

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Proceedings, Published Version

**Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.)**

**Forschung und Entwicklung Binnenverkehrswasserbau**

Kolloquium am 2. und 3. März 2010 in Karlsruhe

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102078>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2010): Forschung und Entwicklung Binnenverkehrswasserbau. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau.

**Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.

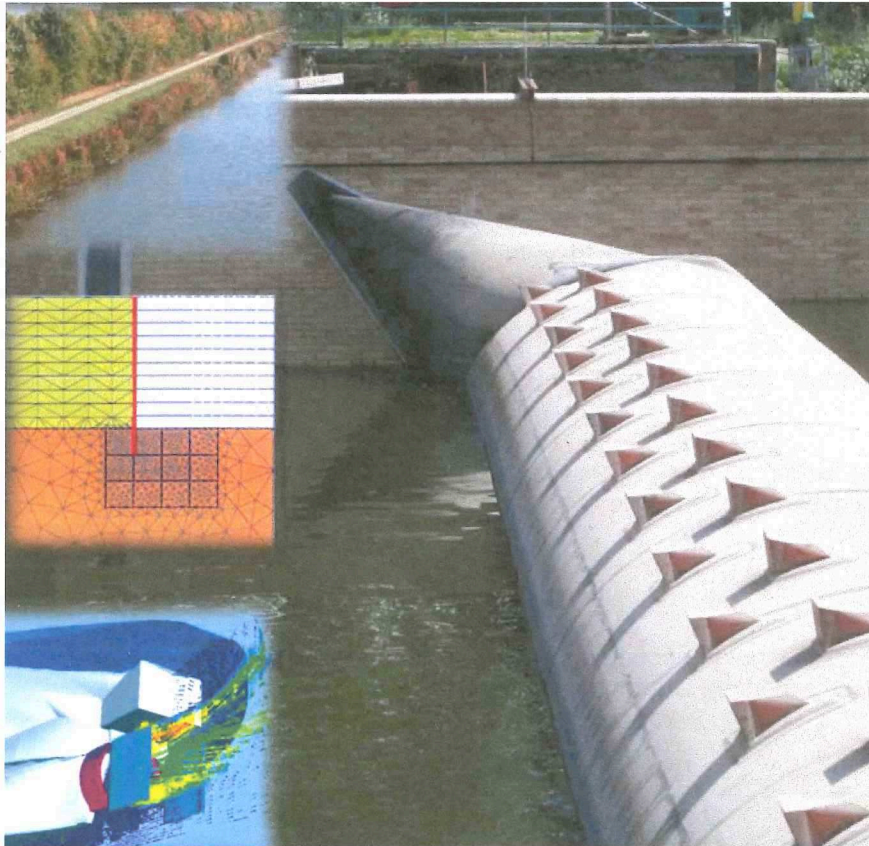




**BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU**  
Karlsruhe · Hamburg · Ilmenau



# Tagungsband

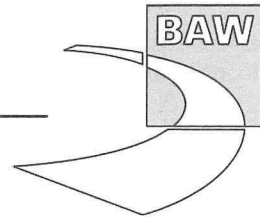


BAW-Kolloquium

**Forschung und Entwicklung  
im Binnenverkehrswasserbau**

2. und 3. März 2010 in Karlsruhe





## **PROGRAMM**

**Dienstag, 2. März 2010**

**13:00 – 13:30 Uhr Begrüßung und Einführung**

*Prof. Dr. Ch. Heinzlmann, BAW Karlsruhe*

**13:30 – 14:00 Uhr FuE-Programm der BAW**

*C. Kunz, BAW Karlsruhe*

Das neue FuE-Programm der BAW greift Forschungsinitiativen der Bundesregierung auf und unter-  
setzt diese für den Verkehrswasserbau. Mit neuen Themen sollen die Forschungsaktivitäten der BAW  
gezielt ausgebaut werden. Kooperationen mit anderen Forschungseinrichtungen kommt dabei eine  
besondere Bedeutung zu.

**14:00 – 14:30 Uhr Verkehrswasserbauliche Forschung aus der Sicht des BMVBS**

*MinDir. R. Klinge, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung*

Exzellente Forschungs- und Entwicklungsleistungen sind eine wesentliche Voraussetzung, damit die  
BAW angesichts der komplexen fachlichen Aufgaben an den Wasserstraßen und des raschen wis-  
senschaftlichen Erkenntnisfortschritts auch in Zukunft zuverlässig und vorausschauend die verkehrsw-  
asserbaulichen Aufgaben des BMVBS und der WSV unterstützen kann.

**14:30 – 15:00 Uhr Kaffeepause**

**15:00 – 15:30 Uhr Dreidimensionale Strömungsmodelle zur Simulation von Schleusungspro-  
zessen**

*Dr. C. Thorenz, BAW Karlsruhe*

Die komplexen Vorgänge während eines Schleusungsprozesses lassen sich nur schwer in geschlos-  
senen dreidimensionalen Modellen abbilden. Möglichkeiten und Grenzen der numerischen Modellie-  
rung werden aufgezeigt.

**15:30 – 16:00 Uhr In-situ-Messungen an Roll- und Gleitschützen**

*U. Gabrys, BAW Karlsruhe*

In den letzten 50 Jahren wurden Rollschütze häufig als Füll- und Entleerungsschütze an Schleusen  
eingesetzt. Diese haben sich aber im rauen Alltags-Betrieb als nicht robust genug herausgestellt. Da-  
her bestehen die Bestrebungen, Rollschütze durch Gleitschütze zu ersetzen.

**16:00 – 16:30 Uhr Kaffeepause**

**16:30 – 17:00 Uhr Modellversuche zum Einsatz von Gleitpaarungen im  
Stahlwasserbau**

*H.-P. Feldner, Universität Kaiserslautern / U. Gabrys, BAW Karlsruhe*

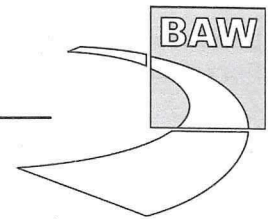
Stahlwasserbauten sind überwiegend aus Baustahl hergestellt, jedoch kommen auch nichtrostende  
Stähle zum Einsatz. Durch den kombinierten Einsatz von nichtrostendem Stahl und Baustahl kam es  
zu Schäden infolge Bimetall- und elektrolytischer Korrosion. Daher sollen die nichtrostenden Stähle  
durch andere Materialien, wie z.B. Kunststoffe, ersetzt werden.

**17:00 – 17:30 Uhr Klassifizierung stahlwasserbaulicher Kerbdetails**

*W. Meinhold, BAW Karlsruhe / Dr. S. Herion, Universität Karlsruhe*

Zwei stahlwasserbautypische Konstruktionsformen, die bisher nicht Bestandteil des einschlägigen  
Regelwerks sind bzw. nicht eindeutig zugeordnet werden können, wurden numerisch (FEM) und experi-  
mentell (Dauerschwingtests) untersucht. Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass eine gegenüber  
dem verfügbaren Regelwerk günstigere Kerbklassenzuordnung möglich ist.

**18:00 – 21:30 Uhr Geselliges Beisammensein mit Abendessen**



**Mittwoch, 3. März 2010**

**08:30 – 09:00 Uhr Bemessung und Konstruktion von Schlauchwehren**

*Dr. M. Gebhardt, M. Maisner, U. Gabrys, BAW Karlsruhe*

Die ersten Schlauchwehrranlagen haben Pilotcharakter für die WSV. Ziele des Forschungsvorhabens sind die Weiterentwicklung der Technologie, wie z.B. die Optimierung des Füll- und Entleersystems oder die Optimierung von Maßnahmen gegen Schwingungen sowie die Fortschreibung der Werkstoffanforderungen und die Bestimmung eines Stress Concentration Factor für die Membran mit Hilfe von FE-Berechnungen.

**09:00 – 09:30 Uhr Fahrdynamische Modellverfahren**

*T. Dettmann, Prof. Dr. B. Söhngen, BAW Karlsruhe*

Entwicklung und Betrieb fahrdynamischer Modellverfahren sind Kernaufgaben der BAW. Verfahren werden vorgestellt, die sowohl der Ermittlung des Verkehrsflächenbedarfs als auch der schiffsinduzierten Belastung auf die Wasserstraße dienen. Die Weiterentwicklung der Verfahren sowie der künftige Einsatz des Binnenschiffsführungssimulators werden aufgezeigt

**09:30 – 10:00 Uhr Kaffeepause**

**10:00 – 10:30 Uhr Alternative Ufersicherungen**

*P. Fleischer, Dr. R. Soyeaux, BAW Karlsruhe*

In dem Forschungsvorhaben "Alternative Ufersicherungen" wird untersucht, inwieweit Ufer mit Hilfe technisch-biologischer Maßnahmen gesichert werden können. Ziel der Untersuchung ist die Erstellung von Bemessungsgrundlagen für den Entwurf alternativer Ufersicherungen. Vorgestellt werden insbesondere die Ergebnisse der Untersuchungen an den ersten Probestrecken.

**10:30 – 11:00 Uhr Bruch- und Verformungsverhalten von rutschgefährdeten Böschungen unter Berücksichtigung des Dreiphasensystems**

*R. Schulze, BAW Karlsruhe*

Die Standsicherheit von Böschungen in überkonsolidiertem Ton ist für die WSV von besonderem Interesse. Die zeitlich veränderliche Porenwasserdruckverteilung ist in Abhängigkeit von Böschungsbebewegungen und Luftdruck-Änderungen entscheidend. Ein daraus entwickeltes Sanierungskonzept mit Druckentlastungsbohrungen erhöht die Standsicherheit von Böschungen nachweislich.

**11:00 – 11:30 Uhr Kaffeepause**

**11:30 – 12:00 Uhr Hydraulischer Grundbruch in bindigen Böden**

*Dr. R.-B. Wudtke, Prof. Dr. K. J. Witt, Universität Weimar*

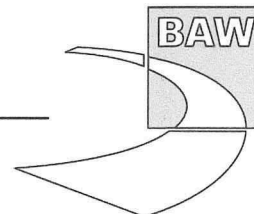
Bei der Unterströmung von Bauwerken ist der hydraulische Grundbruch oft der maßgebende Versagensmechanismus, wobei für bindige Böden bisher kein geeigneter Berechnungsansatz existiert. Basierend auf theoretischen Studien und Modellversuchen wurden die Schadensmechanismen untersucht und Nachweisstrategien erarbeitet.

**12:00 – 12:30 Uhr Morphodynamik der Binnenwasserstraßen – von der Forschung zur Anwendung**

*Dr. T. Brudy-Zippelius, Dr. T. Lege, Dr. R. Weichert, BAW Karlsruhe*

Die Arbeiten der BAW zur physikalischen und numerischen Modellierung morphodynamischer Prozesse schaffen eine Schnittstelle zwischen der Grundlagenforschung und der WSV-Praxis. Neben Forschungsergebnissen, die derzeit bereits in der Beratungspraxis Anwendung finden, werden laufende und geplante Forschungsprojekte vorgestellt, die die Belastbarkeit der Prognosen morphodynamischer Modelluntersuchungen künftig verbessern.

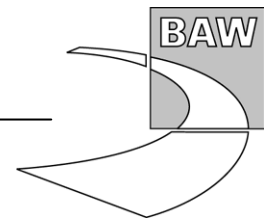
**12:30 – 12:45 Uhr Schlusswort**



## REFERENTENVERZEICHNIS

Dr. T. Brudy-Zippelius	Bundesanstalt für Wasserbau, Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe
T. Dettmann	Bundesanstalt für Wasserbau, Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe
H.-P. Feldner	Institut für Verbundwerkstoffe GmbH, Erwin-Schrödinger-Straße, 67663 Kaiserslautern
P. Fleischer	Bundesanstalt für Wasserbau, Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe
U. Gabrys	Bundesanstalt für Wasserbau, Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe
Dr. M. Gebhardt	Bundesanstalt für Wasserbau, Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe
MinDir. R. Klingen	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Robert-Schuman-Platz 1, 53175 Bonn
C. Kunz	Bundesanstalt für Wasserbau, Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe
Dr. T. Lege	Bundesanstalt für Wasserbau, Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe
M. Maisner	Bundesanstalt für Wasserbau, Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe
W. Meinhold	Bundesanstalt für Wasserbau, Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe
R. Schulze	Bundesanstalt für Wasserbau, Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe
M. Spannaus	KIT VA für Stahl, Holz und Steine, Universität Karlsruhe, Kaiserstraße 12, 76128 Karlsruhe
Prof. Dr. B. Söhngen	Bundesanstalt für Wasserbau, Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe
Dr. R. Soyeaux	Bundesanstalt für Wasserbau, Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe
Dr. C. Thorenz	Bundesanstalt für Wasserbau, Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe
Dr. R. Weichert	Bundesanstalt für Wasserbau, Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe
Prof. Dr. K. J. Witt	Bauhaus Universität Weimar, Coudraystraße 11 C, 99421 Weimar
Dr. R.-B. Wudtke	Bauhaus Universität Weimar, Coudraystraße 11 C, 99421 Weimar





C. Kunz, Forschungskordinator der BAW, BAW Karlsruhe

### **FuE-Programm der BAW**

Die BAW wurde als Ressort-Forschungseinrichtung durch den Wissenschaftsrat evaluiert. Eine der Empfehlungen des Wissenschaftsrates zielte auf die Erstellung eines strategischen Forschungsprogramms ab, das in 2009 unter Beteiligung der wissenschaftlichen Belegschaft der BAW erstellt wurde. Das neue FuE-Programm der BAW greift Forschungsinitiativen der Bundesregierung auf, die im 3. Verkehrsforschungsprogramms der Bundesregierung „Mobilität und Verkehrstechnologien“ aus dem Jahr 2008 formuliert waren:

- die Verbesserung von Leistungsfähigkeit, Effizienz, Sicherheit und Nutzerfreundlichkeit der Wasserstraßen sowie
- die nachhaltige Gestaltung der Mobilität, d. h. dass neben der wirtschaftlichen Entwicklung soziale Anforderungen mit der langfristigen Erhaltung der natürlichen Lebensgrundlagen in Einklang zu bringen sind.

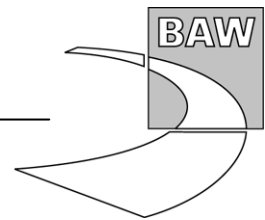
Die Ziele des BAW-Forschungsprogramms sind:

- Aufzeigen der aktuellen und zukünftig zu erwartenden Fragestellungen im Sinne einer vorausschauenden Forschung (Vorlaufforschung),
- Entwicklung einer Forschungsstrategie sowie eines mittel- bis langfristigen Forschungsprogramms mit Schwerpunkten und Querschnittsthemen,
- Darstellung der fachlichen Grundlagen, um die Forschungs- und Entwicklungsleistungen der BAW gezielt weiterzuentwickeln und auszubauen,
- Verdoppelung des derzeitigen Forschungsanteils der BAW gemäß der Forderung des Wissenschaftsrats, um auch in Zukunft zuverlässig und vorausschauend die Aufgaben des BMVBS und der WSV an den Wasserstraßen unterstützen zu können.

Das Forschungskonzept Verkehrswasserbau gliedert sich in die Abschnitte „Innovative Technologien“, „Mobilität“, „Sicherheit und Schutz“, und „Nachhaltigkeit“, welches Forschungsbereiche darstellen. Unter diesen Forschungsbereichen sind Forschungs-Themen formuliert, deren Bearbeitung mehrere Forschungsvorhaben enthalten können. Für die Bearbeitung der Themen im BAW-Forschungsprogramm wird zunächst ein Zeitraum von zehn Jahren angesetzt, sofern eine Verstärkung der Ressourcen erfolgt. Das Forschungsprogramm soll in periodischen Abständen überprüft und fort geschrieben werden.

Die Umsetzung des BAW-Forschungsprogramms wird durch eine thematische Priorisierung sowie durch qualitätssichernde Maßnahmen begleitet werden. Da sind zum einen die Überprüfung gewonnener Ergebnisse bei Maßnahmen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung, Kooperationen bei der Durchführung von Forschungs-Vorhaben, die Veröffentlichung von Ergebnissen in Kolloquien und anderen technisch-wissenschaftlichen Veranstaltungen, die Bereitstellung von Wissen durch die Verkehrswasserbauliche Zentralbibliothek (VZB) der BAW sowie die Ausbildung wissenschaftlichen Nachwuchses, auch in Kooperation mit Universitäten. Zum anderen werden interne Qualitätssicherungs-Maßnahmen wie eine For-



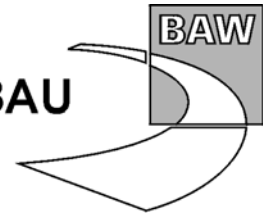


schungs-Koordination, eine Richtlinie zur Durchführung von Forschungs-Vorhaben sowie ein wissenschaftlicher Beirat weiter ausgebaut bzw. geschaffen.

Das Forschungsprogramm richtet sich an das BMVBS sowie an die WSV, die die genannten Themen und die Ressourcen-Ausstattung jeweils aufgreifen sollen. Adressat ist außerdem die BAW selbst, um die Inhalte auszugestalten, zu bearbeiten und fortzuschreiben. Schließlich wendet sich das Forschungskonzept auch an die Fachöffentlichkeit, will zu unterstützender Bearbeitung motivieren und die Zielrichtung entsprechender neuer Themen vorgeben.



**BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU**  
Karlsruhe · Hamburg · Ilmenau



**Forschungsprogramm Verkehrswasserbau  
der Bundesanstalt für Wasserbau**

*Stand: 09. November 2009*



<b>Inhaltsverzeichnis</b>		<b>Seite</b>
0	Vorbemerkung	2
1	Veranlassung und Ziele	3
2	Positionierung der BAW als Ressortforschungseinrichtung	5
3	Forschungsthemen	8
3.1	Innovative Technologien	8
3.1.1	Wirtschaftlichkeit der Bauwerke	8
3.1.2	Informationssysteme	9
3.2	Mobilität	11
3.2.1	Schiffssteuerung und Verkehrslenkung	11
3.2.2	Hydraulische Optimierung von Wasserbauwerken	13
3.2.3	Klimawandel	13
3.3	Sicherheit und Schutz	16
3.4	Nachhaltigkeit	18
3.4.1	Erhaltung von Bauwerken	18
3.4.2	Strombau der Zukunft	20
3.4.3	Umweltbezogene Fragestellungen	20
4	Umsetzungsstrategie	23
4.1	Zeitplan und Ressourcenbedarf	23
4.2	Priorisierung	25
4.3	Qualitätssicherung	25
4.4	Wissensmanagement und Wissenstransfer	26



## 0 Vorbemerkung

Das Forschungsprogramm „Verkehrswasserbau“ ist ein Bestandteil der Forschungsinitiative „Verkehrswasserwege“ des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, das im Weiteren die Teile „Wasserstraßen und Umwelt“ der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) und „Seeschifffahrt“ des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) sowie weitere behördenübergreifende Forschungsprogramme beinhaltet. Die Forschungsinitiative „Verkehrswasserwege“ erbringt Beiträge in den folgenden Hauptzielfeldern des Gesamtforschungsprogramms des BMVBS:

- Infrastruktur,
- Safety, Security,
- Umwelt,
- Energie, Klima, innovative Technologien,
- Nachhaltigkeit/integrierte Gesamtkonzepte,
- Europäische und internationale Zusammenarbeit.

Weiterhin orientieren sich die Forschungsprogramme an den Zielen des 3. Verkehrsforschungsprogramms der Bundesregierung „Mobilität und Verkehrstechnologien“ aus dem Jahr 2008:

- die Verbesserung von Leistungsfähigkeit, Effizienz, Sicherheit und Nutzerfreundlichkeit der Wasserstraßen sowie
- die nachhaltige Gestaltung der Mobilität, d. h. dass neben der wirtschaftlichen Entwicklung soziale Anforderungen mit der langfristigen Erhaltung der natürlichen Lebensgrundlagen in Einklang zu bringen sind.

Innerhalb der Forschungsinitiative „Verkehrswasserwege“ stimmen sich BAW, BfG und BSH zur optimalen Lösung ihrer Forschungsaufgaben eng ab. Sie gewährleisten die Entwicklung wissenschaftlicher Anschlusslösungen, auf die der Partner in seiner Arbeit aufbauen kann. Zugleich stellen sie sicher, dass an den Schnittstellen vergleichbare Methoden und Forschungsansätze verwendet werden.



