutlich und dauerhaft reduzieren soll.

Bisher wurden als Ausgleich der Geschiebeverlagerung durch Erosion die betroffenen Bereiche immer wieder aufgefüllt bzw. verfüllt. Dies ist eine sehr aufwendige und kostenintensive Methode. Durch den Bau der Flutmulde soll diese Form der Instandhaltung nahezu überflüssig werden, da der Rhein in Hochwasserzeiten mehr Platz erhält wohin er sich ausbreiten kann. Dies führt zu einer Reduzierung des Volumenstroms der pro Zeiteinheit das Nadelöhr in Rees passieren muss.

Die Flutmulde soll somit folgende Aufgaben erfüllen:

- Stabilisierung der Fahrinnenverhältnisse und somit Stabilisierung der Bedingungen für die Schifffahrt,
- Zusätzliche Abflussmöglichkeit für den Rhein,
- Verringerung der Strömungsgeschwindigkeiten und Erosionstendenzen,
- Reduzierung des Strömungsdrucks auf die Stadtmauer,
- Verbesserung der Hochwassersituation der oberen Rheinanlieger.

Die Flutmulde übernimmt somit die Funktion eines Bypasses für den Hauptstrom des Rheins. Sie senkt den Wasserspiegel des Rheins, was in einer geringeren Strömungsgeschwindigkeit des Hauptstromes resultiert. Dies wiederum führt zu einer geringeren Sohlenerosion.

Die Bauarbeiten gegenüber der Stadt Rees haben bereits 2009 begonnen und werden bis ins Jahr 2014 andauern. Der gesamte Bauabschnitt wird hierfür in 21 kleinere Bauabschnitte unterteilt. So sollen größere Belastungen für die angrenzenden Ökosysteme vermieden werden. Während der gesamten Bauzeit der Flutmulde kann der Fährbetrieb auf dem Rhein aufrechterhalten werden.

Die Flutmulde hat eine Gesamtlänge von drei Kilometern und ist zwischen 120 und 180 Meter, je nach Wasserstand, breit. Die eigentliche Sohle der Flutmulde ist lediglich zwischen 30 und 40 Metern breit.

Ab einem Wasserstand von +80 Zentimetern über Mittelwasser bietet die Flutmulde dem Rhein eine zusätzliche Abflussmöglichkeit. Sie kann bis zu 18 Prozent der gesamten Wassermenge des Hauptstroms aufnehmen. Dies führt nicht nur zu einer besseren Durchströmung der angrenzenden und austrocknungsgefährdeten Auen, sondern auch zu einer verbesserten Hochwassersituation der oberen Rheinanlieger. Der Wasserstand des Hauptstroms kann so bei Hochwasser um bis zu zehn Zentimeter verringert werden.

2 Aufbau und Konstruktion der Flutmulde

Um die Flutmulde in der Landschaft herzustellen, sind umfangreiche Erdarbeiten erforderlich. Insgesamt werden ca. 2,2 Millionen Kubikmeter Bodenaushub ausgebaggert, auf Klappschuten verladen und an anderer Stelle im Rhein wieder eingebaut. Insgesamt können 95 Prozent des anfallenden Bodenaushubs wiederverwertet werden.

Ein Großteil der Baggararbeiten erfolgt unter Wasser. Ebenfalls unter Wasser verlegt werden rund 320.000 Quadratmeter Filtermatte und 370.000 Tonnen Wasserbausteine. Die Filtermatten werden auf die neu ausgebaggerte Sohle der Flutmulde gelegt. Bei den Matten handelt es sich um zehn Millimeter dicke geotextile Filtermatten aus verrottungsbeständigem Synthetikgewebe die mit Quarzsand gefüllt sind. Die Filtermatten werden mit einer 70 Zentimeter dicken Auflage aus Wasserbausteinen versehen. Der Einbau der Matten und Wasserbausteine unter Wasser erfolgt mit Hilfe von GPS-Technologie und Bautauchern, die die genaue Lage der Matten und Steine überprüfen.

Notwendig ist diese Maßnahme, da bei einer Durchströmung der Flutmulde bei hohen Wasserständen die feinkörnige Sohle ebenfalls der Sohlerosion ausgesetzt wäre. Die Lebensdauer der Matten beträgt etwa 30 Jahre. Danach besitzt die Sohle ausreichend Festigkeit und Struktur durch Pflanzenwurzeln, so dass sie dauerhaft geschützt ist.

Um optimal an den Böschungen arbeiten zu können und den Pflanzen Zeit zu geben sich ausreichend zu verwurzeln, werden kleinere Bauabschnitte von etwa 100 Meter Länge mit Hilfe von Spundwänden abgetrennt und trockengelegt. In Bereichen in denen mit erhöhter Strömungsgeschwindigkeit zu rechnen ist, werden etwa 33.500 Quadratmeter Drahtschotterkörbe, so genannte Flussmatratzen, eingebaut. Die Drahtschotterkörbe bestehen aus sechseckmaschigem, mehrfach gedrehtem und dick verzinktem Stahldraht (2,2 mm Drahtdurchmesser) und haben eine Größe von 4,0 x 2,0 x 0,30 Meter. Die Körbe sind durch Trennwände in 2,0 x 1,0 Meter große Zellen aufgeteilt. Die Trennwände dienen der Versteifung des Baukörpers und erleichtern somit den Einbau. Die Drahtkörbe werden vor Ort aufgefaltet, eingebaut und in Endlage mit Schotter befüllt und mit einem Drahtdeckel verschlossen. Die Zwischenräume des 36.000 Tonnen verbauten Schotters werden mit Oberboden-Substrat-Gemisch eingeschlämmt. Auf den eingeschlämmten Drahtkörben werden etwa 16.000 Quadratmeter vorgezogene Röhrichtmatten verlegt und befestigt. Der so entstandene Röhrichtsaum der Mittelwasserlinie geht böschungsaufwärts weiter in eine feuchte Hochstaudenflur über. Nachdem die Pflanzen ausspülsicher angewachsen sind, werden die Spundwände wieder gezogen.

An den übrigen Stellen, an denen mit einem geringeren Strömungsdruck zu rechnen ist werden neuartige, dauerhafte, dreidimensionale Erosionsschutzmatten (P 550) aus drei verschiedenen, schwarzen PP-Netzen (Polypropylen) und einer Zwischenschicht aus schwarzen PP-Fasern verwendet. Die dreidimensionalen Erosionsschutzmatten sind speziell für den Einsatz in Fließgewässern entwickelt worden. Die untere und obere Netzlage der Matte besteht aus einem „flachen“ zweidimensionalen PP-Netz. Das mittlere Netz dieser Matten wird bei der Herstellung „gecrimpt“, d.h. dem Netz wird im Herstellungsprozess eine wellenartige Struktur verliehen. Diese Form erzeugt die Dreidimensionalität der Matten die zusätzlich noch eine Faserauflage mit schwarzen PP-Fasern erhalten. Die P 550 Erosionsschutzmatten verankern und verstärken die Pflanzenwurzeln im Boden und verleihen somit Bepflanzungen eine langfristige Stabilität und schützen die bewachsene Bodenoberfläche gegen die Erosionskräfte von Fließgewässern. Die Matten werden mit Holzkeilen im Boden gesichert. Die so gesicherten Matten werden entweder im Nassansaatverfahren mit einer speziellen Saatgutmischung begrünt oder mit Röhrichtpflanzen mit Topfballen bepflanzt. Durch die Nassansaat bekommen die Samen zusätzlichen Halt in den Zwischenräumen der Matte und sind vor Winddruck geschützt.

Neben den dreidimensionalen Erosionsschutzmatten kommen auch Kokosfasermatten (C 350) mit PP-Netz in den oberen Böschungsbereichen zum Einsatz. Auch diese werden entweder mit Nassansaat oder Röhrichtpflanzen begrünt. Insgesamt werden für das ganze Bauprojekt etwa 84.000 Quadratmeter Erosionsschutzmatten benötigt. Nassansaatverfahren werden auf 215.000 Quadratmetern angewendet.

2.1 Überlaufschwelle

Um einen Übergang zwischen Rhein und Flutmulde zu schaffen, wird eine sogenannte Überlaufschwelle an der östlichen Seite der Flutmulde eingebaut. Dieser Bauabschnitt war als letztes vorgesehen. Aufgrund des sehr trockenen Herbstes 2011 und dem daraus resultierenden niedrigen Wasserstand des Rheins ist dieser Bauabschnitt vorgezogen worden. Die Überlaufschwelle wird mit ca. 8.000 Quadratmetern Betonblockmatten gesichert, damit die Flutmulde nach ihrer Fertigstellung ihre Aufgabe auch dauerhaft übernehmen kann.

2.2 Ökologische Bedeutung der Flutmulde

Das Gebiet der Flutmulde steht sowohl unter Natur- als auch unter Landschaftsschutz. Das Naturschutzgebiet umfasst dabei zwei FFH-Areale und ist Teil des EU-Vogelschutzgebietes sowie des „Feuchtgebietes von internationaler Bedeutung Unterer Niederrhein“.

Die Reduzierung der Sohlerosion führt zu einer Stabilisierung des vom Rhein abhängigen Grundwasserspiegels und somit zu einer Stabilisierung der ökologischen Gegebenheiten. Denn das durch die Sohlerosion bedingte Absinken des Wasserspiegels führte auch zu einem stetig absinkenden Grundwasserspiegel in der Region. Dies führte zu einer Austrocknung von Auen und Uferbereichen und somit zur ökologischen Schädigung der Region. Durch die Wiederbelebung der Auengebiete und die somit entstehenden Flachwasser- und Schlammflächen könnten dazu führen, dass die Bestände der Grünlandvögel wie zum Beispiel der Uferschnepfe, Grauammer, Feldlerche sowie des Wiesenpiepers, Rotschenkels und Kiebitzes wieder ansteigen. Darüber hinaus bieten die naturnah gestalteten Böschungen einen idealen Lebensraum für kleinere Insekten. So wird mit diesen Maßnahmen auch der Lebensraum der bedrohten Wolfsspinne (*Arctosa cinerea*) erhalten.

Zusätzlich entsteht im Bogen zwischen Rhein und Flutmulde eine etwa 300.000 Quadratmeter große Insel. Sie ist für den Menschen nicht zugänglich, wodurch Tiere und Pflanzen einen ungestörten Lebensraum vorfinden werden.

Die gesamte Flutmulde wird mit Mandel- und Kopfweiden, sowie Eschen und Schwarzpappeln bepflanzt. Insgesamt werden etwa 40.000 Gehölze im Bereich der Flutmulde angepflanzt.