## 1 Veranlassung und Ziele

Mehr Dynamik bei Innovationen und bei der Umsetzung neuer Konzepte und Technologien ist gefordert: Unser wirtschaftliches Leistungsvermögen ist genauso wie die Standortattraktivität für Gewerbe und Handel unmittelbar mit der Qualität unserer Verkehrsinfrastruktur gekoppelt. Der zunehmend globalisierte Handel und die Ausweitung der Europäischen Union nach Osten - das sind aktuelle Herausforderungen, die insbesondere Deutschland als Exportweltmeister und zugleich als Transitland vor große logistische Herausforderungen stellen. Lösungen sind nur im Rahmen eines integrierten Verkehrskonzeptes zu finden.

### **Wasserstraßen können Handelswege verstärkt entlasten**

Der künftige Warenaustausch innerhalb der erweiterten EU und der globale Handel lassen den Güterverkehr massiv ansteigen. Dabei ist Deutschland durch den Durchgangsverkehr überproportional betroffen. Wasserstraßen können hier Abhilfe schaffen: Die Stärkung des Verkehrssystems Schiff/Wasserstraße/Hafen trägt dazu bei, den Gütertransport durch die Schifffahrt auszubauen und damit den Straßen- und Schienenverkehr zu entlasten.

Wie leistungsfähig Wasserstraßen sind, zeigen diese Zahlen und Fakten: Die Transportleistung (beförderte Tonnen multipliziert mit der Transportentfernung) der Binnenschifffahrt beträgt ca. 65 Milliarden Tonnenkilometer pro Jahr und damit ca. 11,5 % der gesamten Güterverkehrsleistung in Deutschland. Das Bundeswasserstraßennetz umfasst ca. 7.300 km Binnenwasserstraßen und 23.000 km<sup>2</sup> Seewasserstraßen. Dieses Netz ist ein wesentlicher Bestandteil des „nassen“ Transeuropäischen Verkehrsnetzes (TEN) und dementsprechend leistungsfähig zu erhalten und zu gestalten.

### **Gütertransporte und Umschlagsaufkommen weiter im Aufwind**

Über den Seeweg werden etwa Zweidrittel aller Welthandelsgüter transportiert. Globalisierung und wirtschaftliche Verflechtung lassen das Transportaufkommen stetig steigen. Unabhängig von der gegenwärtigen Situation auf den Weltmärkten zeigt die Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen einen Anstieg der Güterverkehrsleistung aller Verkehrsträger im Binnenbereich bis 2025 um 71% gegenüber 2004. Für die Binnenschifffahrt ist bis 2025 ein Anstieg der Verkehrsleistung von 26 % voraus gesagt. Eine Abschätzung bis 2050 geht von einer Verdoppelung der heutigen Verkehrsleistung aus.

Auch das Umschlagsaufkommen steigt. Aktuelle Untersuchungen des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) zum Seeverkehr prognostizieren eine Zunahme des Umschlages für die Seehäfen in Belgien, den Niederlanden und in Deutschland von 793 Mio. t im Jahr 2004 auf 1.658 Mio. t im Jahre 2025. Dies entspricht im Durchschnitt



einer jährlichen Zuwachsrate von 3,6 %. In den deutschen Häfen wird das durchschnittliche Wachstum mit 4,6 % pro Jahr höher ausfallen als in den Rheinmündungshäfen.

### **Mobilität von Menschen und Gütern garantieren**

Vor diesem Hintergrund sind die große Bedeutung der Wasserstraßen und der Erhalt der dazugehörigen Infrastruktur offensichtlich. Im Bestand der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) befinden sich derzeit ca. 290 Wehre, 350 Schiffsschleusenanlagen, 500 Düker, 1.600 Brücken, 15 Kanalbrücken, acht Sperrwerke und vier Schiffshebwerke sowie weitere zahlreiche Bauwerke zur Unterstützung des Wasserstraßenbetriebs. Darüber hinaus bilden Strombauwerke wie Uferdeckwerke und Bühnen einen wesentlichen Anteil an der Wasserstraßeninfrastruktur. Dieses komplexe System will optimal gewartet und modernisiert werden - denn eine gut ausgebaute, leistungsfähige Verkehrsinfrastruktur ist zentrale Voraussetzung für den bedarfsgerechten Transport von Gütern.

Ziel der Bundesregierung ist die sichere und nachhaltige Entwicklung der Verkehrssysteme, um eine effiziente, sichere und sozial- sowie umweltverträgliche Mobilität von Menschen und Gütern zu gewährleisten. Hierzu muss insbesondere in neue Technologien investiert werden. Da die Möglichkeiten zum Neu- und Ausbau begrenzt sind, wird eine Investition in die Leistungsfähigkeit bestehender Verkehrsinfrastruktur umso wichtiger. Die Kernaufgaben der Zukunft lauten daher: Erhaltung des Bauwerksbestands durch intelligente Technologien, flexibler Betrieb, verlässliche Verfügbarkeit und bedarfsgerechte Anpassung der Infrastruktur.

### **BAW: Lösungen liefern, Beratung ausbauen**

Als verkehrswasserbaulicher Berater und Gutachter unterstützt die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) und das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) bei Aus- und Neubau, Betrieb und Unterhaltung der Wasserstraßen in Deutschland. Aus diesen Aufgaben erwachsen regelmäßig Fachfragen und Probleme, für die vielfach keine befriedigenden Lösungen nach dem Stand der Technik existieren und damit dringender Bedarf an Forschung und Entwicklungsleistungen besteht. Als eine ihrer Kernaufgaben führt die BAW Forschungsvorhaben mit dem Ziel durch, die eigene Beratungsleistung stetig zu verbessern und auszubauen sowie den Dienststellen der WSV und dem BMVBS zeitgemäße, sichere und kostengünstige Verfahren und Werkzeuge zur Verfügung zu stellen.

### **Forschung bringt Fortschritt für Wasserstraßen**

Exzellente Forschungs- und Entwicklungsleistungen sind eine wesentliche Voraussetzung, damit die BAW angesichts der komplexen fachlichen und politischen Aufgaben und des raschen wissenschaftlichen Erkenntnisfortschritts auch in Zukunft zuverlässig und voraus-



schauend die Aufgaben des BMVBS und der WSV an den Wasserstraßen unterstützen kann. Insofern ist das vorliegende Forschungsprogramm Verkehrswasserbau auf die aktuellen und künftig zu erwartenden Fragestellungen im Sinne einer vorausschauenden Forschung (Vorlaufforschung) ausgerichtet.

Das Forschungsprogramm Verkehrswasserbau gliedert sich in die Abschnitte „Innovative Technologien“, „Mobilität“, „Sicherheit und Schutz“, und „Nachhaltigkeit“. Für die Bearbeitung der Forschungsthemen wird ein Zeitraum von zehn Jahren angesetzt. Das Forschungsprogramm wird in periodischen Abständen überprüft und fortgeschrieben.

Das Forschungsprogramm richtet sich an das BMVBS sowie an die WSV, die die genannten Themen und die Ressourcen-Ausstattung jeweils aufgreifen sollen. Adressat ist außerdem die BAW selbst, um die Inhalte auszugestalten, zu bearbeiten und fortzuschreiben. Schließlich wendet sich das Forschungsprogramm auch an die Fachöffentlichkeit, will zu unterstützender Bearbeitung motivieren und die Zielrichtung entsprechender neuer Themen vorgeben. Derzeit laufende Forschungs- und Entwicklungsvorhaben sind in der Anlage aufgeführt.

## **2 Positionierung der BAW als Ressortforschungseinrichtung**

Die BAW ist die zentrale technisch-wissenschaftliche Bundesoberbehörde zur Beratung und Unterstützung der WSV und des BMVBS. Im Rahmen des Aus- und Neubaus, des Betriebs und der Unterhaltung der Bundeswasserstraßen steuert sie Fachwissen und Forschungskompetenz bei. Der BAW ist das Dienstleistungszentrum Informationstechnik der Bundesverwaltung für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (DLZ-IT BMVBS) zugeordnet.

### **BAW-Forschung liefert Entscheidungshilfen für Verkehrswasserbau**

Als Ressortforschungseinrichtung führt die BAW verkehrswasserbauliche Forschung und Entwicklung auf den Gebieten der Bautechnik, der Geotechnik, des Wasserbaus im Binnen- und Küstenbereich sowie der Informationstechnik durch. Die BAW betreibt angewandte, praxisorientierte Forschung und Entwicklung. Die Ressortforschung ist darauf gerichtet, Entscheidungshilfen zur sachgemäßen Erfüllung der verkehrswasserbaulichen Fachaufgaben der WSV zu gewinnen. Die BAW bildet damit eine aktive Nahtstelle zwischen der wissenschaftlichen Grundlagenforschung, z. B. an Universitäten und Forschungseinrichtungen, und der praxisbezogenen Anwendung in der WSV.

Auf dem Gebiet des Verkehrswasserbaus verfügt die BAW über umfassende fachwissenschaftliche Kompetenz und langjährige praktische Erfahrung - und sie ist maßgeblich an der Weiterentwicklung dieser Disziplin beteiligt. Deshalb genießt sie in der nationalen und internationalen Fachwelt hohes Ansehen, was sich nicht zuletzt auch an der großen Zahl von Lehrbeauftragten und Berufungen auf Professuren mit Mitarbeitern aus ihren Reihen zeigt.



## **Einzigartige „Praxis-Uni“ für Wasserstraßen: interdisziplinär, eigenständig, unabhängig**

National gibt es keine andere Behörde oder Institution, in der das Arbeitsfeld der BAW in dem Umfang, in der Eigenständigkeit, in der interdisziplinären Arbeitsweise und in der Unabhängigkeit bearbeitet wird. Einzelne Segmente der Fachgebiete Bautechnik, Geotechnik, binnenländischer und maritimer Wasserbau werden an Universitäten, Hochschulen und Ingenieurbüros bearbeitet, von deren Kompetenz die BAW immer wieder im Rahmen von Kooperationen profitiert. Das trifft auch auf die Informationstechnik zu. Im Aufgabenbereich der allgemeinen Verwaltung (e-Government) sind einige wenige Hochschulen in Deutschland tätig. Hier pflegt das DLZ-IT BMVBS fachliche Kontakte und nimmt an Meinungsaustausch und Projektabstimmung im Rahmen der Verwaltungsinformatik teil.

## **Kooperationen fördern Kompetenz**

Ein besonders enger partnerschaftlicher Austausch besteht im nationalen Rahmen mit den zwei Ressortforschungseinrichtungen, die wie die BAW ebenfalls zum Geschäftsbereich des BMVBS gehören: Mit der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) werden FuE-Vorhaben bearbeitet, die neben verkehrswasserbaulichen Anteilen auch gewässerkundliche oder ökologische Fragestellungen enthalten. Mit dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) wird etwa auf dem Gebiet der operationellen Wasserstandsvorhersage für Tideästuare, zu den Folgen des Klimawandels im Küstenbereich und im Bereich Informationssysteme kooperiert. Auch in der Entwicklung und Anwendung numerischer Modellverfahren besteht eine enge Kooperation und Vernetzung mit dem BSH.

Auch auf internationaler Ebene ist die BAW in die verschiedensten Netzwerke eingebunden. So existieren enge Kontakte zu Einrichtungen mit vergleichbaren Arbeitsfeldern wie beispielsweise Deltares (Niederlande), Centre d'Etudes Maritimes et Fluviales (Frankreich) sowie Engineer Research and Development Center (USA).

Darüber hinaus sind zahlreiche Beschäftigte der BAW Mitglieder oder Vorsitzende von nationalen und internationalen Normungsgremien oder vergleichbaren Arbeitsgruppen von wissenschaftlichen Vereinigungen und Normungsinstitutionen wie z. B. DIN, CEN, ISO, PIANC. Die BAW ist Mitglied der Working Group SafeSeaNet "European Platform for Maritime Data Exchange" des European Commission Directorate-General for Energy and Transport, der German Construction Technology Platform im Rahmen des 7. Rahmenprogramms der EU und beteiligt sich an der offenen internationalen Plattform Geotechnical Safety Network.





## **Wissenschaftsrat attestiert der BAW ausgezeichnete Wissenschaftsleistungen und fordert verstärkte Anstrengungen bei Forschung und Entwicklung**

In seiner wissenschaftspolitischen Stellungnahme vom 6. November 2008, die auf einer umfassenden Evaluierung der wissenschaftlichen Leistungen der BAW beruht, kommt der Wissenschaftsrat zu folgendem Bewertungstenor:

*„Die Bundesanstalt für Wasserbau ist die wichtigste Beratungs- und Dienstleistungseinrichtung in Deutschland für alle Fragen des Verkehrswasserbaus und unentbehrlich für Planung, Bau und Betrieb der Bundeswasserstraßen. Die Dienst- und Beratungsleistungen der BAW haben bislang eine hohe Qualität und beruhen auf ihrer guten bis sehr guten Forschungs- und Entwicklungsarbeit, die allerdings verstetigt und ausgebaut werden muss.*

*Bislang arbeitete die BAW eher wie ein Ingenieurbüro, das mit seinen breiten Fachkenntnissen die jeweils in der Praxis entstehenden wasserbaulichen Probleme behandelt. Die Anlage der Forschung war und ist in diesem Sinn vorwiegend reaktiv. Die Aufgaben der BAW sind jedoch in letzter Zeit immer komplexer und detaillierter geworden; mit zunehmenden Ansprüchen sind auch die wissenschaftlichen Anforderungen immer weiter gewachsen. Zwar hat die BAW bislang ihr qualitativ gutes Niveau in der angewandten Forschung halten können, doch fehlt die Möglichkeit, eine Forschungsstrategie und ein eigenes Forschungsprogramm zu entwickeln. Ihre Einbindung in die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes ist aus funktionellen Gründen notwendig, doch entspricht die Ausgestaltung dieses Verhältnisses nicht mehr den aktuellen, vor allem wissenschaftlichen Anforderungen an eine Einrichtung mit einem solchen Tätigkeitsspektrum.“*

Mit dem vorliegenden Forschungsprogramm Verkehrswasserbau soll eine der Hauptforderungen des Wissenschaftsrats erfüllt werden, nämlich eine Forschungsstrategie zu entwickeln sowie ein mittel- bis langfristiges Forschungsprogramm mit Schwerpunkten und Querschnittsthemen zu entwerfen. Darüber hinaus liefert das Forschungsprogramm die fachlichen Grundlagen, um die Forschungs- und Entwicklungsleistungen der Bundesanstalt für Wasserbau gezielt weiterzuentwickeln und auszubauen. Ziel ist es, den derzeitigen Forschungsanteil, der mit einem Personalaufwand von ca. 7% der BAW-Beschäftigten und Forschungsmitteln für externe Vergaben von jährlich 800.000 € bearbeitet wird, zu verdoppeln. Dieses anspruchsvolle Ziel, das einer weiteren Hauptforderung des Wissenschaftsrats Rechnung trägt, kann nur erreicht werden, wenn die BAW mit zusätzlichen Ressourcen (Personal- und Sachmittel) ausgestattet wird.



## **3 Forschungsthemen**

### **3.1 Innovative Technologien**

Die Entwicklung von neuen Methoden, Verfahren und Anwendungsbereichen für Bauprodukte stellt die Grundlage für die Zukunft einer sicheren, leistungsfähigen, bedarfsgerechten und intelligenten Verkehrsinfrastruktur der Wasserstraßen dar. Die Generierung, Übertragung und Umsetzung neuer Konzepte und Technologien stehen im Mittelpunkt der Forschungsbearbeitung.

#### **3.1.1 Wirtschaftlichkeit der Bauwerke**

Die Ausnutzung von Systemreserven bei Aufrechterhaltung der Sicherheit und Zuverlässigkeit sowie die technische und zeitliche Optimierung von Herstell- und Unterhaltungsprozessen bei Verkehrswasserbauwerken ermöglicht nicht nur wirtschaftlichere Bauwerke, sondern insgesamt auch einen volkswirtschaftlichen Vorteil durch eine schnelle Wirksamkeit von Infrastrukturmaßnahmen sowie einen wirtschaftlicheren Transport über die Wasserstraßen.

Die nachfolgenden Vorhaben zielen auf die Entwicklung innovativer Bauverfahren und neuer Anwendungsbereiche für Baustoffe für die Herstellung oder die Erhaltung von Wasserstraßenbauwerken. Zu entwickelnde Standardisierungen von Bauteilen und Bauwerken sollen für eine qualitätsgesicherte, letztlich wirtschaftlichere Herstellung sorgen, die den Nutzen einer Infrastruktur schneller wirksam werden lässt. Standardisierungen erleichtern darüber hinaus die Erhaltung durch überschaubare Ersatzteil-Vorhaltung und einheitliche Erhaltungsstrategien. Diese Verfahrensentwicklungen berühren mehrere Disziplinen sowie die Themenbereiche Material, Bemessung und Konstruktion.

#### **Instandsetzung unter Betrieb**

Für die Instandsetzung von Bauwerken und Bauteilen des Verkehrswasserbaus, vor allem Schleusen, Wehre und Düker, aber auch z.B. Fugen, sollen neue Verfahren, Methoden und Anwendungsbereiche für Bauprodukte entwickelt werden, die eine Instandsetzung dieser Bauwerke unter Betrieb, d.h. bei Aufrechterhaltung der Schifffahrt, aber auch des Wasserabflusses, etc., ermöglichen, um betriebliche Einschränkungen zu vermeiden oder zu minimieren.

#### **Neue Bauweisen für Verkehrswasserbauwerke**

Die Herstellung von Wasserstraßenbauwerken erfolgt überwiegend konventionell und vor-Ort. Innerhalb von Machbarkeitsstudien sollen neue und alternative Bauweisen sowie die Verwendung vorgefertigter Bauteile (Systemteile, Fertigteile oder auch schwimmbarer Baugruppen, Bohrpfehlwand mit Vorsatzschale) entwickelt und für typische Bauwerksarten konzipiert werden.



Darüber hinaus erfordern die Schlauchwehnanlagen, die in jüngster Zeit erstmals auch an Bundeswasserstraßen gebaut wurden, eine gezielte Weiterentwicklung (Optimierung der Füll- und Entleersysteme, automatische Abfluss- und Stauzielregelung, Optimierung von Maßnahmen gegen Schwingungen, ergänzende Werkstoffuntersuchungen). Ziel ist ein Merkblatt für die Bemessung und Konstruktion von Schlauchwehren, das hydraulische und statische Bemessungsgrundlagen, Werkstoffanforderungen und Bemessungsbeispiele enthält und dem planenden Ingenieur als Leitfaden bei der Entwurfsaufstellung dienen soll.

### **Standardisierung von Verkehrswasserbauwerken**

Trotz einschlägiger Vorschriften und Regelwerke werden Bauwerke im Verkehrswasserbau durch die WSV unterschiedlich gebaut, ausgerüstet und unterhalten. Durch Zusammenstellung und Analyse von derzeit noch unterschiedlich erstellten Bauwerken sowie durch Überlegungen und Entwicklungen soll für Bauteile, Baugruppen oder auch ganze Bauwerke ein einheitlicher Standard geschaffen werden.

### **Einsatz der Geothermie für Wasserstraßenbauwerke**

Frost und Eis beeinträchtigen saisonal die Betriebssicherheit von Wasserstraßenbauwerken, wie Schleusen, Kanalbrücken, Wehnanlagen. Durch den Einsatz von Geothermie soll den betroffenen Bauteilen, wie Schleusen-kammerwände, Stahlwasserbau und Trogwände, Wärme zugeführt werden, um eine Eisfreihaltung zu betreiben. Technische Möglichkeiten sowie System-Entwürfe sollen auf den Verkehrswasserbau bezogen weiterentwickelt werden.

### **Gestaltungskatalog von Verkehrswasserbauwerken**

Die gestalterische Vielfalt von Wasserstraßenbauwerken in ihrem landschaftlichen Kontext ist für das Erscheinungsbild dieser Bauwerke in der Öffentlichkeit wichtig, eine Uniformität wäre nicht zweckdienlich. Dennoch lassen sich aus der Analyse vorhandener Bauwerke Typisierungen von Bauwerken oder ihrer Bauteile vornehmen, die im Rahmen eines Kataloges bei neuen Entwürfen und Planungen berücksichtigt werden können. Ziel ist die Erstellung eines Bauwerks-Kataloges für unterschiedliche Bauwerke der WSV, in dem Richtzeichnungen, Gestaltungselemente und Gesamt-Bauwerke zusammen gestellt sind.

#### **3.1.2 Informationssysteme**

Moderne Informationssysteme sind für ein effizientes Wissensmanagement unverzichtbar. Bereits die heute verfügbare Informationstechnik bietet ein großes Potenzial, verfügbare Daten und Metadaten für eine Vielzahl von internen und externen Nutzern zeitnah zur Verfügung zu stellen. FuE-Schwerpunkte der BAW beziehen sich sowohl auf die technische Umsetzung der Erfassung, Auswertung, Analyse, Archivierung und Visualisierung als auch auf die Mitwirkung bei der Definition von internationalen Standards und der automatisierten Aufbereitung der Daten für eine effiziente Bereitstellung. Darüber hinaus sind die Produkte



und Erfahrungen der BAW in Datenbanken zu sammeln und einer strukturierten Nutzung für weitere Anwendungen zur Verfügung zu stellen.

### **Service-orientierte Softwarearchitekturen für ein ganzheitliches Bauwerks- und Umweltmanagement**

Für den sicheren, effizienten und innovativen Betrieb der Bundeswasserstraßen wird eine Vielzahl von Messdaten benötigt. Die WSV verfügt über unterschiedlichste Messnetze, die zusammen eines der größten Messnetze Europas bilden. Durch eine regelmäßige und qualitativ hochwertige Ermittlung und Archivierung von Gewässer- und Anlagenzustand wird die Zuverlässigkeit der einzelnen Messnetze sowie des Gesamtsystems deutlich verbessert. Die Interoperabilität der gewonnen Messwerte ist hierbei eine der wesentliche Voraussetzungen für die Entwicklung eines ganzheitlichen Bauwerks- und Umweltmanagement. Technologische Basis ist die Beteiligung an der Entwicklung einheitlicher informationstechnischer Standards für Mess- und Geoinformationssysteme basierend auf den Ergebnissen des Open GIS Konsortiums. Diese Standards sollen durch Kooperation mit Forschungseinrichtungen und Industriepartnern im Rahmen dieses Pogramms in die von der WSV genutzte Technik implementiert werden.

### **Datenbank für boden- und felsmechanische Laborversuche**

Baugrundaufschlüsse und Laborversuche sind sehr teuer, so dass zu ihrer Absicherung und Ergänzung auf bestehende Untersuchungsergebnisse zurückgegriffen wird. Auf die Einbeziehung solcher „vergleichbaren Erfahrungen“ hebt auch die neue geotechnische Normung ab. In Verbindung mit der Bohrpunktdatenbank der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) sollen daher die Ergebnisse boden- und felsmechanischer Laborversuche in einer Datenbank für Bodenkennwerte gesammelt und dokumentiert, archiviert, ausgewertet und zur Verfügung gestellt werden. Da die Struktur bodenmechanischer Kenngrößen trotz weitgehender Normung der Versuche äußerst heterogen ist und auch ihre Anwendung in geotechnischen Nachweisen eine große Vielfalt aufweist, muss ein spezielles Datenbankkonzept entwickelt werden, das diese Besonderheiten berücksichtigt. Dazu gehört die Entwicklung sowohl eines einheitlichen Datenstandards, der die Grundlage für die Nutzung der Datenbank und für Import- und Exportvorgänge liefert, als auch eine Systematik für Zuverlässigkeitsklassen, die den Nutzern eine schnelle und zuverlässige Beurteilung der Daten ermöglicht.

### **Nationales Meeres- und Küsten-Informationssystem**

Die im Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (KFKI) zusammengeschlossenen Verwaltungen des Bundes und der Länder haben sich 2001 auf einen gemeinsamen Metadatenstandard auf der Basis von ISO 19115 geeinigt. In den Küstendienststellen werden die Datenbestände dokumentiert und sind im Nord- und Ostsee-Küsteninformationssystem



NOKIS recherchierbar. Die NOKIS-Metadatenbank ist an das Geoportal des Bundes GDI-DE sowie an das Umweltportal Deutschland PortalU über standardisierte Katalog-Schnittstellen angeschlossen. Es ist geplant, zusammen mit dem GeoSeaPortal des BSH, eine einheitliche technische Infrastruktur für ein übergreifendes nationales Meeres- und Küsten-Informationssystem aufzubauen. Dieses wird die umfassende und fristgerechte Bereitstellung von Geodaten und Informationen aus dem Meeres- und Küsten-Bereich gemäß den geltenden EG-Richtlinien sicherstellen. Dazu gehören beispielsweise auch die umfangreichen Ergebnisse (Wasserstand, Strömung, Salz- und Sedimenttransport) mathematischer Simulationsmodelle für die Seeschiffahrtsstraßen. Sie sind vor allem für die Schiffsführung, gewässerkundliche Analysen und das Management der Reviere und den Katastrophenschutz von hohem Wert.

## **3.2 Mobilität**

Grundvoraussetzung für Mobilität von Menschen und Gütern ist eine funktionsfähige und effiziente Verkehrsinfrastruktur. Die Forschungsthemen zielen daher auf die Optimierung und Modernisierung der Binnen- und Seeschiffahrtstraßen und der zugehörigen Wasserbauwerke im Hinblick auf die spezifischen Anforderungen an eine sichere, effiziente und umweltfreundliche schiffahrtliche Nutzung. Dabei sind künftige technologische Entwicklungen (Schiffstechnik, Schiffsbau, Telematik) ebenso wie die möglichen klimabedingten Veränderungen zentrale Untersuchungsthemen.

### **3.2.1 Schiffssteuerung und Verkehrslenkung**

Die verkehrliche Leistungsfähigkeit von Wasserstraßen hängt wesentlich von der verfügbaren Fahrrinntiefe und -breite und damit von den Schiffsgrößen ab, die die Wasserstraße befahren können. Vor dem Hintergrund der stetigen Schiffsgrößenzunahme führt dies immer häufiger zu einer maximalen Ausnutzung vorhandener Wasserstraßen und damit zu starken Wechselwirkungen von Schiff und Wasserstraße. Ergänzend zu den laufenden Anpassungen der Schifffahrtsstraßen und Häfen sind deshalb auch das fahrdynamische Verhalten, die nautische Führung der Schiffe sowie die Optimierung ihrer Fahrzeiten im Revier Schwerpunkte zukünftiger Forschung. Dabei ist der individuellen Charakteristik der Binnenschifffahrtsstraßen und der Zufahrten zu den Seehäfen an Nord- und Ostsee zur Gewährleistung von Verkehrssicherheit und Umweltschutz Rechnung zu tragen. Die Fahrt im beschränkten Fahrwasser erfordert schiffssteuerungstechnische Entwicklungen ebenso wie genaue Kenntnisse über den Verkehrsflächenbedarf und die schiffsinduzierten Einflüsse auf Sohle und Ufer. Auf der Basis verbesserter Informationssysteme sollte es künftig möglich sein, den Verkehr so zu steuern, dass das vorhandene Fahrwasser optimal ausgenutzt und die Sicherheit des Schiffsverkehrs auch bei extrem ausgenutzten Fahrwasserbedingungen gewährleistet werden kann.



### **Verbesserung fahrdynamischer Modellverfahren**

Die in bestehenden Modellen zur Durchführung von Befahrbarkeitsanalysen sowie in Schiffsführungssimulatoren implementierten fahrdynamischen Verfahren liefern für stark eingeschränkte Fahrwasserverhältnisse nur grob angenäherte Simulationsergebnisse. Aufbauend auf den fahrdynamischen Modellverfahren der BAW sollen die bisher nicht ausreichend berücksichtigten Einflüsse aus Querströmungen, aus der Wirkung moderner Ruderanlagen und infolge geringer Flottwassertiefen mit parameterbehafteten Ansätzen erfasst werden. Um künftig möglichst vollständig auf parameterbehaftete Ansätze für detaillierte Untersuchungen verzichten zu können, wird als Fernziel die parallele Simulation des vom Schiff erzeugten Strömungsfeldes in Interaktion mit dem Schiff auf den Schiffsführungssimulatoren der BAW angestrebt.

### **Weiterentwicklung von Autopiloten zur Simulation im Binnenbereich**

Werden Schiffsführungssimulatoren für Befahrbarkeitsanalysen eingesetzt, so erfolgt dies in einem ersten Schritt i. d. R. durch Einsatz eines Autopiloten, der das Schiff nach vorgegebenen Kriterien durch das Fahrwasser steuert. Bestehende Autopiloten verwenden als Regelgröße hierzu Abweichungen von einem Sollkurs, agieren nur begrenzt vorausschauend und berücksichtigen vor allem nicht das tatsächliche Verhalten eines Schiffsführers („human factor“). Dies kann zu unbefriedigenden Ergebnissen führen. Deshalb sollen bestehende Modellansätze in Zusammenarbeit mit Anbietern von Autopiloten, schiffbautechnischen Instituten sowie Forschungseinrichtungen hinsichtlich der vorgenannten Aspekte weiterentwickelt werden.

### **Verkehrsoptimierung und Routenplanung**

Die Kombination der in der BAW vorhandenen hydronumerischen Strömungsmodelle mit fahrdynamischen Modellen zu hydraulisch-fahrdynamischen Modellen (HFD) ermöglicht die Berechnung und Bewertung von Fahrtrouten und zugehörigen Kursachsen für derzeitige und zukünftige Fahrwasserverhältnisse, Schiffstypen und Abflüsse. Ziel ist es, die HFD-Modelle soweit zu automatisieren, dass nach Abruf von Pegelinformationen eine Routenberechnung in Echtzeit erfolgen und die berechnete Route unmittelbar anhand von Befahrbarkeitspotenzialen bewertet werden kann. Eine Zeitreferenzierung ermöglicht es, Abfahrt- und Ankunftszeiten zu variieren. Dadurch kann der WSV ein Beurteilungskriterium für die Zulassung von bestimmten Verkehren und der Binnenschifffahrt eine Entscheidungshilfe für die Wahl der Abladetiefe an die Hand gegeben werden.

### **Reduzierung des Verkehrsflächenbedarfs durch Einsatz moderner Schiffstechnik**

In Zusammenarbeit mit Entwicklungspartnern aus dem Bereich Schiffstechnik und Transportsysteme sollen Möglichkeiten zur verstärkten Ausnutzung des Fahrwassers bei gleichzeitig begrenzten schiffsinduzierten Belastungen ausgelotet werden. Hierzu sollen vom DST moderne nautische Hilfen (z. B. Bugstrahlruder, passive Bugruder) untersucht werden. An



Beispielen der Durchfahrung nautisch schwieriger Rheinabschnitte wird von der BAW aufgezeigt, wie weit dadurch die notwendige Verkehrsflächenbreite reduziert werden kann. Darüber hinaus soll untersucht werden, inwieweit die komplexe Steueraufgabe zur optimalen Abstimmung mehrerer Ruder von Autopiloten unterstützt bzw. übernommen werden kann.

### **3.2.2 Hydraulische Optimierung von Wasserbauwerken**

Schleusen und Wehre sind die für den Betrieb einer staugeregelten Wasserstraße zentralen Bauwerke, von deren baulicher und betrieblicher Anpassung an die individuellen Randbedingungen und Erfordernisse die Leistungsfähigkeit der Wasserstraße entscheidend abhängt. Da die Anforderungen sowohl an diese Bauwerke als auch an die Bewirtschaftung ganzer Stauhaltungsketten stetig steigen, sind Lösungen für eine hydraulisch günstige und wirtschaftliche Gestaltung der Bauwerke sowie effiziente Bewirtschaftungsstrategien zu erarbeiten.

#### **Minimierung der Schleusungsdauer**

Die Leistungsfähigkeit von Schleusenanlagen kann durch Verkürzung der Schleusungsdauer gesteigert werden. Ein besonderes Problem stellen dabei Schiffskräfte während der Füllung und Entleerung dar. Da sich durch Weiterentwicklung der Füll- und Entleersysteme die hydraulischen Verhältnisse in der Schleusenammer verändert haben und zunehmend größere Schiffe verkehren, sind die bisherigen Ansätze für zulässige Schiffskräfte bei Schleusungsvorgängen zu überprüfen und Grenzwerte ggf. anzupassen. Auch die langen Ausfahrzeiten in das Unterwasser, die hydromechanisch durch die engen Querschnittsverhältnisse, den zugehörigen großen Schiffssquat und die nur eingeschränkt wirkenden Propulsionsorgane bedingt sind, weisen Optimierungspotential auf.

#### **Selbstadaptierende Regelungssysteme für Stauhaltungsketten**

Mit einer koordinierten Bewirtschaftung mehrerer Stauhaltungen kann eine Vergleichmäßigung der Abflüsse und Wasserstände erreicht werden. Hierzu existieren unterschiedliche Ansätze, die untersucht und bewertet werden sollen mit dem Ziel einer Standardisierung der Modellstrategie. Daneben sollen die Auswirkungen der unsicheren Eingangsgrößen (Wasserstände, Zu- und Abflüsse) auf die Staustufenbewirtschaftung quantifiziert und tolerierbare Fehlergrößen bestimmt werden. Ziel ist die Entwicklung einer Leittechnik, die sich automatisch adaptiert und verbessert.

#### **Hydraulisch-konstruktive Optimierung von Wasserbauwerken**

Die hydraulische Dimensionierung von Wasserbauwerken zeigt Wechselwirkungen zur Konstruktion und Bemessung des Bauwerks. Für Schleusen und Wehre sollen nach Analyse bestehender Bauwerke Optimierungen aus hydraulischer (Strömungsführung) und bautechnischer (Formgebung, Bemessung, Baustoff) Sicht erarbeitet werden. Neuere dreidimensionale numerische Verfahren erlauben die automatisch ablaufende Optimierung von 3D-



Untersuchungen, die auf eine kriteriengesteuerte numerische Formoptimierung abzielen. Für Bemessungen sind darüber hinaus die Ansätze hydrodynamischer Wasserdrücke auf z. B. Störkörper und Gitterwände zu entwickeln.

### **3.2.3 Klimawandel**

Die Zukunftsfähigkeit des Verkehrssystems Schiff/Wasserstraße wird entscheidend davon abhängen, ob die Schifffahrt und der Verkehrswasserbau in der Lage sind, sich auf die durch den Klimawandel zu erwartenden Veränderungen einzustellen. Aufbauend auf Klimaprojektionen des BMVBS-Forschungsprogramms KLIWAS, das in einem Forschungsverbund von BfG, BAW, BSH und DWD bearbeitet wird, untersucht die BAW die verkehrswasserbaulichen Fragestellungen, insbesondere Optionen, mit denen auf Klimafolgen durch wasserbauliche Maßnahmen reagiert werden kann. Dabei sind im Binnenbereich folgende Auswirkungen besonders zu beachten: die Reduktion der Abladetiefen bei Niedrigwasser, die Abnahme der möglichen Betriebszeiten infolge Zunahme von Niedrig- und Hochwasserphasen sowie die zunehmenden Belastungen des Gewässers (Sohle und Ufer) durch größere Strömungsgeschwindigkeiten bei Hochwasser und durch schiffsinduzierte Strömungen und Wellen.

Im Bereich der Seeschifffahrtsstraßen wird der beschleunigte Anstieg des Meeresspiegels die mittleren Verhältnisse des Tidegeschehens und des Transports gelöster und suspendierter Stoffe je nach Örtlichkeit stark bis weniger stark verändern. Hinzu kommen die Änderungen der episodisch auftretenden Sturmfluten und der Extremwerte in den Oberwasserzuflüssen. Gravierende Betroffenheiten ergeben sich daraus für die Deichsicherheit, das Sedimentmanagement, die morphologischen Entwicklungen und die Wasserqualität.

#### **Quantifizierung des Regelungspotenzials für Niedrigwasserverhältnisse**

Die frei fließenden Binnenwasserstraßen verfügen regional über unterschiedliche Ausbaupotenziale im Hinblick auf Niedrigwasserverhältnisse. Zur Auswahl angemessener Anpassungsstrategien ist daher für die unterschiedlichen Flussabschnitte zu untersuchen, ob und in welchem Ausmaß mit Hilfe baulicher Maßnahmen zusätzliche nutzbare Wassertiefe geschaffen werden kann. Exemplarisch für frei fließende Flüsse soll am Rhein eine übertragbare Systematik erarbeitet werden, bei der auf der Grundlage der Analyse des Ausbaustandes, der Fahrwasserverhältnisse für extrem niedrige Abflüsse sowie fahrdynamischer Analysen wesentliche Relationen im Hinblick auf ihr Optimierungspotential bewertet werden.

#### **Anpassungsoptionen zur Ausweitung des Befahrbarkeitsfensters**

Das Potenzial baulicher und betrieblicher Maßnahmen zur Verbesserung der Schiffbarkeit bei extremen Wasserständen ist mit Hilfe von hydrodynamisch-morphologischen Simulationen streckenbezogen zu ermitteln und zu bewerten. Als bauliche Maßnahmen sind die Herstellung und Unterhaltung von nautisch nutzbaren und durchgängigen Übertiefen in Form einer Niedrigwasserfahrrinne („Fahrrinne in Fahrrinne“) sowie temporäre, bei Niedrigwasserständen wirksam werdende Regelungsbauwerke zu untersuchen. Als betriebliche Maß-





nahme gilt es, Möglichkeiten und Grenzen der Abflussbewirtschaftung zur Wasserspiegelanhebung bei Niedrigwasser aufzuzeigen.

### **Mindestbreite von Fahrrinnen**

Die bei Niedrigwasser vermehrt eingesetzten kleineren Fahrzeuge benötigen eine geringere Fahrrinnenbreite. Dies ermöglicht es, größere Tiefen zu nutzen. Im Rahmen des Vorhabens ist zu klären, wie breit die Fahrrinne mindestens sein muss, um einen sicheren und leichten Schiffsverkehr zu gewährleisten. Die Analyse kann dabei auf den in der BAW entwickelten Trassierungsverfahren und den im Vorhaben „Verbesserung fahrdynamischer Modellverfahren“ weiterzuführenden Modellanalysen aufbauen. Im Ergebnis sind Mindestbreiten in Abhängigkeit von Schiffstyp, Steuerfähigkeit, Verkehrssituation und Verkehrsstärke streckenabhängig auszuweisen, wobei bekannte Engstellen vorrangig betrachtet werden.

### **Mögliche hydrologische Veränderungen der Seeschiffahrtsstraßen**

Aus dem heute erwarteten Anstieg des Meeresspiegels, veränderten atmosphärischen Zirkulationssystemen und zunehmender saisonaler Variabilität der Abflüsse aus dem Binnenland in die Küstengewässer wird ein breites Spektrum möglicher Szenarien entwickelt. Diese Szenarien liefern Grundlagen für umfassende mathematische Simulationsmodelle, die das Gesamtgebiet der Deutschen Bucht und der Ästuare in hoher räumlicher Auflösung umfassen. Die Modelle berücksichtigen alle relevanten Haupt- und Nebenrinnen sowie Priele und Wattflächen. Mögliche Veränderungen der Hydrologie werden durch Vergleich mit den heutigen Verhältnissen sowohl für mittlere (Normaltiden) als auch für extreme Verhältnisse (Sturmfluten) quantifiziert.

### **Betroffenheiten als Resultat möglicher Gewässerzustände**

Die klimabedingten Veränderungen des hydrologischen Systems werden heute schon vorliegende Betroffenheiten verstärken bzw. neue Betroffenheiten auslösen. Sie ergeben sich insbesondere aus dem veränderten Transport von festen und gelösten Stoffen und aus veränderten Belastungssituationen (Wasserstand, Strömung und Seegang) im Uferbereich. Aus dem breiten Spektrum möglicher Klimaszenarien ergibt sich durch Anwendung von Analyseverfahren ein Spektrum von Belastungsgrößen. Die Analyseergebnisse bilden die Grundlage zu Entwicklung von Anpassungsoptionen.

### **Anpassungsoptionen für Seeschiffahrtsstraßen**

Auf Grundlage von Betroffenheitsanalysen werden geeignete Anpassungsoptionen mit dem Ziel ausgewählt, den guten Zustand der Küstengewässer zu erhalten bzw. zu entwickeln, rechtzeitig weitere Planungen für eine zukunftsgerichtete Nutzung der Seeschiffahrtsstraßen und Häfen vor dem Hintergrund des Klimawandels langfristig abzusichern und zur Weiterentwicklung der Küstenschutzes unter veränderten Belastungssituationen bei Extremereignissen beizutragen. Die Wirkung dieser Anpassungen wird mit mathematischen Simulati-



onsmodellen ermittelt und optimiert. Die Auswahl geeigneter Anpassungsoptionen muss in enger Zusammenarbeit mit den revierversantwortlichen Institutionen und sonstigen Interessenträgern an den Seeschiffahrtsstraßen durchgeführt werden.