Tabelle 1 Daten und Fakten im Überblick (Quelle: Hauptmassengerüst der Reinhold Meister GmbH)

Bauzeit	5 Jahre
Kosten	Rund 50 Mio. Euro
Bauträger	Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes zuständig: Wasser- und Schifffahrtsamt Duisburg-Rhein
Länge	3 km
Breite	120 – 180 m (abhängig vom Wasserstand)
Sohlbreite	30 – 40 m
Bodenbewegung	Ca. 2,2 Mio. t
Filtermatte	Ca. 320.000 m ²
Wasserbausteine	Ca. 370.000 t
Betonblockmatten	Ca. 8.000 m ²
Schotter 0/45	36.000 t
Flussmatratzen	33.500 m ²
Erosionsschutzmatten	83.800 m ²
Oberboden andecken	82.000 m ²
Bodenverbesserung	83.700 m ²
Gehölzpflanzungen	40.000 Stk.
Röhrichtmatten	16.250 m ²
Ansaat	215.000 m ²

3 Literatur

Wasser- und Schifffahrtsamt Duisburg-Rhein, (Hrsg.): Die Flutmulde Rees.

Wasser- und Schifffahrtsamt Duisburg-Rhein, (Hrsg.): Die Flutmulde Rees – Schutz von Natur und Lebensraum.

Wasser- und Schifffahrtsamt Duisburg-Rhein, (Hrsg.): Die Flutmulde Rees – Bautechnik.

Autor:

Reinhold Neisser

Internationale Geotextil GmbH
Vor der Lake 14
57392 Schmallenberg

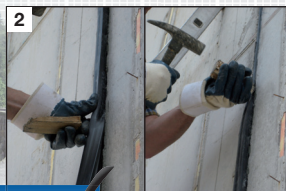
Tel.: +49 2972 96206 12

Fax: +49 2972 96206 19

E-Mail: r.neisser@igg.de

Abdichtungssysteme und Sanierungslösungen für Wasserbauwerke

Abdichtung von Dehnfugen



Einfacher Einbau
der Profile



Talsperre Klingenberg

PROOFMATE® EK

Kastenprofil auf Basis vom EPDM

- Für Fugenabdichtung von 17-100 mm Bewegungsfugen
- Dreidimensionale Bewegungsaufnahme möglich
- Druckwasserdicht bis 1 bar
- Gute chemische und mechanische Beständigkeit

FIX-O-FLEX

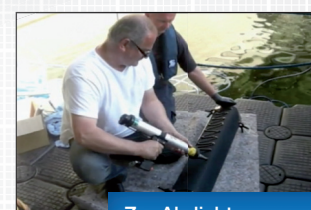
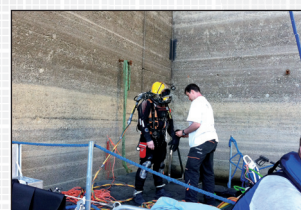
Kleb- und Dichtmasse



Sanierung von Dehnfugen



PROOFMATE® FD Folie
Abdichtungsfolie auf Basis von EPDM
(EPDM = Ethylen-Propylen-Dien-Monomer).
Stärke: 1,4 mm.



Zur Abdichtung von
Arbeits- und Dehnfugen
mit Bewegung

PROOFMATE® F Flächenkleber



Verklebungen auch auf
nassen Untergründen,
sogar unter Wasser

Okertalsperre, Harz



Produktion und Vertrieb:

TPH Bausysteme GmbH
Nordportbogen 8
22848 Norderstedt

Tel. +49 (0) 40/52 90 66 78-0
Fax +49 (0) 40/52 90 66 78-78

info@tph-bausysteme.com
www.tph-bausysteme.com

Förderverein

Im Internet unter <http://www.iwd.tu-dresden.de>

Zur Unterstützung der wasserbaulichen Forschung und Lehre wurde von Hochschullehrern und Mitarbeitern des Institutes am 24. Mai 1991 ein gemeinnütziger Förderverein, die **Gesellschaft der Förderer des Hubert-Engels-Institutes für Wasserbau und Technische Hydromechanik an der Technischen Universität Dresden e. V.**, gegründet. Der Verein unterstützt die Herausgabe der seit 1990 wieder erscheinenden Dresdner Wasserbaulichen Mitteilungen und nimmt aktiv an der Vorbereitung und Durchführung des alljährlich stattfindenden Dresdner Wasserbaukolloquiums sowie der begleitenden Fachausstellung teil. Darüber hinaus werden vom Förderverein u. a. Studentenexkursionen und Forschungsarbeiten finanziell unterstützt.

S A T Z U N G

der

**Gesellschaft der Förderer des Hubert-Engels-Institutes
für Wasserbau und Technische Hydromechanik
an der Technischen Universität Dresden e. V.**

§ 1 Name und Sitz

- (1) Der Verein führt den Namen „**Gesellschaft der Förderer des Hubert-Engels-Instituts für Wasserbau und Technische Hydromechanik der Technischen Universität Dresden e. V.**“
Er ist im Vereinsregister unter der Nummer VR 1335 registriert.
- (2) Der Sitz des Vereins ist Dresden.
- (3) Das Geschäftsjahr ist das Kalenderjahr.