### **3.3 Sicherheit und Schutz**

Die Sicherheit und Zuverlässigkeit von Bauwerken ist eine gesetzlich und gesellschaftlich verankerte Forderung, für die Regelwerke und Methoden zu entwickeln sind. Die Umsetzung neuer Zuverlässigkeitskonzepte, aber auch die Bewertung und Anpassung bestehender Bauwerke erfordert die Beurteilung von Zuverlässigkeiten auf der Grundlage von Erfahrungen, Bauwerksbeobachtungen und numerischen Untersuchungen.

#### **Bemessen in der Geotechnik**

Mit der schnellen Weiterentwicklung von numerischen Berechnungsmodellen ergeben sich in der Geotechnik neue Möglichkeiten für eine immer realistischere Bemessung von Erdbauwerken, Gründungen und Stützbauwerken im Verkehrswasserbau, wie z. B. Spundwänden, Ankern, Steifen oder Tiefgründungen mit Pfählen. Dem bisher in den Normen verankerten Sicherheitsniveau liegen allerdings die klassischen bodenmechanischen Berechnungsmodelle zugrunde. Die Anwendung neuer Berechnungsmodelle erfordert daher eine Kalibrierung am bewährten Sicherheitsniveau. Zwei Aspekte stehen im Vordergrund: Erstens sind realistischere Modelle zu entwickeln und in entsprechende Nachweise der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit zu integrieren. Hierzu werden in Situ Messungen und Labormessungen durchgeführt und mit den Ergebnissen der Modellbildungen verglichen. Zweitens werden die Unterschiede im Sicherheitsniveau der klassischen und der neuen Berechnungsmodelle untersucht und entsprechende Anpassungen entwickelt.

#### **Zuverlässigkeit und Bewertbarkeit von Pfählen und Ankern**

Zur Festlegung der Tragfähigkeit von Pfählen und Ankern sind statische Pfahlprobelastungen erforderlich, die mit einem erheblichen Zeit- und Kostenaufwand verbunden sind. Bei Pfählen wird versucht, sie durch die einfacheren und preiswerteren dynamische Pfahlprobelastungen zu ersetzen, deren Prognosesicherheit allerdings unbefriedigend ist. Zentraler Ansatz für Verbesserung bzw. Beurteilung der Prognosesicherheit ist die Durchführung und systematische Auswertung von dynamischen und statischen Probelastungen an Pfählen und von Eignungsprüfungen an Ankern, um auf Grundlage einer vergrößerten Datenbasis ihre Tragfähigkeit zutreffender zu ermitteln zu können. Maßgeblich für die Beurteilung der Dauerhaftigkeit von solchen Ankern bzw. Pfählen ist der Korrosionsschutz. Es soll untersucht werden, ob es Messmethoden gibt, die diesen insbesondere im Bestand zuverlässig nachweisen können.



## **Dränagen und Filter zur Sicherung von Bauwerken**

Bei Bauwerken und Baumaßnahmen an Schifffahrtskanälen werden häufig Dränagen und Filter sowohl als temporäre als auch als Dauermaßnahmen eingesetzt (z. B. zur Sicherung gegen hydraulischen Grundbruch oder zur Grundwasserdruckentlastung). Ziel des Vorhabens ist die Festlegung geeigneter Berechnungsverfahren zur ausreichend genauen Ermittlung der sich bei der Durchströmung des Baugrunds einstellenden Grundwasserpotenzialverteilung und der daraus resultierenden Grundwasserdruck- und Strömungskräfte zur Dimensionierung der Dränagen und Filter sowie die Auswahl geeigneter Materialien und Herstellungsverfahren. Dazu sind sowohl numerische Berechnungen als auch Modellversuche vorgesehen.

## **Sicherung von Kolken an Binnenwasserstraßen**

Für die Dimensionierung der Sicherung natürlich entstandener Kolke sowie für Kolke i.V.m. Brückenpfeilern an Binnenwasserstraßen liegen vielfältige Erfahrungen und Bemessungsregeln vor. Im Gegensatz dazu existieren für Kolke, die durch die große Vielfalt der unterschiedlichsten Wasserbauwerke an Binnenwasserstraßen – gewässerhydraulisch, nautisch und betrieblich bedingt – entstehen können, derzeit noch keine einheitlichen Verfahren und Vorgehensweisen zur Bemessung der erforderlichen Sicherungen. Im Sinne von Vereinheitlichung, Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit ist es sinnvoll, die teilweise große Bandbreite vorhandener Formeln zur Umsetzung der hydraulischen Belastungsgrößen in erforderliche Steingrößen zu sichten, zu bewerten und – unter Beachtung der speziellen Bauwerkssituation und -anforderungen – praxisnah auszuwählen. Auch weitere Aspekte der Kolksicherung hinsichtlich der Filterstabilität, der Bauausführung und des begleitenden Monitorings sind zu klären.

## **Erosionsverhalten von bindigen Böden bei Strombaumaßnahmen**

Im Rahmen von Strombaumaßnahmen an den Seeschifffahrtsstraßen werden Unterwasserablagerungen und Ufervorspülungen notwendig, die im Hinblick auf ihre wasserbauliche Wirkung in ihren Abmessungen zu erhalten sind. Die Sicherung derartiger Strombauwerke kann mit bindigen Böden aus Baumaßnahmen an anderen Wasserstraßen erfolgen. Die Erosionsstabilität ist für verschiedene bindige Bodenarten unter Zugrundelegung der hydraulischen Belastungen zu untersuchen.

## **Scherfestigkeiten organischer Böden**

Belastbare Parameter für die Scherfestigkeiten von organische Böden liegen nicht vor und werden daher von Gutachtern auf der sicheren Seite abgeschätzt. So sind insbesondere Maßnahmen des Verkehrswasserbaus in Bereichen organischer Böden teilweise gar nicht mehr durchführbar oder erfordern aufwändige Lösungen. In Abhängigkeit der organischen Anteile und des Spannungs-Dehnungs-Verhaltens sollen für typische Böden (Torf, torfiger



Klei und Mudde) die Scherparameter als Eingangsgrößen für analytische und numerische Berechnungen ermittelt werden. Dazu werden Grundsatzuntersuchungen im Labor erforderlich, in denen organische Böden unter verschiedenen Spannungsniveaus aufbereitet und in Triaxialversuchen untersucht werden. Diese Triaxialversuchen sind wegen der organischen Einflüsse an Proben durchzuführen, die deutlich größer als die üblichen Probenkörper sind.

### **Sicherheit bestehender Verkehrswasserbauwerke**

Wasserbauwerke sind langlebige Infrastrukturgüter. Ca. 30 Prozent der Schleusen und Wehre haben ihre theoretische Nutzungsdauer erreicht bzw. überschritten. Erkenntnisfortschritte und Änderungen bei den Einwirkungen lassen die rechnerische Standsicherheit und Tragfähigkeit bestehender Bauwerke als ungenügend erscheinen. Nach einer Analyse von rechnerischen Defiziten bestehender Bauwerke sollen Modelle für Einwirkungen und Lastabtragung entwickelt werden.

### **Schutz von Wasserbauwerken vor terroristischen Angriffen**

Bauwerke werden im Allgemeinen nicht gegen Einwirkungen aus Vorsatz (Sabotage, terroristische Angriffe) bemessen. Für stark risikobehaftete Bauwerke (Bauwerke deren Versagen zu großen Schäden führen würde),, aber auch Bauwerke, deren Zerstörung eine weit reichende Unterbrechung der Wasserstraße nach sich ziehen würde, sollen Analysen der baulichen Robustheit sowie ergänzende oder alternative Sicherheitskonzepte (Abwehr-Strategien, Katastrophenpläne) erarbeitet werden. Zu untersuchen sind Gefährdungen, Risikopotenziale, Präventionen, Maßnahmen zur Schadensbegrenzung und Katastrophenbewältigung.

## **3.4 Nachhaltigkeit**

Nachhaltigkeit bedeutet Schonung der Ressourcen als Ziel beim Bauen und Unterhalten von Bauwerken. Ökologische Nachhaltigkeit fordert Erhaltung und ggf. die Wiederherstellung eines guten ökologischen Zustandes des Wassers, der Ufer und des angrenzenden Geländes einschließlich des Untergrunds mit dem Grundwasser.

### **3.4.1 Erhaltung von Bauwerken**

Das zunehmende Alter der baulichen Infrastruktur und die zunehmende Beanspruchung durch den Schiffsverkehr, aber auch sich ändernde Einwirkungen erfordern Methoden und Verfahren zur Instandhaltung von Bauwerken und machen Management-Konzepte für die Erhaltung von Bauwerken erforderlich.

### **Bauwerksmonitoring**

Auffälligkeiten und Schäden an Wasserstraßenbauwerken werden in der Regel erst bei der turnusmäßigen Bauwerksinspektion erkannt. Zwecks frühzeitigem Erkennen, Erfassen und



Aufnehmen von kritischen Bauwerkszuständen für Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit sollen Voraussetzungen und Anforderungen an Monitoringsysteme entwickelt werden, die zu „intelligenten“ Bauwerken führen. Alarmierungssysteme bei Grenzwertüberschreitungen und Warnsysteme, die „intelligent“ auf Grundlage von Trenddaten reagieren, können hier Lösungen bereit stellen. Die statische und konstruktive Charakteristik der Bauwerke ist durch Auswahl typischer Bauwerke zu berücksichtigen. Service-orientierte Software-Architekturen für ein ganzheitliches Bauwerks- und Umweltmanagement mit Dateinerfassungs- und Datenübertragungssystemen sollen eingesetzt werden. Darüber hinaus ist eine Wechselwirkung mit dem Erhaltungsmanagement zu untersuchen.

### **Erhaltungsfreundliche Bauwerke**

Verschleiß, Havarien oder Änderungen bei Einwirkungen oder dem statischen System führen zur Instandsetzung von Bauteilen und Bauwerken des Verkehrswasserbaus. Bereits bei der Herstellung von Bauwerken sollte an Möglichkeiten gedacht werden, Bauteile und Bauwerke wartungsarm und erhaltungsfreundlich zu konstruieren, eine gute Zugänglichkeit sicher zu stellen sowie Austauschbarkeit, Verstärkungsmöglichkeit und Tragfähigkeitserhöhung mit einzuplanen. Aus der Analyse typischer Instandsetzungen sollen Vorgehensweisen, Methoden und Bauteile entwickelt werden.

### **Anpassung von Bauwerken an geänderte Nutzungsbedingungen**

Wasserstraßenbauwerke, wie Schleusen, sind langlebige Infrastrukturgüter. Die verkehrliche Entwicklung, d.h. hauptsächlich zunehmende Schiffsgrößen, aber auch eine Änderung der Einwirkungen (Verkehrslasten, Erddrücke, Wasserstände) können eine Anpassung der Bauwerke erforderlich machen, was in der Regel zum Ersatzneubau des Bauwerks führt. Es sollen anpassungsfähige Lastmodelle, anpassungsfähige Baustoffe sowie anpassungsfähige Tragsysteme auch unter Berücksichtigung von Verstärkungsmöglichkeiten entwickelt werden.

### **Dimensionierung von Deckwerken für den Uferschutz**

Bei Deckwerken an Wasserstraßen können i. d. R. begrenzte Schäden zugelassen werden, ohne dass die Gesamtstabilität des Bauwerkes gefährdet ist. Dies erfordert eine Prognose der Schäden und deren Akkumulation bis zu einer kritischen Grenze. Als Grundlage sind neben einer detaillierten Bestandsaufnahme bestehender Deckwerke Modellansätze zu verschiedenen Versagensmechanismen in Abhängigkeit statistischer Parameter zu entwickeln. Der Schadensverlauf ist mit wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu koppeln, um daraus eine optimale Strategie zur wirtschaftlichen Dimensionierung und Unterhaltung der Deckwerke zu erarbeiten. Hierfür sind auch die vorhandenen Inspektionsverfahren, das sind i. W. Peilverfahren, hinsichtlich der Beurteilung des Zustandes der Deckwerke unter Wasser zu optimieren.



## **Schiffsinduzierte Strömungen auf Sohle und Ufer**

Durch die Entwicklung zu größeren und stärker motorisierten Binnenschiffen nehmen die Beanspruchungen von Sohle und Ufer zu. Deshalb sollen die Untersuchungen zur Kolkbildung aus Schraubenstrahl fortgesetzt werden, wobei der Einfluss einer kurzen Einwirkzeit bei Anfahr- und Stoppvorgängen sowie bei der Vorbeifahrt am Ufer besser quantifiziert werden soll. Weiterhin sollen die Berechnungsverfahren auf grobkörniges Substrat erweitert werden, um sie im Verfahren GBBSoft für die Deckwerkbemessung nutzen zu können. Schließlich sollen die Auftretenswahrscheinlichkeiten bestimmter Belastungsszenarien analysiert werden, um die Wahrscheinlichkeit der Akkumulation von Einzelschäden bei der Deckwerkbemessung einzubeziehen.

### **3.4.2 Strombau der Zukunft**

Das wasserbauliche Erfahrungswissen belegt, dass es in sandigen und schlickigen Wasserstraßen im Binnen- und Küstenbereich keine vollständige Stabilität für eine einmal hergestellte Fahrrinne gibt. Strombau ist deshalb eine Daueraufgabe, die fortlaufend an aktuelle Fragestellungen, rechtliche Rahmenbedingungen und geänderte Nutzungsansprüche angepasste Untersuchungsmethoden benötigt. Da sich lokale Strombaumaßnahmen in der Regel großräumig auswirken, müssen die Wirkungszusammenhänge (Tidedynamik, Dynamik von Seegang und Schiffswellen, Morphodynamik) großräumig untersucht und kontrolliert werden. Dabei sind Strombau und Sedimentmanagement stets im Zusammenspiel zu betrachten. Natürliche und ausbaubedingte Veränderungen erfordern neue Konzepte und Strategien, wobei Strombau und Sedimentmanagement stets im Zusammenspiel zu betrachten sind.

Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten zum Sedimenttransport haben national und international eine zunehmende, an der Baggerpraxis orientierte Bedeutung erlangt, weil der schrittweise Ausbau der Wasserstraßen die Sedimentationsmengen stetig anwachsen lässt. Hierbei sind insbesondere die Dynamik feiner Sedimente und deren ausbaubedingte Veränderung im Fokus des Interesses. Auch die Dynamik der groben, das Gewässerbett bildenden Sedimente ist weiterhin Gegenstand der Forschung, weil die heute noch bestehenden großen Prognoseunsicherheiten reduziert werden müssen.

### **Strombaustrategien im Küstenbereich**

Ziel ist die Entwicklung und Validierung von Strombaustrategien für die Tideästuare Ems, Jade/Weser und Elbe. Aktuelle und zukünftig erwartete Erfordernisse sind mit der WSV zu abzustimmen und bilden die Grundlage für die Untersuchungen. Der Strombau der Zukunft behandelt im Tidegebiet vor allem auch die langfristigen Konzepte, mit denen die Auswirkungen bisheriger Maßnahmen für den Ausbau und den Küstenschutz partiell ausgeglichen werden sollen. Hierzu werden mittel- bis langfristige Wirkungsprognosen erstellt.



## **Strombaustrategien im Binnenbereich**

Ziel ist es, das Regelungssystem von frei fließenden Wasserstraßen im Binnenbereich in seinem Zusammenspiel mit Geschiebemanagementmaßnahmen und unter Berücksichtigung der Anforderungen, die sich aus der Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie bzw. der ökologischen Zielsetzungen des Bundes und der Länder ergeben, zu optimieren. Die Untersuchung der hydraulischen und morphologischen Auswirkungen ökologischer Flussbaumaßnahmen, wie z. B. naturnahe Nebengerinne und alternative Ufersicherungen, sollen zu Empfehlungen für eine integrierte Optimierung bei Ausbau- und Unterhaltung der Binnenwasserstraßen führen.

## **Optimierung des Sedimentmanagements**

Für die revierverantwortlichen Stellen werden Handlungsanweisungen für das Sedimentmanagement unter Berücksichtigung verschiedener hydrologischer Situationen erarbeitet. Vor allem vor dem Hintergrund einer zunehmenden Regulierung durch nationales und europäisches Umweltrecht werden einfache und fachlich transparente Entscheidungsgrundlagen benötigt. Für kritische Abwägungen muss die Sedimentausbreitung für beabsichtigte Baggeraktivitäten prognostiziert und die beabsichtigte Vorgehensweise aufwändig optimiert werden.

In staugeregelten Flussabschnitten, ausgedehnten Schlickstrecken der Seeschiffahrtsstraßen, Stillwasserzonen und Hafenbecken kommt es zu Sedimentablagerungen, die durch periodische Baggerungen entfernt werden müssen. Hierbei handelt es sich um sehr feinkörnige Sedimente, die aufgrund von Kohäsions- und Konsolidationsvorgängen eine besondere Charakteristik aufweisen. Um die Baggerstrategien für Feinsedimente zu optimieren, ist es erforderlich, die Morphodynamik kohäsiver Sedimente auf der Grundlage von mehrdimensionalen numerischen Simulationsmodellen und Naturmessungen zu untersuchen.

Eine Optimierung von Geschiebemanagement und Regelungssystem an frei fließenden Abschnitten der Binnenwasserstraßen erfordert vertiefte Kenntnisse der Geschiebetransportprozesse in ihrer Wechselwirkung mit Managementstrategien. Hierfür sind die Entwicklungen praxisnaher Prognosemethoden zur Bestimmung aktueller Geschiebetransportmengen und zur Identifikation optimaler Bagger- bzw. Zugabezeitpunkte und -stellen notwendig.

## **Morphologische Modelle für Wasserstraßen**

Die Entwicklung von optimierten Strategien erfordert die Verfügbarkeit prognosefähiger morphodynamischer Modelle. Die Komplexität der Prozesse ist bis heute in mathematischen Berechnungsverfahren nur unzureichend abgebildet. Einerseits ist das Verständnis der grundlegenden Transportprozesse noch lückenhaft, andererseits entziehen sich die Prozesse einer einfachen deterministischen Beschreibung. Die gezielte Weiterentwicklung der mathematischen Berechnungsverfahren erfordert ein verbessertes Verständnis der Transportprozesse, neue Ansätze zur Beschreibung des Transportes sowie eine detaillierte hydro-



dynamische Berechnung des dreidimensionalen turbulenten Strömungsfeldes. Die Sicherheit der mit den Verfahren erzielten Ergebnisse ist zu quantifizieren.

### **3.4.3 Umweltbezogene Fragestellungen**

Wasserstraßen und Verkehrswasserbauwerke sind Teile der Umwelt. Ihre Herstellung und ihr Betrieb haben daher auch ökologischen Anforderungen zu genügen. Ökologische Aspekte sind beim Eingriff in das Grundwasser, bei der Konstruktion des Bauwerks und bei den verwendeten Baumaterialien zu berücksichtigen. Im Bereich der umweltbezogenen Fragestellungen erfolgt eine enge Abstimmung mit der BfG. So werden Referenzstrecken zu alternativen technisch-biologischen Ufersicherungen in einem gemeinsamen BAW/BfG Vorhaben untersucht, das Thema Durchgängigkeit der Bundeswasserstraßen wird gemeinschaftlich bearbeitet und im Bereich der stofflichen Auswirkungen auf den Gewässerzustand findet ebenfalls eine enge Abstimmung statt. Zur Fischdurchgängigkeit wurde bereits ein separater Antrag von BAW und BfG beim BMVBS eingereicht.

#### **Alternative technisch-biologische Ufersicherungen**

Bemessungsregeln für technisch-biologische Ufersicherungen an Wasserstraßen existieren derzeit nicht; sie sind jedoch erforderlich, um die Anwendbarkeit entsprechender Maßnahmen prüfen und diese ggf. dimensionieren zu können. Gezielte Untersuchungen zum Einfluss der Vegetation auf die Bodeneigenschaften und die Uferstabilität sind besonders hinsichtlich der Wechselwirkung Wurzel - Boden in verschiedenen Labor- und Modellversuchen erforderlich. Dafür stehen in der BAW Versuchseinrichtungen zur Verfügung, mit denen die relevanten Belastungsgrößen Wellen, Absenk und Strömungen infolge Schifffahrt simuliert und Untersuchungen zur Widerstandsfähigkeit des Systems Vegetation/Boden durchgeführt werden können. Die Labor- und Modellversuche sind durch in Situ-Untersuchungen an bestehenden Referenzstrecken und an noch herzustellenden Probestrecken zu ergänzen. Ziel ist die Erarbeitung der Dimensionierungsgrundlagen für technisch-biologische Ufersicherungen an Bundeswasserstraßen.

#### **Fischdurchgängigkeit an Wasserstraßen**

Die Wasserrahmenrichtlinie fordert auch an staugeregelten Wasserstraßen eine Verbesserung der ökologischen Durchgängigkeit. Um Fischen das Überwinden von Staustufen zu ermöglichen, sind spezielle Einrichtungen erforderlich. Dabei sind der Fischaufstieg und der Fischabstieg zwei völlig verschiedene Vorgänge und bedürfen deshalb auch unterschiedlicher richtungsgebundener Anlagen. Im Rahmen des Vorhabens soll der Prototyp eines sog. technischen Fischaufstiegs und eines Umgehungsgerinnes entwickelt und hinsichtlich Auffindbarkeit und Passierbarkeit für die Zielfischarten optimiert werden. Neben der Erarbeitung von Gestaltungs- und Betriebsgrundsätzen wird ein numerisches Verfahren entwickelt, um





die Fischaufstiegsanlage an die jeweiligen lokalen Randbedingungen einer Staustufe anpassen zu können.

### **Stoffliche Auswirkung von Wasserbauwerken auf Boden und Grundwasser**

Bei der Herstellung oder Instandsetzung von Wasserbauwerken treten Wechselwirkungen der verwendeten Baustoffe mit Boden, Wasser und Grundwasser auf (Auslaugungen, Stoffeintrag). Der Schutz von Lebewesen und Natur erfordert die Unbedenklichkeit der eingesetzten Baustoffe und -verfahren. Nach einer Analyse relevanter Szenarien und Baustoffe sollen Gefährdungen ermittelt sowie Handlungsanweisungen und Alternativen erarbeitet werden. Laboruntersuchungen sind vorzunehmen.

### **Baubedingte Beeinflussung der Interaktion zwischen Oberflächengewässern und Grundwasser**

Durch Unterhaltungs-, Ausbau- und Renaturierungsmaßnahmen an Wasserstraßen können sowohl die geohydraulischen Wechselwirkungen zwischen Oberflächengewässer und Grundwasser als auch der Stoffhaushalt der beeinflussten aquatischen und terrestrischen Ökosysteme maßgeblich beeinflusst werden. Ziel ist es, die Prozesse, die die Interaktion zwischen Oberflächengewässer und Grundwasser steuern, schrittweise zu identifizieren und zu parametrisieren, um die baubedingten Eingriffe in den Wasserhaushalt der betroffenen Ökosysteme belastbar prognostizieren zu können. Ein Schwerpunkt bei den Untersuchungen bilden dabei die natürlichen Kolmationsprozesse, da wasserbauliche Maßnahmen im Einzugsbereich Uferfiltrat nutzender Wasserfassungen ein besonderes wasserwirtschaftliches Konfliktpotenzial aufweisen. Daher sollen die dafür notwendigen Felduntersuchungen in bereits laufende, quantitative und qualitative Beweissicherungen des Grundwassers integriert werden.

## **4 Umsetzungsstrategie**

### **4.1 Zeitplan und Ressourcenbedarf**

Das vorliegende Forschungsprogramm bildet den strategischen Rahmen für die Planung und Durchführung von FuE-Vorhaben in den Jahren von 2010 bis 2020. Dies schließt nicht aus, dass es sinnvoll und notwendig sein kann, einzelne Themen zu modifizieren oder auszubauen.

Die für die Umsetzung des Konzeptes beantragten Haushaltsmittel sollen ab dem Jahr 2010 bereitstehen. Die veranschlagten Haushaltsmittel decken dabei den erforderlichen Gesamtbedarf nicht vollständig ab. Die BAW wird daneben durch einen Eigenbetrag aus dem vorhandenen Haushalt und der zusätzlichen Einwerbung von Drittmitteln die Gesamtfinanzierung sicherstellen. Ohne die Bereitstellung ergänzender Haushaltsmittel durch das BMVBS ist aber eine Umsetzung des vorliegenden Forschungsprogrammes unmöglich.



Die in der nachfolgenden Übersicht dargestellten Personal- und Sachmittel stellen den Ergänzungsbedarf für die Bearbeitung der im Kapitel 3 dargestellten Forschungsthemen dar. Nur durch die Bereitstellung dieser zusätzlichen Ressourcen kann der derzeitige Forschungsanteil von rund 7 % auf künftig 15 % angehoben werden. Die ergänzenden Mittel dienen im Wesentlichen zur Finanzierung von befristet beschäftigtem wissenschaftlichen Personal sowie zur Vergabe von Aufträgen an Forschungseinrichtungen im Rahmen von gemeinsamen Projektbearbeitungen.

Der gegenwärtige Anteil der Forschungsausgaben für die Bundeswasserstraßen (BAW und BfG) liegt unter 0,1 % der jährlichen Gesamtausgaben für Bau, Betrieb und Unterhaltung der Bundeswasserstraßen. Für die Vorhaltung eines leistungsfähigen, sicheren und umweltfreundlichen Verkehrssystems Schiff/Wasserstraße ist aus Sicht der BAW ein deutlich höheres Forschungsbudget im Haushalt der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes unumgänglich.



Ergänzungsbedarf in € (Aufteilung nach Themenbereichen)											
Themenbereich	Jahr										Gesamt
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
Innovative Technologien	50.000	50.000	250.000	250.000	300.000	300.000	300.000	300.000	100.000	100.000	2.000.000
Mobilität	150.000	150.000	250.000	250.000	350.000	350.000	350.000	350.000	400.000	400.000	3.000.000
Sicherheit	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	1.200.000
Nachhaltigkeit	180.000	180.000	380.000	380.000	480.000	480.000	480.000	480.000	380.000	380.000	3.800.000
<b>Gesamt</b>	500.000	500.000	1.000.000	1.000.000	1.250.000	1.250.000	1.250.000	1.250.000	1.000.000	1.000.000	10.000.000

Ergänzungsbedarf in € (Aufteilung nach Personal- und Sachaufwand)											
	Jahr										Gesamt
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
Personalkosten	300.000	300.000	600.000	600.000	750.000	750.000	750.000	750.000	600.000	600.000	6.000.000
Sachkosten	200.000	200.000	400.000	400.000	500.000	500.000	500.000	500.000	400.000	400.000	4.000.000
<b>Gesamt</b>	500.000	500.000	1.000.000	1.000.000	1.250.000	1.250.000	1.250.000	1.250.000	1.000.000	1.000.000	10.000.000



## 4.2 Priorisierung

Die Priorisierung der Forschungsthemen wird die BAW gemeinsam mit dem BMVBS, der WSV und dem wissenschaftlichen Beirat der BAW insbesondere auf Basis folgender Kriterien erarbeiten:

- Sicherheit und Verfügbarkeit des Wasserstraßennetzes
- Politische Bedeutung
- Wissenschaftliche Aktualität
- Betroffenheit der Öffentlichkeit
- Ressourcensituation
- Verfügbare Partner.

Im Laufe der Bearbeitungszeit von 10 Jahren ist die Priorisierung regelmäßig zu überprüfen und ggf. fortzuschreiben.

Aus Sicht der BAW haben derzeit folgende Themen – Auflistung ohne Priorisierung - eine besonders hohe Bedeutung:

- Sicherheit bestehender Verkehrswasserbauwerke
- Instandsetzung unter Betrieb
- Standardisierung von Verkehrswasserbauwerken
- Erhaltungsfreundliche Bauwerke
- Anpassung von Bauwerken an geänderte Nutzungsbedingungen
- Alternative technisch-biologische Ufersicherungen
- Dränagen und Filter zur Sicherung von Bauwerken
- Datenbank für boden- und felsmechanische Laborversuche
- Morphologische Modelle für Wasserstraßen
- Optimierung des Sedimentmanagements
- Strombaustrategien im Küsten- und Binnenbereich
- Verbesserung fahrdynamischer Modellverfahren
- Standardisierung der Messnetze, Übertragungs- und Archivierungssysteme.



### **4.3 Qualitätssicherung**

#### **Begleitung in der Praxis**

Die BAW kann über ihre gutachtliche Beratung für die WSV auf breiter Basis Erkenntnisse zur Tauglichkeit neuer Ansätze und Entwicklungen gewinnen, beispielsweise im Rahmen von Monitoringprogrammen und Erfolgskontrollen.

#### **Forschung als Leitungsaufgabe**

Zur Koordinierung und Überwachung der FuE-Vorhaben hat die BAW einen Beauftragten für Forschung benannt, dem die interne Koordinierung der Vorhaben, der zur Verfügung stehenden Haushaltsmittel und die Abstimmung mit dem BMVBS obliegen.

#### **Steuerungsinstrumente**

Die Steuerung der FuE-Vorhaben erfolgt gemäß der BAW-internen „Richtlinie zum Management von FuE-Vorhaben“, die den formalen Ablauf sowie die fachlichen und organisatorischen Verantwortlichkeiten innerhalb eines FuE-Vorhabens festlegt. Die Nachverfolgung von Projektstand und Ergebnissen wird über eine kontinuierliche Dokumentation der Vorhaben im Forschungskompodium und umfassendes Dokumentationsmanagement gewährleistet.

#### **Kooperation**

Durch den Ausbau von Kooperationen bei der Durchführung von FuE-Vorhaben werden die Prozesse und Ergebnisse einer noch stärkeren Verifizierung unterworfen.

#### **Wissenschaftlicher Beirat**

Die BAW ist sich mit dem Wissenschaftsrat einig, dass die Einrichtung eines wissenschaftlichen Beirats ein wichtiger Beitrag zur Stärkung der Planungs- und Evaluierungsprozesse im Rahmen ihrer FuE-Aufgaben ist. Der Wissenschaftliche Beirat wird sich aus externen Vertretern der unterschiedlichen, in der BAW vertretenen wissenschaftlichen Fachrichtungen sowie Vertretern von BMVBS, WSV und den beiden anderen wissenschaftlichen Oberbehörden aus dem Geschäftsbereich des BMVBS, BfG und BSH, zusammen setzen.

### **4.4 Wissensmanagement und Wissenstransfer**

#### **Ausbildung von wissenschaftlichem Nachwuchs**

Eines der wesentlichen Elemente im Rahmen der Umsetzung des Forschungsprogrammes ist die Qualifizierung von Nachwuchswissenschaftler. Die für die Umsetzung des Konzeptes beantragten Haushaltsmittel sollen schwerpunktmäßig für die Beschäftigung von Doktoranden eingesetzt. Damit wird ein wesentlicher Beitrag zur Kooperation mit Universitäten und der Attraktivitätssteigerung der wissenschaftlichen Forschung in Deutschland geleistet.



Bereits heute betreut die BAW regelmäßig Diplomanden von Universitäten, Fachhochschulen und von Berufsakademien. Für FH-Studenten besteht die Möglichkeit, ihr erstes und zweites Praxissemester bei der BAW abzuleisten. Die Themen ergeben sich aus aktuellen Projekten, die im Rahmen einer Diplomarbeit in der BAW vertieft untersucht werden. Durch die Verwirklichung des Forschungsprogramms werden zusätzliche Themenangebote geschaffen. Die BAW bietet damit in Zukunft ein attraktives Angebot sowohl für praxisorientierte als auch für wissenschaftlich ausgerichtete Nachwuchskräfte.

Durch die Wahrnehmung von insgesamt 11 Lehraufträgen an Universitäten und Hochschulen leistet die BAW bereits heute einen wichtigen Beitrag bei der Ausbildung und Förderung von wissenschaftlichem Nachwuchs.

Außerdem werden regelmäßig zwischen 50 und 60 Studentinnen und Studenten als wissenschaftliche Hilfskräfte in den Fachabteilungen der BAW beschäftigt. Damit bietet die BAW Nachwuchswissenschaftlicher einen optimalen Rahmen für den Praxistransfer während des Studiums. Durch die Einrichtung Bachelor- und Masterstudiengängen wird dieses Angebot weiter an Bedeutung gewinnen.

### **Wissenschaftliche Veranstaltungen**

Die derzeitigen Veranstaltungsformate der BAW genießen eine hohe Akzeptanz in der Fachöffentlichkeit. Die jährlich stattfindenden 15 Kolloquien, Aussprachetage und Workshops werden regelmäßig von insgesamt rund 1.500 Teilnehmern besucht. Diese Plattform wird die BAW nutzen, um regelmäßig und zeitnah über Verlauf und Ergebnisse der Forschungsvorhaben zu informieren. Die BAW wird künftig verstärkt die Durchführung von wissenschaftlichen Konferenzen im Verkehrswasserbau in Deutschland unterstützen.



## **Publikationen und Veröffentlichungen**

Die Ergebnisse der FuE-Vorhaben werden im jährlich erscheinenden Forschungskompodium veröffentlicht. Dieses wird über das Intranet allen WSV-Behörden verfügbar gemacht. Das Forschungskompodium wird auch dem BMVBS vorgelegt. Ferner legt die BAW dem BMVBS jährlich ein Programmbudget vor, das alle wesentlichen Kenndaten (Inhalte, Dauer, Kosten) zu den laufenden Forschungsvorhaben enthält.

Darüber hinaus stellen die Beschäftigten der BAW die Ergebnisse ihrer Arbeiten in wissenschaftlichen Fachzeitschriften und bei wissenschaftlichen Konferenzen der Scientific Community zur Diskussion.

## **Bereitstellung von Wissen, Methoden und Infrastruktur**

Fester Bestandteil im Rahmen der Aufgabenerfüllung der BAW ist die Bereitstellung von Arbeitsergebnissen an die WSV und die wissenschaftliche Gemeinschaft. Mit der Verkehrswasserbaulichen Zentralbibliothek (VZB) verfügt die BAW über einen leistungsfähigen Fachliteratur-Dienstleister für das gesamte Wissensspektrum des Verkehrswasserbaus. Die BAW sieht es als ihre Aufgabe, die VZB konsequent als zentralen Wissensdienstleister für den Verkehrswasserbau in Deutschland weiter zu entwickeln.

Als größte Wasserstraßenverwaltung der gesamten EU nimmt die WSV bei der technologischen Weiterentwicklung des Verkehrsträgers Wasserstraße eine herausragende Position ein. Mit der Veröffentlichung ihres Wissensbestandes fördert sie deshalb nicht nur die eigene Entwicklung in Deutschland, sondern ermöglicht auch den europäischen Partnern, von dieser Entwicklung zu profitieren.

Vor dem Hintergrund dieser Entwicklung hat die BAW ein detailliertes Konzept zur Neuausrichtung der VZB entwickelt und in wesentlichen Bausteinen bereits umgesetzt. Der Digitalisierung und anschließenden Publikation der in der VZB vorhandenen Bestände sowie der Vernetzung mit relevanten Partnern kommt dabei eine besondere Bedeutung zu.

Die BAW ist das „Elefantengedächtnis“ der WSV. Basis sind die in den letzten 60 Jahren entstandenen Gutachten. Daneben hat die BAW viele tausend fachwissenschaftliche Beiträge in unterschiedlichsten Zusammenhängen erarbeitet. Die Gesamtheit dieser Bestände bildet einen Wissensspeicher von unschätzbarem Wert sowohl für die unmittelbaren baulichen Aufgaben an den Wasserstraßen als auch für die Gewinnung wissenschaftlicher Erkenntnisse. Wie bei allen großen dokumentierten Wissensbeständen wird dessen praktischer Wert entscheidet durch die Möglichkeiten einer effizienten Erschließung dieses Wissens bestimmt. Die BAW hat mit dem Elektronischen Wissensarchiv (EWisA) ein modernes und vielseitiges Wissensmanagement-Tool entwickelt.

Die BAW sieht daneben künftig auch die Notwendigkeit zur nachvollziehbaren Vorhaltung von Forschungsergebnissen auf der Ebene von verifizierbaren Daten. Mit der Beteiligung am dauerhaften Betrieb von NOKIS++ hat die BAW bereits einen wichtigen Beitrag zur Schaffung der erforderlichen Basis geleistet.



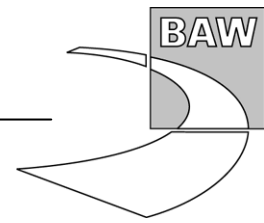
Die BAW verfügt nach Feststellung durch den Wissenschaftsrat über eine exzellente Ausstattung, was die eingesetzten Verfahren, Methoden und technische Infrastruktur betrifft. Die BAW wird diese im Rahmen von Kooperationen verstärkt Partnern aus Wissenschaft und Forschung zur Verfügung stellen.











MinDir. R. Klingen, Abteilungsleiter Wasserstraßen, Schifffahrt,  
Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn

### **Verkehrswasserbauliche Forschung aus der Sicht des BMVBS**

Politik braucht wissenschaftliche Beratung. Erkenntnisse über Anwendung und Wirkung moderner Technologien, über Mobilität und Stadtentwicklung, über Umwelt, Energie und Klimaschutz, über veränderte Arbeits- und Lebensbedingungen wie auch über die Herausforderungen der globalisierten Ökonomie sind im Sinne eines auf Vorsorge und Sicherheit gerichteten staatlichen Gemeinwesens unverzichtbar.

Die Zahl und Komplexität der Felder, in denen ein Bedarf an wissenschaftsbasierter Politikberatung besteht, erhöht sich ständig, bedingt durch gesellschaftlichen Wandel und fortschreitende Globalisierung. Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten des Bundes, die der Vorbereitung, Unterstützung oder Umsetzung politischer Entscheidungen dienen und untrennbar mit der Wahrnehmung öffentlicher Aufgaben verbunden sind, sind als „Ressortforschung“ definiert.

Ressortforschung greift aktuelle gesellschaftliche, technische, technologische und wirtschaftliche Fragestellungen auf, erkennt wichtige Herausforderungen für die Gesellschaft von morgen und erarbeitet Handlungsoptionen für staatliche Maßnahmen und Vorhaben.

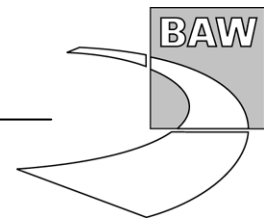
Ressortforschung des Bundes und die Feststellung des Ressortforschungsbedarfs fallen in den Zuständigkeitsbereich und die Verantwortung der einzelnen Ressorts (Ressortprinzip), d.h. der jeweiligen Bundesministerien.

An der Schnittstelle von Wissenschaft und Politik ist Ressortforschung gegenüber rein universitärer Forschung durch Besonderheiten gekennzeichnet:

- sie ist problemorientiert und praxisnah;
- sie ist auf Grund der Problemorientierung interdisziplinär ausgelegt;
- sie bindet Nutzer und Anwender des Wissens ein;
- sie verbindet kurzfristig abrufbare wissenschaftliche Kompetenz mit der Fähigkeit, langfristig angelegte Fragestellungen kontinuierlich und forschungsbasiert bearbeiten zu können.

Gesetze, die eine langfristig angelegte Ressortforschung erfordern, wie das Bundeswasserstraßengesetz oder das Bundesfernstraßengesetz, regeln die Bereitstellung technischer Infrastruktur zur Unterstützung der Wirtschaft und der Bürger. Die hierfür zuständigen Bundesanstalten erfüllen Aufgaben zwischen Forschung, Beratung und Vollzug. Hierfür müssen die Einrichtungen auf dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik sein.

In der kurzfristig abrufbaren wissenschaftlichen Kompetenz wie auch in der Fähigkeit, langfristig angelegte Fragestellungen kontinuierlich bearbeiten zu können, liegen die besonderen Stärken der Ressortforschungseinrichtungen. So sind sie z. B. in der Lage, Daten in langen Zeitreihen zu erheben und damit gezielt Wissen aus Erfahrungen längerfristig vorzuhalten und den Nutzern zur Verfügung zu stellen.



Ressortforschung ist in das Aufgabenspektrum des jeweiligen Ressorts eingebunden und dadurch thematisch vorbestimmt. Die Wissenschaftler sind in der Wahl der Methoden frei und in der Interpretation der Ergebnisse unabhängig.