§ 2 Zweck

- (1) Der Verein verfolgt ausschließlich und unmittelbar gemeinnützige Zwecke im Sinne des Abschnittes "Steuerbegünstigte Zwecke" der Abgabenordnung. Er dient der Förderung wissenschaftlicher Forschungsarbeiten auf gemeinnütziger Grundlage, der Information seiner Mitglieder und der Öffentlichkeit über die Forschungs- und Versuchsarbeiten des Instituts, der Förderung von Aus- und Weiterbildung sowie der Förderung des Umwelt- und Landschaftsschutzes.
- (2) Der Satzungszweck wird insbesondere verwirklicht durch:
 1. Durchführung wissenschaftlicher Veranstaltungen und Forschungsvorhaben zu Themen des umweltverträglichen Wasserbaus, der Renaturierung von Gewässern, der Verbesserung der Wasserversorgung und Abwasserbehandlung, des Verkehrswasserbaus (mit dem Ziel umweltfreundlicher Transportdurchführung auf Wasserstraßen), sowie des Hochwasser- und Küstenschutzes
 2. Werbung in den interessierten Fachkreisen für den Wasserbau und das hydraulische Versuchswesen
 3. Koordinierung der Arbeiten und Zusammenarbeit auf wasserbaulichem und hydraulischem Gebiet mit anderen Instituten
 4. Unterstützung von hydraulischen Modellversuchen
 5. Unterstützung der Durchführung von Kolloquien und Symposien in den Fachgebieten Wasserbau und Technische Hydromechanik
 6. Förderung der Publikation von wissenschaftlichen Arbeiten, Institutsberichten und Informationsmaterial
 7. Unterstützung von Reisen zu Fachvorträgen und zur Besichtigung von wasserbaulichen Objekten
 8. Durchführung von Informationsveranstaltungen an Schulen und Gymnasien
 9. Unterstützung von besonders förderungswürdigen in- und ausländischen Studierenden des Wasserbaus.
 10. Würdigung herausragender Leistungen von Absolventen und Studierenden in den Fachgebieten des Wasserbaus und der technischen Hydromechanik.

- (3) Der Verein ist selbstlos tätig und verfolgt nicht in erster Linie eigenwirtschaftliche Zwecke.

§ 3 Mitgliedschaft

- (1) **Ordentliche Mitglieder** können natürliche und juristische Personen werden, die den Zweck des Vereins nach §2 unterstützen.
- (2) **Jungmitglieder** können Studenten werden, die an einer Hochschuleinrichtung mit wasserbaulich-wasserwirtschaftlicher Ausbildung immatrikuliert sind.
- (3) **Korrespondierende Mitglieder** können vom Vorstand ernannt werden, wenn sie auf dem Gebiet des Wasser- und Grundbaus, der Wasserwirtschaft und der Hydrologie forschend tätig sind.
- (4) **Ehrenmitglieder** können von der Mitgliederversammlung ernannt werden, wenn sie sich besondere Verdienste bei der Förderung des Vereins erworben haben.

§ 4 Organe des Vereins

- (1) Die Organe des Vereins sind
 - a) die Mitgliederversammlung und
 - b) der Vorstand.
- (2) Die Mitglieder des Vorstands sind ehrenamtlich tätig.

§ 5 Mitgliederversammlung

- (1) Eine ordentliche Mitgliederversammlung findet einmal im Jahr (in der Regel in Verbindung mit dem Dresdner Wasserbaukolloquium) statt. Ihre Einberufung erfolgt unter Einhaltung einer Frist von vier Wochen in Textform durch den Geschäftsführer im Auftrag des Vorstandes unter Mitteilung des Termins, des Ortes und der Tagesordnung.
- (2) Zusätze zur Tagesordnung können innerhalb einer Frist von 14 Tagen beim Geschäftsführer beantragt werden.
- (3) In der Mitgliederversammlung werden geschäftliche Angelegenheiten in Verbindung mit Vorträgen oder Mitteilungen und deren Beratung behandelt und erledigt.
- (4) Die Mitgliederversammlung beinhaltet:
 1. den Bericht des Vorsitzenden über das Geschäftsjahr
 2. den Bericht der Rechnungsprüfer
 3. Genehmigung der Berichte und Entlastung des Vorstandes
 4. Beschlüsse über vorliegende Anträge und über Änderungen der Satzung

5. Wahl von zwei Rechnungsprüfern
 6. Verschiedenes
- (5) Der Vorstand kann jederzeit binnen 14 Tagen eine außerordentliche Mitgliederversammlung einberufen. Er ist dazu verpflichtet, wenn mindestens ein Zehntel der Mitglieder dies unter Angabe des Zwecks und der Gründe fordert.
 - (6) Der Vorsitz der Mitgliederversammlung wird vom Vorsitzenden oder vom stellvertretenden Vorsitzenden geführt.
 - (7) Die Mitgliederversammlung fasst ihre Beschlüsse mit einfacher Mehrheit. Sie ist bei satzungsgemäßer Einladung in jedem Falle beschlussfähig. Bei Stimmgleichheit entscheidet die Stimme des Vorsitzenden.
 - (8) Satzungsänderungen erfordern eine 3/4-Mehrheit.
 - (9) Anträge auf Änderung der Satzung, die nicht vom Vorstand ausgehen, können nur dann beraten werden, wenn sie mindestens vier Wochen vor der Mitgliederversammlung unter Angabe der Gründe beim Vorstand eingereicht worden sind.
 - (10) Jedes Mitglied hat nur eine Stimme. Stimmübertragungen sind durch schriftliche Vollmacht auf ordentliche Mitglieder nur bis zu zwei möglich.
 - (11) Der Verein kann sich zur Regelung der vereinsinternen Abläufe Vereinsordnungen geben. Die Vereinsordnungen sind nicht Bestandteil der Satzung. Für den Erlass, die Änderung und Aufhebung von Vereinsordnungen ist die Mitgliederversammlung zuständig.
 - (12) Die Beschlüssen der Mitgliederversammlung sind zu protokollieren. Das Protokoll ist vom Vorsitzenden und dem Protokollführer zu unterzeichnen.