Von insgesamt 45 Ressortforschungseinrichtungen des Bundes befinden sich die folgenden 6 im Zuständigkeitsbereich des BMVBS, davon 3 in der Fachaufsicht der Abteilung Wasserstraßen, Schifffahrt:

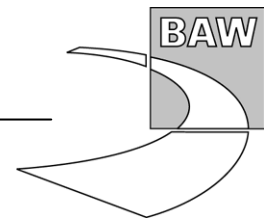
- Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)
- Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)
- Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)
- Deutscher Wetterdienst (DWD)
- Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)
- Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)

Zur verkehrswasserbaulichen Forschung der Bundesanstalt für Wasserbau, die Thema dieses Kolloquiums ist, kam der Wissenschaftsrat nach seiner Evaluierung im Jahr 2008 zu nachstehenden grundsätzlichen Einschätzungen:

- Die Arbeit der BAW konzentriert sich auf wissenschaftsbasierte Dienstleistungen für die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) des Bundes, die sie zur vollen Zufriedenheit ihrer Auftraggeber erbringt. Das Arbeitsfeld der BAW wird in diesem Umfang, diesem Detaillierungsgrad und dieser Praxisbezogenheit von keiner anderen Einrichtung in der Bundesrepublik Deutschland bearbeitet. Die wissenschaftlichen und technologischen Kenntnisse der BAW auf dem Gebiet des Wasserbaus werden national und teilweise auch international anerkannt und nachgefragt.
- Um die speziellen, zum Teil sehr komplexen Anforderungen der WSV erfüllen zu können, betreibt die BAW anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung. Sie erbringt auf diesem Gebiet beachtliche Leistungen, die unmittelbar in die Beratung der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes eingehen und in die Praxis umgesetzt werden. Die anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung zeichnet sich in den Kernbereichen durch Aktualität sowie teilweise durch ein hohes wissenschaftliches Niveau aus. Insbesondere für ihre wasserbaulichen Simulations- und Modellierungsarbeiten genießt die BAW ein Ansehen in der Fachwelt, das über die nationalen Grenzen hinausgeht.

Die folgenden Empfehlungen des Wissenschaftsrates werden seitens des BMVBS weitestgehend geteilt und ausdrücklich unterstützt:

- Verstärkung der FuE-Leistungen in Richtung Vorlaufforschung
- Entwicklung einer Forschungsstrategie sowie eines mittel- bis langfristiges Forschungsprogramm mit Schwerpunkten und Querschnittsthemen
- Erhöhung des FuE-Anteils am gesamten Arbeitsaufkommen der BAW auf mindestens 15 %



- Einrichtung eines wissenschaftlichen Beirates zur Beratung der Leitung in wissenschaftlichen Angelegenheiten und für die Qualitätssicherung der FuE-Arbeiten
- Verstärkte Einwerbung von Drittmitteln für FuE-Projekte im Wettbewerb
- Bessere Kooperation der Ressortforschungseinrichtungen im Geschäftsbereich des BMVBS untereinander über die Bearbeitung gemeinsamer Querschnittsthemen
- Ausbau des vorhandenen Netzwerkes an Kooperationsbeziehungen und der Zusammenarbeit mit Hochschulen für gemeinsame Forschung und Entwicklung

Ressortforschung der BAW leitet sich vor allem aus den verkehrspolitischen Zielstellungen des BMVBS für den Bereich Schifffahrt und Wasserstraßen und den daraus resultierenden Aufgabenstellungen für die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes ab.

Die zentralen Herausforderungen zur Stärkung des Systems Schifffahrt / Häfen / Wasserstraßen liegen in den Feldern Wettbewerbsfähigkeit, Infrastruktur, Umweltschutz und Sicherheit. Im Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und FDP für die 17. Legislaturperiode sind hierzu insbesondere folgende Ziele aufgeführt:

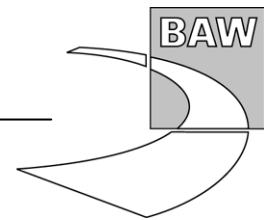
- Sicherstellung von Investitionen in die Verkehrsinfrastruktur auf hohem Niveau für Straße, Schiene und Wasserstraße
- Erhalt vor Neubau (Beendigung Substanzverlust)
- Fortsetzung der zuletzt verstärkten Berücksichtigung der Bundeswasserstraßen bei der Verteilung von Investitionsmitteln
- Sicherstellung der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Seehäfen durch eine zügige Optimierung der seewärtigen Zufahrten und Realisierung notwendiger Fahrrinnenanpassungen
- Wiederherstellung der Durchgängigkeit der Flüsse für wandernde Fische
- Reaktivierung von Auen für den Natur- und Hochwasserschutz

Der Anteil der FuE-Ausgaben für die Bundeswasserstraßen liegt gegenwärtig unter 0,1 % der jährlichen Gesamtausgaben für Bau, Betrieb und Unterhaltung der Bundeswasserstraßen. Diese Situation ist nicht zufriedenstellend.

Laut Koalitionsvertrag sollen die Ausgaben des Bundes für Bildung und Forschung bis 2013 um insgesamt 12 Mrd. Euro erhöht werden. In diesem Zusammenhang werden wir uns in den Haushaltsverhandlungen für das Jahr 2011 dafür einsetzen, für die Vorhaltung eines leistungsfähigen, sicheren und umweltfreundlichen Verkehrssystems Schiff/Wasserstraße ein unbedingt erforderliches höheres Forschungsbudget im Haushalt der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung zu verankern.

Nach derzeitigem Planungsstand geht das BMVBS von einem Haushaltsmittelbedarf für FuE für das Jahr 2011 in Höhe von ca. 200 Mio Euro aus. Darin ist die Forschungsinitiative für die Bundeswasserstraßen mit den Teilkomplexen

- Verkehrswasserbau
- Gewässerkunde/Wasserstraßen und Umwelt



- Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt – Entwicklung von Anpassungsoptionen (Projekt KLIWAS)
- Ökologische Durchgängigkeit von Bundeswasserstraßen
- Wasserwirtschaftliche Unterhaltung der Bundeswasserstraßen

mit vorgesehenen Haushaltsmitteln in Höhe von etwa 16 Mio Euro an zweiter Stelle hinter dem Nationalen Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennzellentechnologie / Elektromobilität mit 140 Mio Euro priorisiert.

Die heutige Veranstaltung dient dazu, einige Themen des mit dem BMVBS und der WSV abgestimmten BAW-Forschungsprogrammes Verkehrswasserbau für den Bereich der Binnenwasserstraßen vorzustellen. Für den Küstenbereich ist ebenfalls ein Kolloquium geplant.

Zu folgenden Arbeitsschwerpunkten des BMVBS in den nächsten Jahren erwarten wir insbesondere die fachlich qualifizierte Beratung und Forschung der BAW:

#### Zukunftsfähige Gestaltung der Wasserstraßeninfrastruktur

Forschungsbedarf besteht insbesondere zu folgenden Themen

- Instandsetzung von Wasserbauwerken
- alternative Bauweisen
- Sicherheitsnachweise für bestehende Bauwerke
- Substanzerhalt und Verlängerung der Nutzungsdauer
- Systemuntersuchungen Schiff / Wasserstraße (Fahrodynamik, Verkehrslenkung, optimale Ausnutzung des Fahrwassers)
- Weiterentwicklung der Verfahren und Methoden zur Sicherheitsbewertung von Erdbauwerken, Gründungen und Stützbauwerken

#### Wasserstraßeninfrastruktur umweltverträglich und klimasicher gestalten

Hier ist Forschung notwendig zu

- Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt (u. a. Regelungspotenziale für Niedrigwasserverhältnisse; Untersuchungen zu Fahrwasserbreiten)
- alternativen technisch-biologischen Ufersicherungen
- Wirkungszusammenhängen zwischen wasserwirtschaftlicher Unterhaltung und verkehrsbezogenen Belangen (Handlungsbedarf für die Erstellung und Umsetzung angepasster Unterhaltungskonzeptionen aufgrund neuer Anforderungen an die WSV hinsichtlich der um wasserwirtschaftliche Aspekte erweiterten Unterhaltung der Bundeswasserstraßen)

Mit dem neuen Forschungsprogramm und den darin aufgezeigten mittel- und langfristigen Forschungsfeldern hat die BAW die richtigen Schritte zur Unterstützung der Aufgabenerfüllung des BMVBS und der WSV in die Wege geleitet.

Dr. C. Thorenz, BAW Karlsruhe

## **Dreidimensionale Strömungsmodelle zur Simulation von Schleusungsprozessen**

### **Einleitung**

Numerische Strömungsmodelle haben in den letzten Jahren erhebliche Fortschritte erzielt. Insbesondere die stetig steigenden zur Verfügung stehenden Rechenleistungen ermöglichen die Verwendung immer aufwändigerer numerischer Verfahren, was sich nicht zuletzt am zunehmenden Einsatz mehrdimensionaler Modelle zeigt.

### **Numerische Simulation des Strömungsfeldes**

Um eine vollständige dreidimensionale Simulation des Strömungsfeldes in einer Schleuse durchzuführen, sind erhebliche Rechenressourcen erforderlich. Hierbei ist zu beachten, dass der Aufwand direkt mit der Komplexität des Füllsystems verbunden ist. Während für eine Schleuse mit einer einfachen Vorkopffüllung nur wenige Geometrielemente das Fließsystem bestimmen, sind für eine Schleuse mit Grundlaufsystem eine Vielzahl von geometrischen Objekten unterschiedlicher Größe zu betrachten. Dies reicht von großskaligen Körpern wie Sparbecken oder Füllkanälen bis hin zu den hunderten Fülldüsen, die die Druckkammer mit der Schleusenkammer verbinden (s. Bild 1).



*Bild 1: Herstellen der Druckkammerdecke/Schleusenkammersohle der Schleuse Sülfeld mit der bereits eingebauten verlorenen Schalung für die Fülldüsen.*

Eine vollständige Abbildung einer derartigen Geometrie in einem dreidimensionalen Modell und die Vernetzung des Strömungsgebietes mit hinreichender Qualität ist beim derzeitigen Stand der Rechentechnik noch nicht handhabbar. Daher wird üblicherweise ein hybrider Ansatz gewählt, bei dem nur Teile der Geometrie dreidimensional abgebildet werden. Dies sind zum Beispiel Umlenkungen oder die o. g. Fülldüsen, für die dann äquivalente Verlustbeiwerte ermittelt werden. Auf dieser Basis kann dann ein eindimensionales Netzwerkmodell des Füllsystems erstellt werden, das dann für die Untersuchung der Füllzeiten etc. verwendet wird (s. Bild 2).



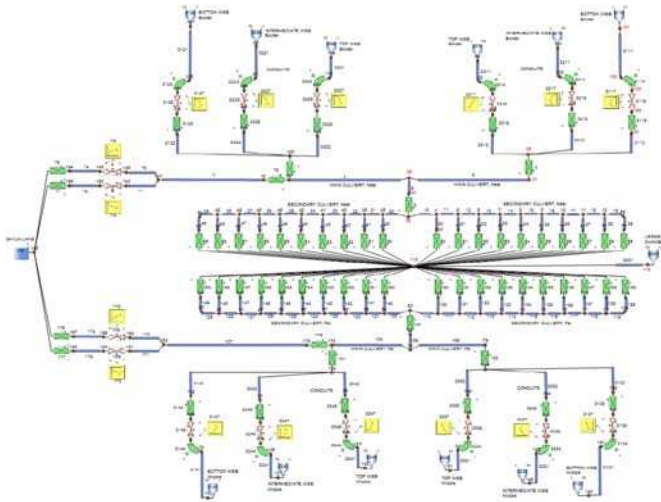


Bild 2: Beispielhaftes Netzwerkmodell für das hydraulische System einer Sparschleuse

### Numerische Simulation bewegter Körper

Da das System „Schleuse“ nicht nur ein stationärer, unveränderlicher Körper ist, sondern aus einer Vielzahl beweglicher Teile aufgebaut ist (Schütze, Schiff, ...) wäre es wünschenswert auch diese bewegten Komponenten im dreidimensionalen Modell abzubilden. Dies ist innerhalb vereinfachter Modelle wie dem o. g. Netzwerkmodell leicht möglich, da beispielsweise der Hub eines Schützes nicht direkt, sondern in parametrisierter Form über Verlustbeiwerte abgebildet werden kann. In einem dreidimensionalen Modell ist es jedoch erforderlich tatsächlich die Geometrie entsprechend der Bewegung zu verändern und das Berechnungsgitter entsprechend anzupassen. Dies stellt sowohl für die Modellierungssysteme als auch für den Modellierer eine erhebliche Komplexität dar, die mit den derzeit verfügbaren Werkzeugen nur für einfache Fragestellungen (beispielsweise das Heben eines Hubtores, s. Bild 3) handhabbar ist.

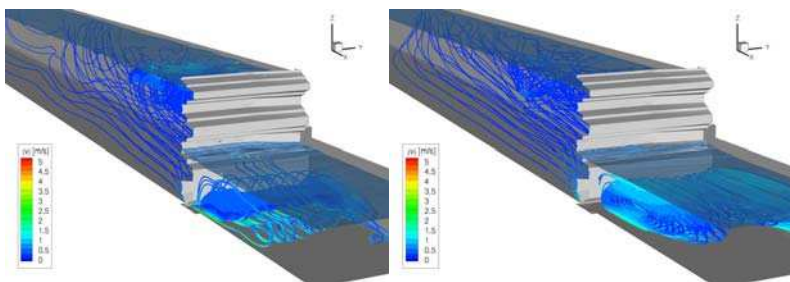
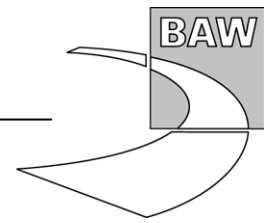


Bild 3: Öffnen eines Hubtores in Faltwerktechnik

Ein zusätzlicher Komplexitätsgrad entsteht, wenn die Bewegung der Körper nicht zwangsgelöhrt ist wie das Öffnen eines Schützes, sondern sich frei im Wechselspiel mit der Strömung einstellt (schwimmender Körper). Zudem kann auch eine zusätzliche Wechselwirkung mit Befestigungseinrichtungen vorhanden sein wie bei einem Schiff in einer Schleusenammer. Zwar lässt sich das Schwimmen eines Schiffes im Ozean mittlerweile durchaus simulieren, jedoch ist die Simulation eines Schleusungsvorganges wesentlich komplizierter. Hier steht rund um das Schiff nur sehr wenig Platz zur Verfügung und die Bewegungen des Schiffes sind im Verhältnis dazu sehr groß. Dies führt zu erheblichen Problemen in der Behandlung der zu verformenden Berechnungsgitter, die bisher nur mit erheblichem, für das Tagesgeschäft nicht akzeptablem, Aufwand beherrschbar sind. Daher sind physikalische Modelle nach wie vor als die bessere Wahl zur Simulation des Schleusungsvorganges in seiner Gänze anzusehen.



U. Gabrys, BAW Karlsruhe

## **In-situ-Messungen an Roll- und Gleitschützen**

### **1 Einführung und Problemdarstellung**

In den letzten 50 Jahren wurden Rollschütze sehr häufig in Schiffsschleusen zum Füllen und Entleeren der Schleusenammern eingesetzt. Die Schütze sind i.d.R. mit Hauptlaufrollen, Gegen- und Seitenführungsrollen ausgerüstet. Diese Vielzahl von Führungselementen und ihre Feingliedrigkeit haben sich im rauen Betrieb als nicht ausreichend robust herausgestellt. Es bestehen daher Bestrebungen Rollschütze durch Gleitschütze zu ersetzen. Die Erneuerung der Bremer Weserschleuse vor fünfzehn Jahren wurde dazu genutzt, an den Umläufen des Unterhauptes auf der einen Seite ein Rollschütz und auf der anderen Seite ein Gleitschütz einzubauen /1/.

Mit dem Ersatz der Rollen durch geeignete Bauteile wird der Unterhaltungsaufwand reduziert. Inspektionsfristen können verlängert werden, da bei Gleitkufen mit einer geringeren Schadenshäufigkeit zu rechnen ist. Auch ist es denkbar, dass durch den Einsatz von modifizierten Gleitkufen die Baukosten gesenkt werden. Der Nachteil solcher Gleitkufen kann jedoch in der Werkstoffwahl (Reibbeiwert, Abrasion) liegen. Der Werkstoff beeinflusst maßgeblich die Reibung und damit auch die erforderlichen Antriebskräfte. Die vergleichende Erprobung und die dabei vorgenommenen Messungen werden nachfolgend dargestellt.

### **2 Untersuchungsziel**

Für den direkten Vergleich zwischen Roll- und Gleitschütz konzipierte man bei der Planung der neuen Schleuse in Bremen die Umlaufverschlüsse am Unterhaupt dahingehend, dass sie bis auf die Rollen bzw. die Gleitkufen baugleich ausgebildet wurden. Dadurch ist es möglich Schwingungswege, Spannungen und die Hydraulikdrücke der Antriebe an jedem Schütz zu messen und vergleichend auszuwerten. Ziel dieser Messungen ist die Entwicklung von Schützen, die unter den extremen Einsatzbedingungen mängelfrei funktionieren und für die laufende Unterhaltung nur einen geringen Arbeitseinsatz erfordern. Da jedoch bisher noch keine Langzeiterfahrungen mit Gleitschützen und deren Verhalten unter Betrieb vorliegen, sollen Messungen über einen längeren Zeitraum an den Schützen in Bremen durchgeführt werden. Anhand der Messergebnisse könnte auch in diesem speziellen Fall der Reibbeiwert der Kufen berechnet und zur Verfügung gestellt werden. Des Weiteren können Erkenntnisse über die tatsächliche Antriebskraft für Roll- und Gleitschütze während des Betriebs gewonnen werden und die Schwingungsmessungen zeigen auf, mit welchen Schwingungen an den Schützen während des Füll- und/oder Entleerungsvorgangs zu rechnen ist.

### **3 Untersuchungsmethoden**

Um das Verhalten von Roll- und Gleitschützen unter gleichen Betriebsbedingungen beobachten zu können, wurden bereits im Planungsstadium die erforderlichen Vorkehrungen für Langzeitmessungen getroffen und bei der Werkstattfertigung die erforderlichen Befestigungselemente eingebaut. Erfasst werden:

- Schwingwege und Frequenzen in allen drei Richtungen durch vier Schwingungsaufnehmer pro Schütz (zwei längs, einer quer, einer vertikal)
- Spannungen an den unteren drei Winkelsteifen durch geklebte Dehnmessaufnehmer in Schützmitte
- Antriebskräfte durch Druckaufnehmer an Kolben- und Stangenseite der Hydraulikzylinder
- Kammerwasserstände und Unterwasserstände durch Pegelaufzeichnungen
- Maßtoleranzen an Rollen, Kufen und Schienen durch Bauteilaufmass

Die Messsignale wurden über Verstärker aufbereitet und mit dem PC-Programm BEAM erfasst und ausgewertet. Die Führung der Messkabel erfolgte in einem zusätzlich eingebauten Rohr in nichtrostendem Stahl, das mittels Stopfbuchse durch den Druckdeckel in den Antriebsraum geführt wurde. Die Installation der Messeinrichtung und die Aufzeichnung der ersten Messwerte fanden während des Probetriebs der Schleuse im Mai 1999 statt. Die Ergebnisse dieser Messungen repräsentieren den Ursprungszustand (Nullzustand) der Rollen und Kufen und dienen als Vergleichsgrundlage aller weiteren Messungen. Vorwiegend wurden Dehnungen, Schwingwege und Zylinderdrücke während des Öffnens der Schütze (Entleerung der Kammer) aufgezeichnet. Es wurde aber auch das Schließen der Schütze messtechnisch erfasst /1/. Wiederholungsmessungen sind bis 2005 durchgeführt und über mehrere Messungen an einem Tag zur Erfassung der Auswirkungen des Tidehubs in 2005 abgeschlossen worden. Bild 1 zeigt die an beiden Schützen installierte Messeinrichtung.

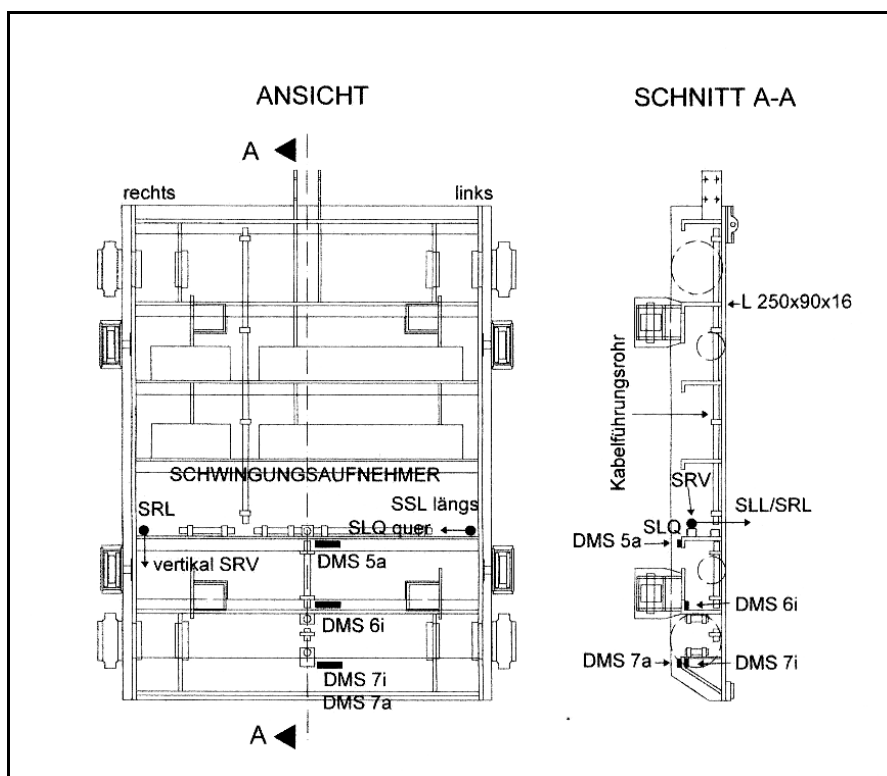


Bild 1: Versuchseinrichtung

#### 4 Ergebnisse

Die Installation der Aufnehmer erfolgte 1999 durch das Referat Z2 (Messtechnik) der Bundesanstalt für Wasserbau. In den nachfolgenden Diagrammen (Bilder 2 und 3) sind die maximalen Schwingwege und Hydraulikdrücke der beiden Schütze dargestellt. Diese Messungen erfolgten von 1999 bis 2004 ca. halbjährlich.

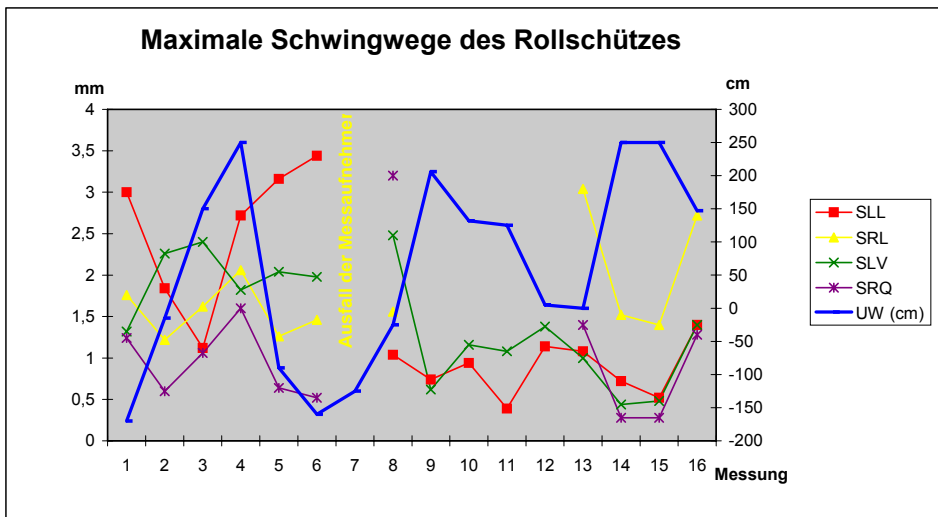


Bild 2: Auswertung der Schwingwege am Rollschütz (Anordnung der Messgeber s. Bild 1) /1/

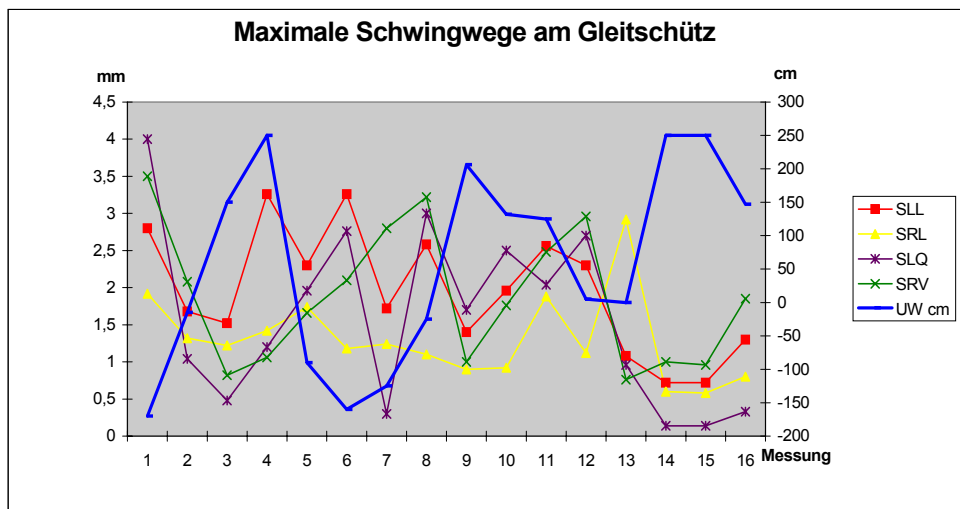


Bild 3: Auswertung der Schwingwege am Gleitschütz (Anordnung der Messgeber siehe Bild 1)

Ein Vergleich der Diagramme zeigt, dass bei den Schwingwegen in alle drei Richtungen zwischen Roll- und Gleitschütz keine signifikanten Unterschiede bestehen. Erwartungsgemäß sind die Schwingwege in Strömungsrichtung am größten, jedoch mit  $\pm 0,5$  bis  $\pm 2,0$  mm als unbedenklich anzusehen. Beim Öffnen der Schütze zeigt sich ein relativ breites Frequenzspektrum bis zu 1 Hz, Resonanzerscheinungen sind nicht zu erkennen /1/. Bild 4 zeigt die Antriebskräfte des Roll- und Gleitschützes und die dazu korrespondierenden Wasserspiegeldifferenzen.

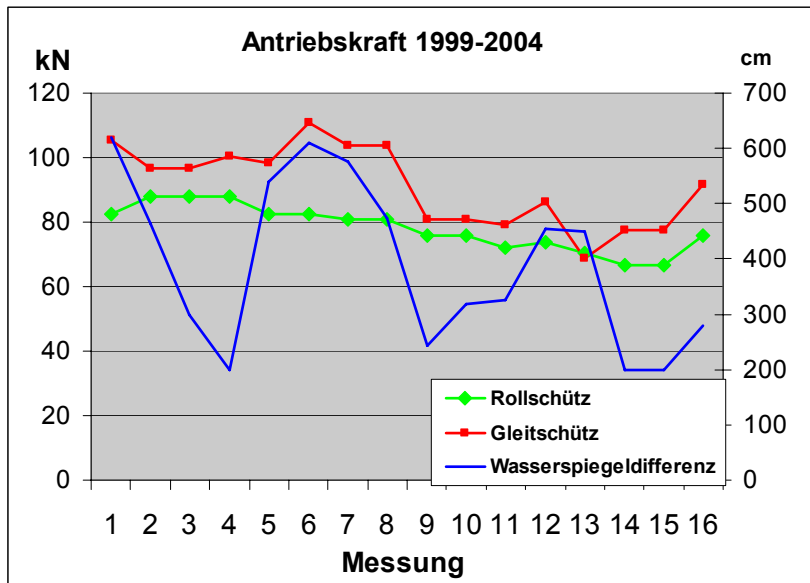
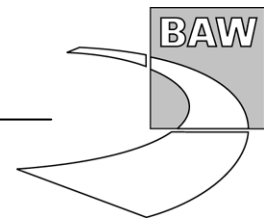


Bild 4: Antriebskräfte des Roll- und Gleitschützes im Vergleich zur Wasserspiegeldifferenz

Die Antriebskräfte sind beim Gleitschütz zwischen 10 % und 30 % höher als beim Rollschütz. Diese Unterschiede sind u. a. auf die wechselnden Unterwasserstände infolge Tideeinfluss zurückzuführen. Bei größeren Wasserspiegeldifferenzen steigt die Aufzugskraft beim Gleitschütz geringfügig an, beim Rollschütz ist eine direkte Abhängigkeit von den wechselnden Wasserspiegeldifferenzen nicht erkennbar. /1/

Bis März 2005 sind Messungen an den Schützen halbjährlich durchgeführt worden. Abschließende Messungen zur Erfassung der Schwingwege über einen ganzen Tag fanden am 04.03.2005 statt. Die Bilder 5 und 6 zeigen die Schwingwege des Roll- bzw. Gleitschützes über die gesamte Tagesmessung. Mit diesen Messungen ist unter anderem der Einfluss der Tide verifiziert worden. Die Tagesmessung diente auch zur Bestimmung des Reibbeiwerts der Kufen.

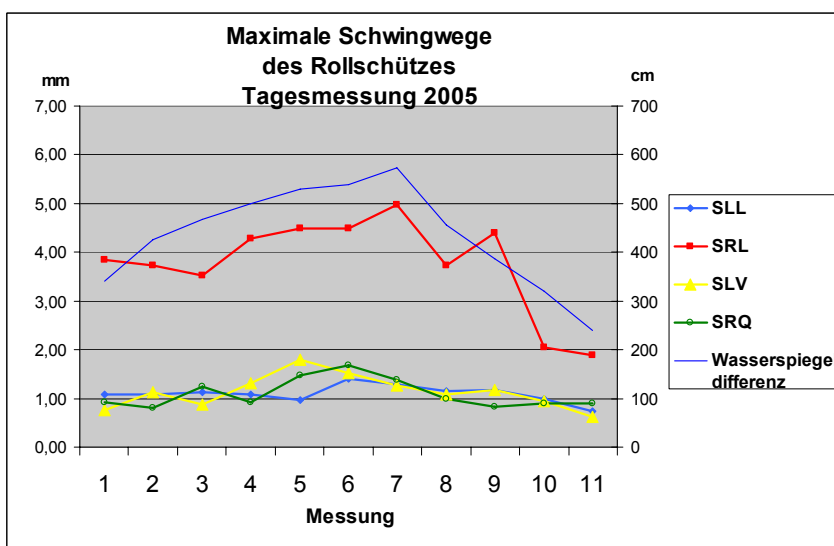


Bild 5: Schwingwege in horizontaler und vertikaler Richtung beim Rollschütz, Tagesmessung 2005

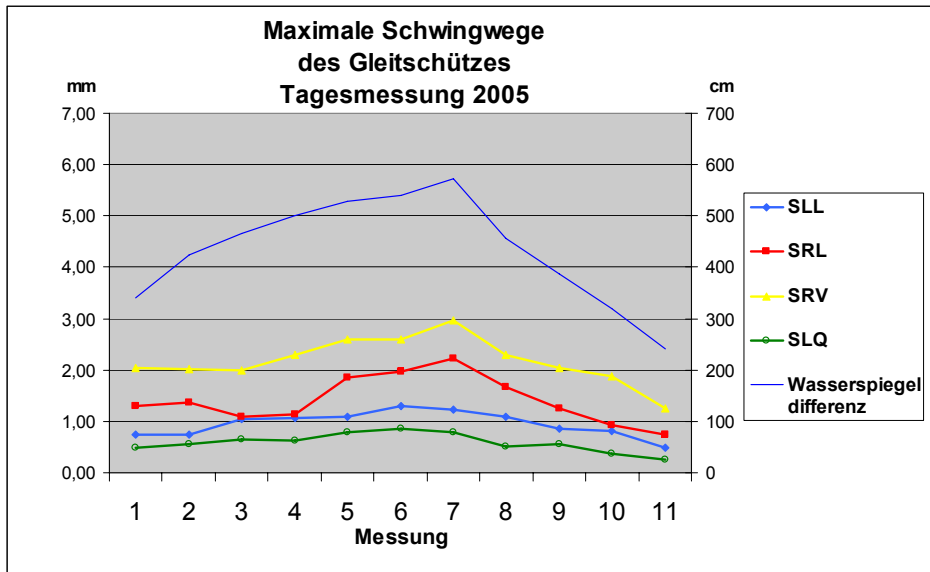
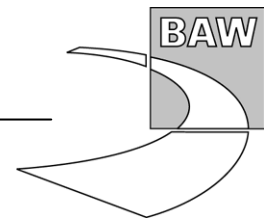


Bild 6: Schwingwege in horizontaler und vertikaler Richtung beim Gleitschütz, Tagesmessung 2005

Die maximalen Schwingwege am Rollschütz lagen bei  $\pm 2,5$  mm und absolut bei 5,0 mm. Die maximalen Schwingwege am Gleitschütz lagen bei  $\pm 1,5$  mm und absolut bei 3,0 mm. Diese Schwingwege lagen tendenziell auch schon am Anfang der Messkampagne vor und deuten darauf hin, dass bisher noch keine Zunahme der Schwingwege infolge Verschleiß an den Rollen, Kufen oder Schienen stattgefunden hat.

Die Antriebskräfte der Tagesmessung in 2005 sind in Bild 7 dargestellt. Es zeigte sich, dass die Antriebskräfte des Gleitschützes bis zu 25% größer sind als die des Rollschützes. Bei der Tagesmessung zeigte sich bei beiden Schützen auch, dass die Antriebskräfte abhängig von der Wasserspiegeldifferenz sind. Bei beiden Schützen stieg die Antriebskraft mit größer werdender Wasserspiegeldifferenz geringfügig an.

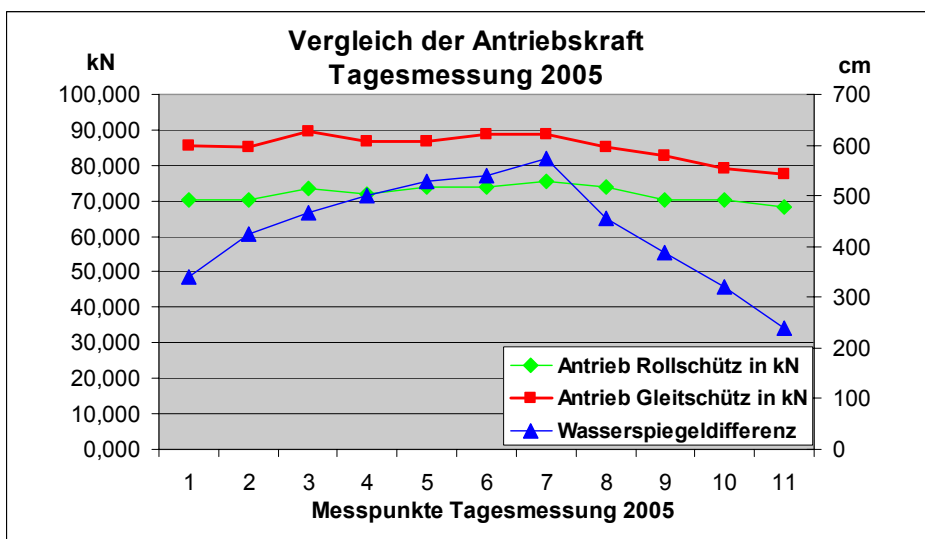
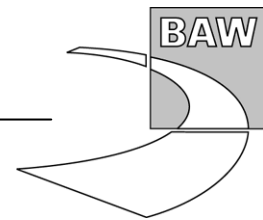


Bild 7: Antriebskräfte im Vergleich zur Wasserspiegeldifferenz



Um den Reibbeiwert der Gleitkufen zu bestimmen, dienten ebenfalls die Aufzeichnungen der Tagesmessung in 2005. Zur Ermittlung des Reibbeiwerts der Gleitkufen wurde zuerst der resultierende Reibbeiwert der Dichtung des Rollschützes berechnet. In diese Berechnung floss auch die Reibung der Rollen (nach DIN 19704), der Auftrieb, das Gewicht des Schützes (Stücklisten WSA Bremen), die Vorspannung der Rollen (lt. Statik) und die Antriebskraft (Messung) mit ein. Eine Dichtungsvorspannung wurde nicht berücksichtigt. Unter der Voraussetzung einer identischen Dichtungsreibung bei Roll- und Gleitschütz konnte der Reibbeiwert der Gleitkufen berechnet werden, mit Berücksichtigung des Schützgewichtes, der Antriebskraft, des Auftrieb und der Vorspannung der Gleitkufen.

Die Auswertung dieser Berechnungen zeigte, dass für den eingesetzten Gleitkufenwerkstoff PE-UHMW auf nichtrostendem Stahl ein Reibbeiwert von  $\mu=0,06$  (charakteristischer Wert) berechnet werden konnte. Für eine Bemessung von Gleitkufen wären noch die entsprechenden Sicherheitsfaktoren sowohl auf der Einwirkungsseite als auch auf der Widerstandsseite zu berücksichtigen.

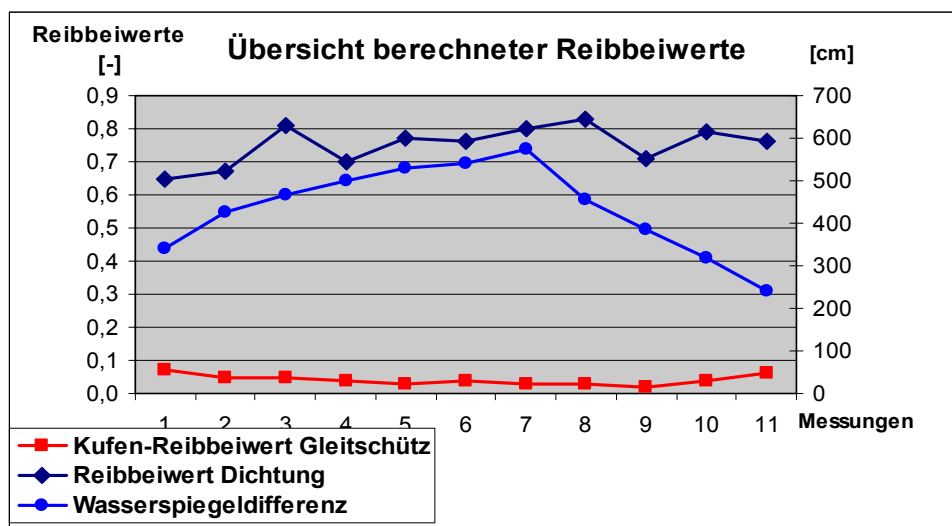


Bild 5: Übersicht über die Reibbeiwerte für Dichtung und Gleitkufe, in Abhängigkeit des Wasserstandes

### 5 Gleitschütze auch für große Fallhöhen und als Schleusenverschlüsse ?

Zwischenzeitlich sind an einigen Schleusen in den Umläufen Gleitschütze eingesetzt worden. Aber auch bei einem Hubtor und bei einem Sperrwerk sind die Verschlüsse mit Gleitkufen bzw. Gleitleisten versehen worden. Das Hubtor am Unterhaupt der Schleuse Anderten hat eine Breite von 12,65 m, eine Höhe von 10,40 m und wird 8,20 m überstaut. Die Fallhöhe der Schleuse beträgt 14,70 m. Das neue Hubtor in Anderten ist seit 2006 in Betrieb. Die Bilder 6 und 7 zeigen das Hubtor am Unterhaupt in Anderten und Bild 8 zeigt einen Ausschnitt aus der Ausführungszeichnung der entsprechenden Armierung.

Am Sperrwerk in Gandersum/Ems kamen ebenfalls Gleitleisten zum Einsatz. Dieses Sperrwerk dient als Hochwasserschutz für das Emshinterland und um einen Aufstau der Ems für Schiffsüberführungen herbeizuführen. Bild 9 und 10 zeigen das Emssperrwerk bei Gander-





Das Emssperrwerk ging 2002 in Betrieb und ist seitdem sieben Mal aus Sturmflutgründen und 18-mal wegen Schiffsüberführungen geschlossen worden.