§ 6 Vorstand

- (1) Der Vorstand wird von der ordentlichen Mitgliederversammlung für die Dauer von fünf Jahren gewählt und bleibt bis zum Ablauf der ordentlichen Mitgliederversammlung zur Neuwahl im Amt.
- (2) Der Vorstand besteht aus vier gewählten ordentlichen Mitgliedern
 - dem Vorsitzenden,
 - dem stellvertretenden Vorsitzenden,
 - dem Geschäftsführer und
 - dem Schatzmeister.Der Vorsitzende vertritt den Verein mit jeweils einem weiteren ordentlichen Mitglied des Vorstands gemeinsam.
- (3) Vom Vorstand kann ein Ehrenvorsitzender bestellt werden.
- (4) Die Mitgliederversammlung kann durch einfache Mehrheit beschließen, darüber hinaus noch bis zu zwei Mitglieder als Beisitzer zur Vertretung des Vereins in den Vorstand zu bestellen.

- (5) Der Vorstand kann einzelnen Personen Vollmachten für Zweige der Geschäftsführung erteilen.
- (6) Dem Vorstand obliegt die Vertretung des Vereins nach § 26 BGB. Er ist mit der Führung aller laufenden Geschäfte beauftragt und sorgt für die Durchführung der Beschlüsse der Mitgliederversammlung. Er kann selbständig Maßnahmen treffen, die dem Vereinszweck förderlich sind.

§ 7 Aufnahme oder Beendigung der Mitgliedschaft

- (1) Die Aufnahme als ordentliches Mitglied oder als Jungmitglied ist schriftlich beim Vorstand zu beantragen. Dieser entscheidet über die Aufnahme. Der Aufnahmebeschluss ist dem Antragsteller mitzuteilen. Bei Zurückweisung des Antrages kann der Antragsteller eine Entscheidung durch die Mitgliederversammlung beantragen, deren Zustimmung eine 2/3-Mehrheit voraussetzt.
- (2) Die Mitgliedschaft kann beendet werden
 - a) durch schriftliche Austrittserklärung eines Mitglieds gegenüber dem Vorstand mit einer Frist von drei Monaten zum Ende des laufenden Geschäftsjahres,
 - b) auf Beschluss des Vorstandes, wenn 3/4 der Mitgliederversammlung dem Ausschluss zustimmen,
 - c) bei Vereinigungen oder Gesellschaften mit deren Auflösung,
 - d) bei natürlichen Personen mit dem Tod oder
 - e) durch Streichung aus der Mitgliederliste, wenn trotz Erinnerung durch den Vorstand in drei Folgejahren kein Mitgliedsbeitrag entrichtet wurde und kein erkennbarer Hinderungsgrund vorliegt.

§ 8 Rechte und Pflichten der Mitglieder

- (1) Die Mitglieder des Vereins haben das aktive Wahlrecht, können Anträge an den Verein stellen und an den Veranstaltungen des Vereins teilnehmen. Das passive Wahlrecht haben nur Mitglieder, die natürliche Personen sind.
- (2) Juristische Personen müssen eine natürliche Person benennen, welche die Mitgliederrechte wahrnimmt. Ist eine derartige Person nicht benannt, so ruhen die Rechte der juristischen Person als Mitglied des Vereins.
- (3) Die Mitglieder des Vereins haben das Recht auf Information über die vom Institut durchgeführten und laufenden Arbeiten sowie zur Besichtigung des Instituts und seiner Versuchseinrichtungen soweit das betrieblich möglich ist und die Interessen der Auftraggeber nicht beeinträchtigt werden.
- (4) Die Mitglieder haben Anspruch auf Überlassung von geförderten veröffentlichten Materialien.

-
- (5) Die Mitglieder sind verpflichtet, den Verein entsprechend der Satzung bei der Erfüllung seiner Aufgaben nach besten Kräften zu unterstützen.
 - (6) Die Mitglieder sind zur Zahlung eines jährlichen Beitrags verpflichtet. Die Höhe des jährlichen Beitrags, die Fälligkeit, die Art und Weise der Zahlung und zusätzliche Gebühren bei Zahlungsverzug oder Verwendung eines anderen als des beschlossenen Zahlungsverfahrens regelt eine Beitragsordnung, die von der Mitgliederversammlung beschlossen wird.
 - (7) Ehrenmitglieder und korrespondierende Mitglieder sind beitragsfrei.

§ 9 Auflösung des Vereins

- (1) Der Verein kann nur auf Beschluss von 2/3 der anwesenden stimmberechtigten Mitglieder einer ordentlichen Mitgliederversammlung aufgelöst werden. Sind in dieser Mitgliederversammlung weniger als 1/3 der stimmberechtigten Mitglieder erschienen, so muss eine neue Mitgliederversammlung einberufen werden, die dann entscheidet.
- (2) Im Falle der Auflösung oder Aufhebung des Vereins oder bei Wegfall seiner steuerbegünstigten Zwecke fällt sein Vermögen an das Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik der Technischen Universität Dresden, das es unmittelbar und ausschließlich für die Förderung von wissenschaftlichen Forschungsarbeiten zu verwenden hat.
- (3) Die vorstehenden Bestimmungen gelten entsprechend, wenn dem Verein die Rechtsfähigkeit entzogen wird.

§ 10 Gemeinnützigkeit

- (1) Mittel des Vereins dürfen nur für die satzungsgemäßen Zwecke verwendet werden. Die Mitglieder erhalten keine Zuwendungen aus Mitteln der Körperschaft.
- (2) Die Mitglieder des Vorstandes erhalten keine Vergütung für ihre Tätigkeit. Auslagen im Interesse des Vereins werden auf Antrag ersetzt, wenn sie der Vorstand vorher genehmigt hat und der Verein dazu in der Lage ist.
- (3) Der Verein darf keine Personen durch Ausgaben, die dem Zweck des Vereins fremd sind, oder durch unverhältnismäßig hohe Vergütungen begünstigen.

Die Satzung wurde in der Gründungsversammlung am 24. Mai 1991 in Dresden angenommen und am 18. März 2004 sowie am 6. März 2015 geändert.

Bisher erschienene Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

- | | | |
|-------------------------------|------|---|
| Heft 1
(vergriffen) | 1989 | Klaus Römisch
Empfehlung zur Bemessung von Hafeneinfahrten
Eberhard Lattermann
Bemessungsgrundlagen für Dichtungen und Deckwerke im Wasserbau |
| Heft 2
(vergriffen) | 1990 | Frank Krüger
Schubspannungsverteilungen in offenen, geradlinigen Trapez- und Rechteckgerinnen
Helmut Martin, Reinhard Pohl
Überflutungssicherheit von Talsperren |
| Heft 3
(vergriffen) | 1990 | Reinhard Pohl
Die Entwicklung der wasserbaulichen Lehre und Forschung an der Technischen Universität Dresden
Reinhard Pohl
Die Berechnung der auf- und überlaufvermindernden Wirkungen von Wellenumlenkern im Staudambau |
| Heft 4
(vergriffen) | 1991 | Ellen Haufe
Hydromechanische Untersuchungen von Mischungs-, Flockungs- und Sedimentationsprozessen in der Trinkwasseraufbereitung |
| Heft 5 | 1994 | Wasserbaukolloquium 1993
Die Elbe – Wasserstraße und Auen |
| Heft 6
(vergriffen) | 1995 | Wasserbaukolloquium 1994
Wasserkraft und Umwelt
ISBN 3-86005-154-7 |
| Heft 7 | 1995 | Wasserbaukolloquium 1995
Hydromechanische Beiträge zum Betrieb von Kanalnetzen
ISBN 3-86005-155-5 |
| Heft 8 | 1996 | Detlef Aigner
Hydrodynamik in Anlagen zur Wasserbehandlung
ISBN 3-86005-164-4 |
| Heft 9
(vergriffen) | 1996 | Wasserbaukolloquium 1996
Wellen: Prognosen - Wirkungen – Befestigungen
ISBN 3-86005-165-2 |

- Heft 10** 1997 **Wasserbaukolloquium 1997**
Sanierung und Modernisierung von Wasserbauwerken, aktuelle
Beispiele aus Deutschland, Polen, der Slowakei und Tschechien
ISBN 3-86005-185-7
- Heft 11** 1997 **Reinhard Pohl**
(vergriffen) Überflutungssicherheit von Talsperren
ISBN 3-86005-186-5
- Heft 12** 1998 **Reinhard Pohl**
Die Geschichte des Institutes für Wasserbau an der Technischen
Universität Dresden
ISBN 3-86005-187-3
- Heft 13** 1998 **Wasserbaukolloquium 1998**
Hydraulische und numerische Modelle im Wasserbau,
Entwicklung – Perspektiven
ISBN 3-86005-201-2
- Heft 14** 1998 **Uwe Müller**
Deformationsverhalten und Belastungsgrenzen des Asphaltbetons
unter den Bedingungen von Staudammkerndichtungen
ISBN 3-86005-213-6
- Heft 15** 1999 **Wasserbaukolloquium 1999**
Betrieb, Instandsetzung und Modernisierung von Wasserbauwerken
ISBN 3-86005-223-3
- Heft 16** 1999 **Dirk Carstensen**
Beanspruchungsgrößen in Fließgewässern mit geschwungener
Linienführung
ISBN 3-86005-236-5
- Heft 17** 1999 **Ehrenkolloquium Prof. Martin**
(vergriffen) anlässlich des 60. Geburtstages von Herrn Univ. Prof. Dr.-Ing.
habil. Helmut Martin
ISBN 3-86005-237-3
- Heft 18** 2000 **Wasserbaukolloquium 2000**
Belastung, Stabilisierung und Befestigung von Sohlen und
Böschungen wasserbaulicher Anlagen
ISBN 3-86005-243-8
- Heft 19** 2001 **Seleshi B. Awulachew**
Investigation of Water Resources Aimed at Multi-Objective
Development with Respect to Limited Data Situation: The Case of
Abaya-Chamo Basin, Ethiopia
ISBN 3-86005-277-2

- Heft 20** 2001 **Stefan Dornack**
Überströmbare Dämme Beitrag zur Bemessung von Deckwerken
aus Bruchsteinen
ISBN 3-86005-283-7
- Heft 21** 2002 **Wasserbaukolloquium 2002**
Innovationen in der Abwasserableitung und Abwassersteuerung
ISBN 3-86005-297-7
- Heft 22** 2002 **Zelalem Hailu G. Chirstos**
Optimisation of Small Hydropower Sites for Rural Electrification
ISBN 3-86005-304-3
- Heft 23** 2002 **Ehrenkolloquium Prof. Wagner**
Zur Emeritierung von Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Harold Wagner
ISBN 3-86005-307-8
- Heft 24** 2003 **Wasserbaukolloquium 2003**
Gewässer in der Stadt.
ISBN 3-86005-358-2
- Heft 25** 2003 **Toufik Tetah**
Numerische Simulation des dynamischen Verhaltens von Caisson-
Wellenbrecher-Gründungen unter Einwirkung brechender Wellen
ISBN 3-86005-363-9
- Heft 26** 2003 **Ehrenkolloquium Prof. Horlacher**
Zum 60. Geburtstag von Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Hans-B. Horlacher
ISBN 3-86005-376-0
- Heft 27** 2004 **Wasserbaukolloquium 2004**
(vergriffen) Risiken bei der Bemessung und Bewirtschaftung von
Fließgewässern und Stauanlagen (Risks in Design and Management
of Rivers and Reservoirs).
ISBN 3-86005-414-7
- Heft 28** 2004 **Reinhard Pohl**
Historische Hochwasser aus dem Erzgebirge
ISBN 3-86005-428-7
- Heft 29** 2005 **Wasserbaukolloquium 2005**
(vergriffen) Stauanlagen am Beginn des 21. Jahrhunderts
(Dams at the Beginning of the 21st Century)
ISBN 3-86005-461-9

- Heft 30** 2005 **Nigussie Teklie Girma**
Investigation on Sediment Transport Characteristics and Impacts of Human Activities on Morphological Processes of Ethiopian Rivers: Case Study of Kulfo River, Southern Ethiopia
ISBN 3-86005-483-X
- Heft 31** 2006 **Matthias Standfuß**
Druckwellenausbreitung in erdverlegten Rohrleitungen aus PE-HD
ISBN 3-86005-495 - 3
- Heft 32** 2006 **Wasserbaukolloquium 2006**
Strömungssimulation im Wasserbau
(Flow Simulation in Hydraulic Engineering)
ISBN 3-86005-473-2
- Heft 33** 2006 **Antje Bornschein**
Die Ausbreitung von Schwallwellen auf trockener Sohle unter besonderer Berücksichtigung der Wellenfront
ISBN 3-86005-523-2
- Heft 34** 2007 **Torsten Frank**
Hochwassersicherheit in sielbeeinflussten Gewässersystemen am Beispiel des Bongsieler Kanals
ISBN 978-3-86780-019-8
- Heft 35** 2007 **Wasserbaukolloquium 2007**
Fünf Jahre nach der Flut
(Five Years after the Flood)
ISBN 987-3-86005-571-7
- Heft 36** 2008 **Aktuelle Forschungen 1993 – 2008**
Zum 65. Geburtstag von Herrn Prof. Horlacher
ISBN 978-3-86780-083-9
- Heft 37** 2009 **Dirk Carstensen**
Eis im Wasserbau – Theorie, Erscheinungen, Bemessungsgrößen
ISBN 978-3-86780-099-0
- Heft 38** 2009 **Reinhard Pohl, Antje Bornschein,
Robert Dittmann, Stefano Gilli**
Mehrzieloptimierung der Steuerung von Talsperren zur Minimierung von Hochwasserschäden im Unterwasser
ISBN 978-3-86780-100-3

- Heft 39** 2009 **Wasserbaukolloquium 2009**
Wasserkraftnutzung im Zeichen des Klimawandels,
angepasste Strategien – neue Technologien
(Waterpower and Climate Change)
ISBN 978-3-86780-101-0
- Heft 40** 2010 **Wasserbaukolloquium 2010**
Wasserbau und Umwelt – Anforderungen, Methoden, Lösungen
(Hydraulic engineering and environment –
requirements, techniques, solutions)
ISBN 978-3-86780-101-0
- Heft 41** 2010 **Ralf Tackmann**
Erosion 2008 – Ein numerisches Modell zur Prognose des
Bodenaustrages von kohäsiven Böden unter Berücksichtigung der
Rillenerosion
ISBN 978-3-86780-158-4
- Heft 42** 2010 **Ulf Helbig**
Tragverhalten und Berechnung von mehrschichtigen
Verbundrohren
ISBN 978-3-86780-159-1
- Heft 43** 2010 **Stefano Gilli**
Die Wirkung von Flussaufweitungen auf Hochwasserwellen –
Parameterstudie einer Deichrückverlegung im Flussmittellauf
ISBN 978-3-86780-160-7
- Heft 44** 2010 **Negede Abate Kassa**
Probabilistic Safety Analysis of Dam – Methods and Applications
ISBN 978-3-86780-161-4
- Heft 45** 2011 **Wasserbaukolloquium 2011**
Wasserkraft
Mehr Wirkungsgrad + Mehr Ökologie = Mehr Zukunft
(Waterpower
More efficiency + more ecology = more future)
ISBN 978-3-86780-198-0
- Heft 46** 2011 **Torsten Heyer**
Zuverlässigkeitsbewertung von Flussdeichen nach dem
Verfahren der logistischen Regression
ISBN 978-3-86780-197-3
- Heft 47** 2011 **Wasserbaukolloquium 2012**
Staubauwerke - Planen, Bauen, Betreiben
(Barrage Structures - Plan, Build, Operate)
ISBN 978-3-86780-261-1

- Heft 48** 2013 **Wasserbaukolloquium 2013**
Technischer und organisatorischer Hochwasserschutz
–Bauwerke, Anforderungen, Modelle
(Technical and Organizational Flood Protection
–Structures, Requirements, Models)
ISBN 978-3-86780-318-2
- Heft 49** 2013 **Vinzent Sturm**
Simulation der Fluid-Struktur-Interaktion mit freier
Oberfläche am Beispiel des Schlauchwehres unter
Anwendung von Ansys/CFX
ISBN 978-3-86780-348-9
- Heft 50** 2014 **Wasserbaukolloquium 2014**
Simulationsverfahren und Modelle für Wasserbau und
Wasserwirtschaft
ISBN 978-3-86780-349-6
- Heft 51** 2014 **Holger Haufe**
Zwischenauslässe an Talsperren - Beispiele, Bemessung,
Konstruktion, Nachrüstung
ISBN 978-3-86780-393-9
- Heft 52** 2014 **Pohl/Bornschein u.a.**
Effect of very oblique waves on wave run-up and wave
overtopping
ISBN 978-3-86780-392-2
- Heft 53** 2015 **Wasserbaukolloquium 2015**
Messen und Überwachen im Wasserbau und am Gewässer
ISBN 978-3-86780-420-2
- Heft 54** 2015 **Mohammed Abdallah**
Developing a Multi-purpose Reservoir operating Model
with Uncertain Conditions: a Case of Eastern Nile
Reservoirs – Sudan
ISBN 978-3-86780-431-8
- Heft 55** 2015 **Paolo Dapoz**
Reinigung von Abwasserkanälen mittels
Niederdruckspülverfahren
ISBN 978-3-86780-432-5
- Heft 56** 2015 **JuWi-Treffen**
17. JuWi-Treffen: Fachbeiträge zur Tagung vom
26.-28. August 2015
ISBN 978-3-86780-448-6

Heft 57 2016 **Wasserbaukolloquium 2016**
Gewässerentwicklung & Hochwasserrisikomanagement
ISBN 978-3-86780-475-2

Die **Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen** können bezogen werden über:

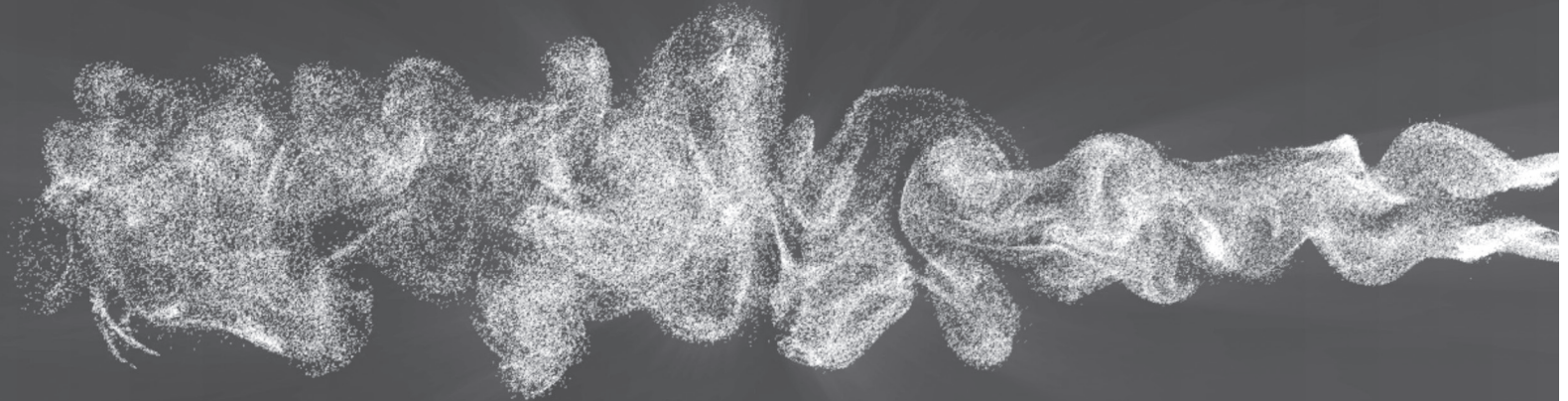
Technische Universität Dresden
Fakultät Bauingenieurwesen
Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik
01062 Dresden

Telefon: +49 351 463 33837
Fax: +49 351 463 37141
E-Mail: Katrin.Junikajtes@tu-dresden.de

Signature 1000/500

AN IDEAL PLATFORM FOR TURBULENCE STUDIES

The Signature1000 and Signature500 systems are designed for unprecedented performance in high energy turbulent environments, while also fulfilling standard current profiling needs.



- Concurrent measurement mode operation
- 5-beam configuration
- Average current profiling
- Vertical beam current profiling
- High-resolution altimeter data
- Ethernet interface
- LED power & transmit confirmation



CURRENT AND WAVE MEASUREMENTS IN THE OCEAN, LAKE AND LABORATORY



Nortek AS
Vangkroken 2
1351 Rud, Norway
Tel: +47 6717 4500
E-mail: inquiry@nortek.no



www.nortek.no
True innovation makes a difference