Jedoch sind auch an einigen Schleusen statt der üblichen Rollschütze als Umlaufverschluss inzwischen Gleitschütze zum Einsatz gekommen. Das Bild 12 zeigt den Umlaufverschluss in Zeltingen und Bild 13 den Umlaufverschluss der Schleuse Hameln.



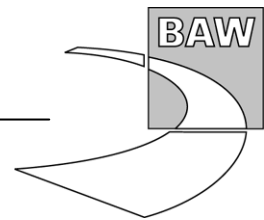
Bild 12: Gleitschütz als Umlaufverschluss, Schleuse Zeltingen



Bild 13: Gleitschütz der Schleuse Hameln

## 6 Zusammenfassung

Auf Grund der positiven Messergebnisse und einer moderat größeren Antriebskraft (bis zu 25%) für Gleitschütze sind in den letzten Jahren einige Umlaufverschlüsse als Gleitschütze projektiert und teilweise auch schon gebaut worden. Aber auch ein Hubtor (Schleusenverschluss) mit Gleitkufen ist bereits in Betrieb gegangen. Die bisherigen Erfahrungen zeigten, dass Gleitschütze eine gute Alternative zu den bisher eingesetzten Rollschützen darstellen. Reibbeiwerte für Gleitkufen konnten aus den In-situ-Messungen an der Schleuse Bremen ge-

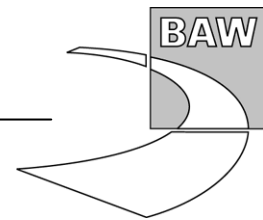


wonnen werden. Zurzeit laufen noch Versuche am Institut für Verbundwerkstoffe in Kaiserslautern zur Bestimmung von Reibbeiwerten „Kunststoff auf Kunststoff“.

### **Literatur**

- /1/ R. Wagner, R. Hansen, U. Gabrys, L. Kellner: Rollschütz oder Gleitschütz-Vergleichende Untersuchung an der Bremer Weserschleuse; Stahlbau, 69. Jahrgang, 2000 Heft 12, Verlag Ernst & Sohn
- /2/ U. Gabrys: Erfahrungen mit neuartigen Konstruktionen im Stahlwasserbau, Stahlbaukalender 2006, Verlag Wiley-VCH, 2006





H.-P. Feldner, Universität Kaiserslautern / U. Gabrys, BAW Karlsruhe  
**Modellversuche zum Einsatz von Gleitpaarungen im Stahlwasserbau**

## 1 Kurzfassung

In dem Forschungsauftrag sollte anhand eines Modellversuches untersucht werden, inwieweit bei der Tribopaarung Dichtungsgummi/nichtrostender Stahl die Stahlkomponente zwecks Reduzierung der Verschleißrate und des Reibungskoeffizienten durch einen Kunststoff ersetzt werden kann. Die zum Einsatz kommenden Kunststoffe sind in Tabelle 1 zusammengestellt; als Prüfstand wurde ein modifizierter Block-auf-Ring Medienprüfstands (Wasser) eingesetzt. Das erste Screening vollzog sich bei der Parametrisierung (1 MPa; 0.03m/s) über 20h, worauf die tribologisch Besten einer weiteren Prüfung unterzogen wurden (96h bzw. 3x1,5h unter Spurwechsel). Alle geprüften Kunststoffe waren bzgl. Verschleißrate und Reibwert besser als Stahl. Die Kunststoffe POM C, PE-UHMW und insbesondere PVC sind bis dato die besten Kandidaten. Die Ergebnisse zeigen auch dass mit zunehmender Versuchsdauer die Verschleißrate bei allen Tribopaarungen abnimmt.

## 2 Experiment

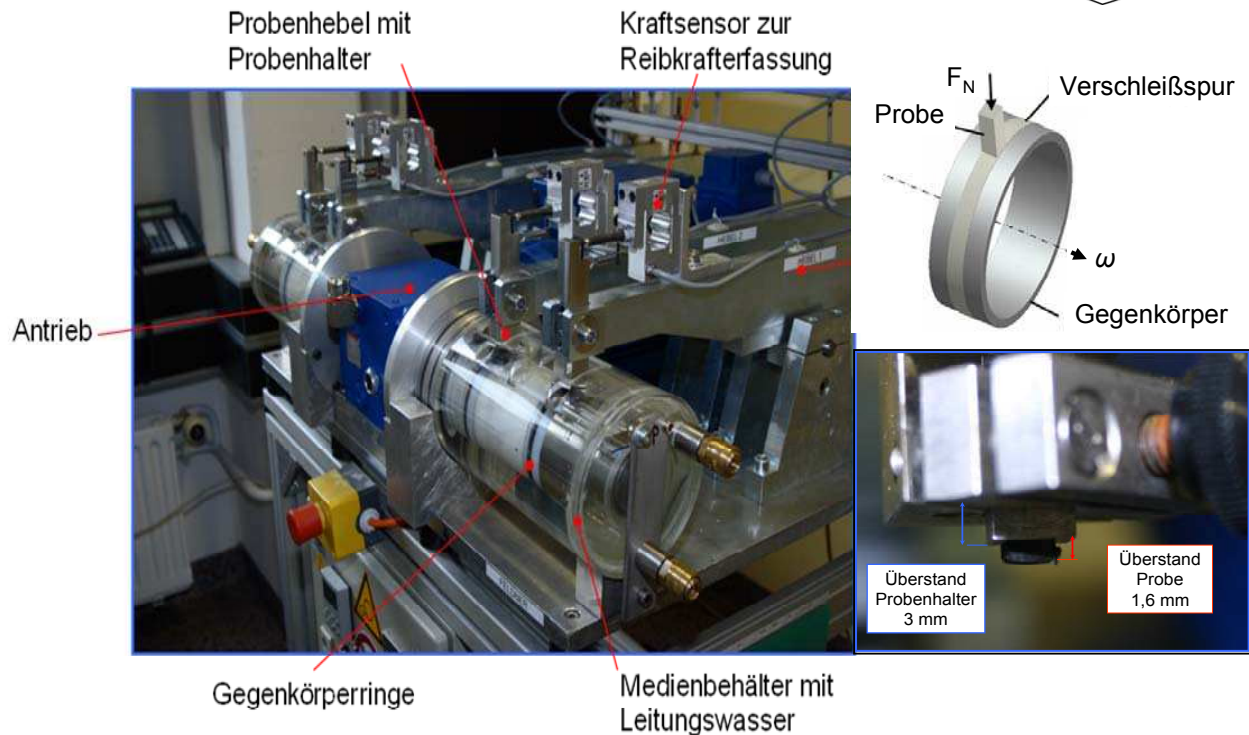
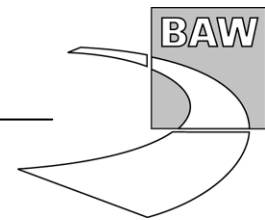
Tabelle 1 gibt alle Kunststoffe wieder, die in der Tribopaarung Dichtgummi/Kunststoff geprüft wurden.

NR.	Material (benutzte Bezeichnung)	Modifizierung	Farbe	Lieferantenbezeichnung	Lieferant
1	PA 6	ohne	opak/weiß	TECAMID 6	Uni/Ensinger
2	PA 6 mod1	Molybdändisulfid	schwarz	TECAM 6 MO	UNI
3	PA 6 mod2	Wachs/Öl	grün	TECAGLIDE grün	Ensinger
4	PA 6 G	ohne	opak/gelblich	TECAST L	Ensinger
5	PA 6 G mod1	Molybdändisulfid	grau/schwarz	TECAST TM	Ensinger
6	POM	ohne	weiß	ULTRAFORM BASF	UNI
7	POM C	UV- Farbstoff	schwarz	TECAFORM AH	Ensinger
8	PE-UHMD	UV- Farbstoff	schwarz	POLYSTONE M-schwarz	Röchling (Ticona)
9	PVC	ohne	grau	PVC-U, Vinidur	UNI
10	PEEK	CF, PTFE, Graphit	grau/schwarz	TECAPEEK PVX	Ensinger
11	EPOXIDHARZ	ohne	transparent	DER 331,	IVW
12	Edelstahl	1.457			UNI

**Tabelle 1:** Untersuchte Kunststoffe

Aus den Kunststoffhalbzeugen (Rohre bzw. Rundmaterialien) wurden Gegenkörper-Ringe hergestellt (b: 25 mm; d-i: 50 mm; d-a 60 mm; Rauhtiefe: Ra ~ 1,6 µm).

Die tribologische Prüfung wurde auf einem modifizierten Block-auf-Ring Medienprüfstand durchgeführt (Bild 1), bei welchem der Block das Dichtungsgummi darstellt, mit einer speziellen Halterung befestigt, und der Gegenkörper, den zu prüfenden Kunststoff.

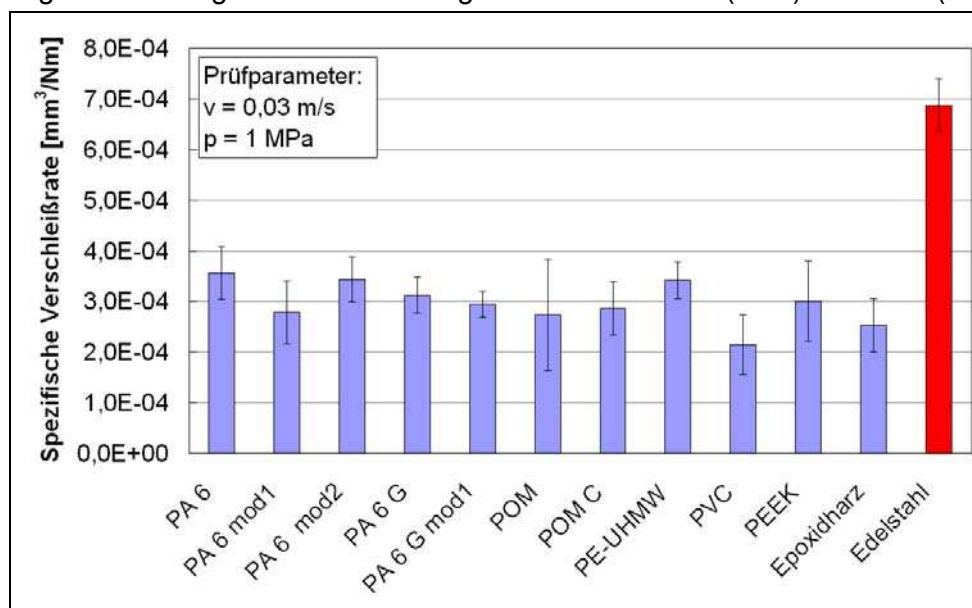


**Bild 1:** Modifizierter Block-auf-Ring Medienprüfstand

### 3 Ergebnisse und Diskussion

#### 3.1 Spezifische Verschleißrate/Reibwert (20h Test)

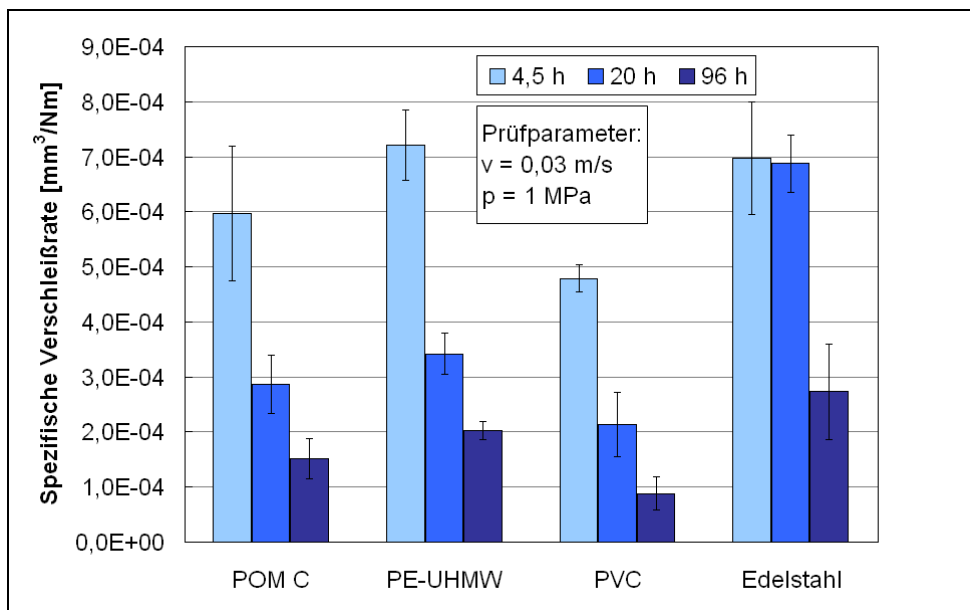
In Bild 2 sind die ermittelten spezifischen Verschleißraten der Tribopaarungen Dichtungsgummi/Kunststoff gegenübergestellt. Danach ist ersichtlich, dass alle geprüften Kunststoffe eine bedeutend geringere Verschleißrate haben als Stahl. Die besten Kunststoffe sind dabei POM C, PVC und Epoxidharz. Dieses Bild spiegelt sich auch in den Reibwerten wieder. Alle Reibwerte der Kunststoffe liegen zwischen 0.53 und 0.64, wohingegen der von Stahl bei 0.81 liegt. Die niedrigsten Reibwerte ergeben sich für POM (0.53) und PVC (0.55).



**Bild 2:** Spezifische Verschleißrate des Dichtungsgummis bei Paarung mit unterschiedlichen Gegenkörperwerkstoffen

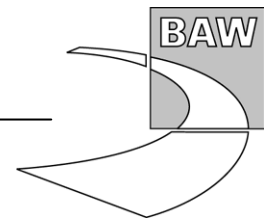
### 3.2 Spezifische Verschleißrate/Reibwert (96 h Test bzw. 3x1,5h)

Mit den 3 ausgewählten Kunststoffen POM C, PE-UHMW, PVC und Edelstahl wurden auch Langzeitversuche von 96 h ohne Spurwechsel und Versuche mit Spurwechsel (Prüfdauer 3x1,5h = 4,5 h) durchgeführt. Bei den Versuchen mit Spurwechsel wurde jeweils nach 1,5h Laufzeit der Gegenkörper axial verschoben, um eine neue Spur zu fahren. Bei allen Kunststoffen (Bild 3) konnte eine sinkende Verschleißrate mit zunehmender Versuchsdauer festgestellt werden. Ebenso wurden im 4,5 Stunden Test mit Spurwechsel mehr als doppelt so hohe Verschleißraten als in der 20 Stunden Prüfung gemessen. Damit ist bei den Kunststoffen ein deutlich nichtlinearer Verschleiß über die Versuchsdauer festzustellen. Im Kurzzeitversuch (4,5 Stunden) mit Spurwechsel -und damit auch prinzipiell zu Versuchsbeginn- ist die Verschleißrate sehr viel höher als im weiteren Versuchsverlauf. PVC zeigt in allen Versuchen die geringsten, PE-UHMW die größten Verschleißraten. Die Reibwerte hingegen bewegen sich bei dem 4,5 h bzw. 96 h in der gleichen Größenordnung (0.55–0.65) und dies unabhängig des verwendeten Gegenkörpers.



**Bild 3:** Spezifische Verschleißrate untersuchter Gleitpaarungen im Vergleich.





W. Meinhold, BAW Karlsruhe / Max Spannaus, Universität Karlsruhe  
**Klassifizierung stahlwasserbaulicher Kerbdetails**

## 1 Problemstellung und Ziel

Wegen aufgetretener Risschäden haben in den zurückliegenden Jahren Problemstellungen der Ermüdungsfestigkeit für die Bemessung und Konstruktion geschweißter Stahlwasserbaukonstruktionen eine zunehmende, für die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung letztlich auch kostenmäßige Bedeutung erlangt. Bekannt ist, dass konstruktions- und fertigungsbedingte Kerbwirkungen die entscheidende Ursache von Ermüdungsrissen in geschweißten Konstruktionen bilden.



Im Regelwerk sind einige Kerbdetails nicht erfasst bzw. anhand der Darstellung nicht eindeutig zuordnungsfähig.

Eine ältere, geschweißte, jedoch noch nicht schadhafte Riegelkonstruktion eines Hubtores zeigt Bild 1.

**Bild 1:** Typische Kerbfallsituation im Druckgurt-Bereich (Gurtkreuze) eines älteren geschweißten Riegeltors

Bei Ertüchtigungsmaßnahmen, Ersatzinvestitionen oder beim Entwurf neuer Verschlusskonstruktionen kann es bei bestimmten Konstruktionsdetails zur Fehleinschätzung vorliegender oder konstruktiv gewählter Kerbfallsituationen kommen. Der Nachweis ausreichender Ermüdungsfestigkeit dieser Tragwerksdetails kann aus diesem Grunde nicht oder nicht korrekt geführt werden. In einigen Fällen kann es auch zu einer zu ungünstigen Einschätzung der vorliegenden Kerbfallsituation kommen, so dass Ertüchtigungsbedarf angezeigt wird, der ggf. vermeidbar wäre.

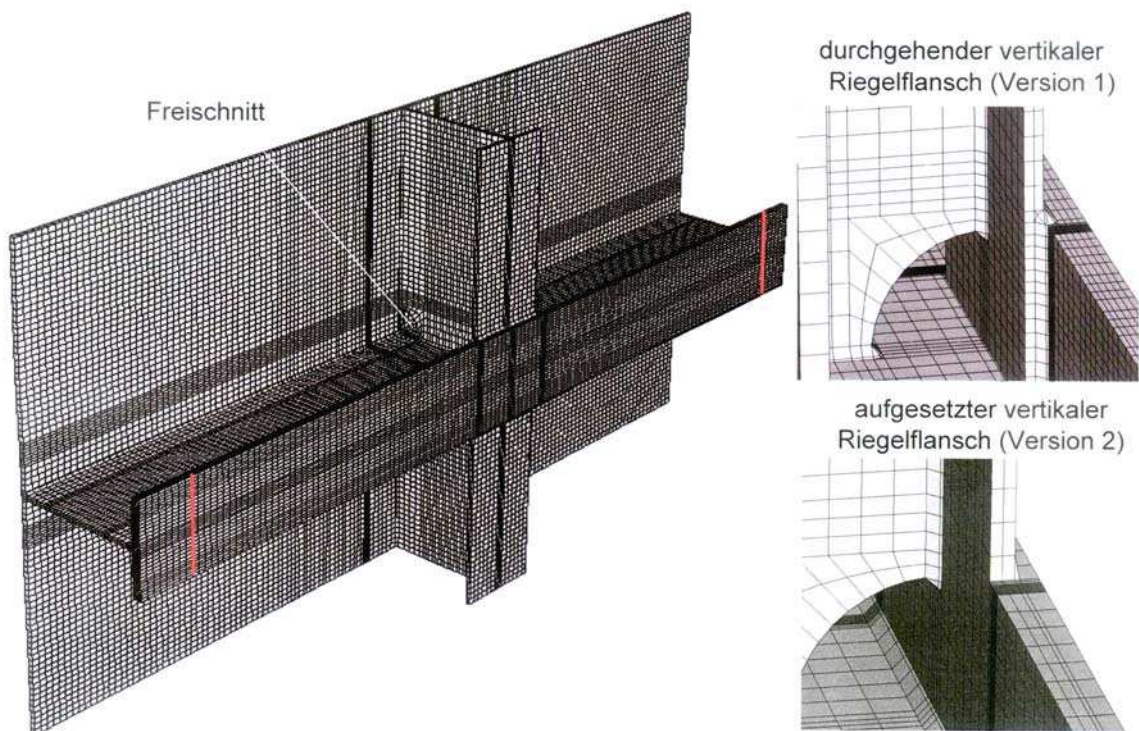
Ziel des FuE-Vorhabens war es deshalb, zwei stahlwasserbautypische Konstruktionsformen, die bisher nicht Bestandteil des verfügbaren Regelwerks sind bzw. gemäß Regelwerk nicht eindeutig zugeordnet werden können, numerisch und experimentell zu untersuchen.

Im Ergebnis von Dauerschwingversuchen waren für die beiden ausgewählten stahlwasserbautypischen Konstruktionsformen kerbfallabhängige normierte Wöhler-Kennlinien aufzustellen. Die so definierten neuen Kerbfallklassen sollen beim Ermüdungsnachweis unter Verwendung der Nennspannungsschwingbreiten für entsprechende Stahlwasserbauten genutzt werden.

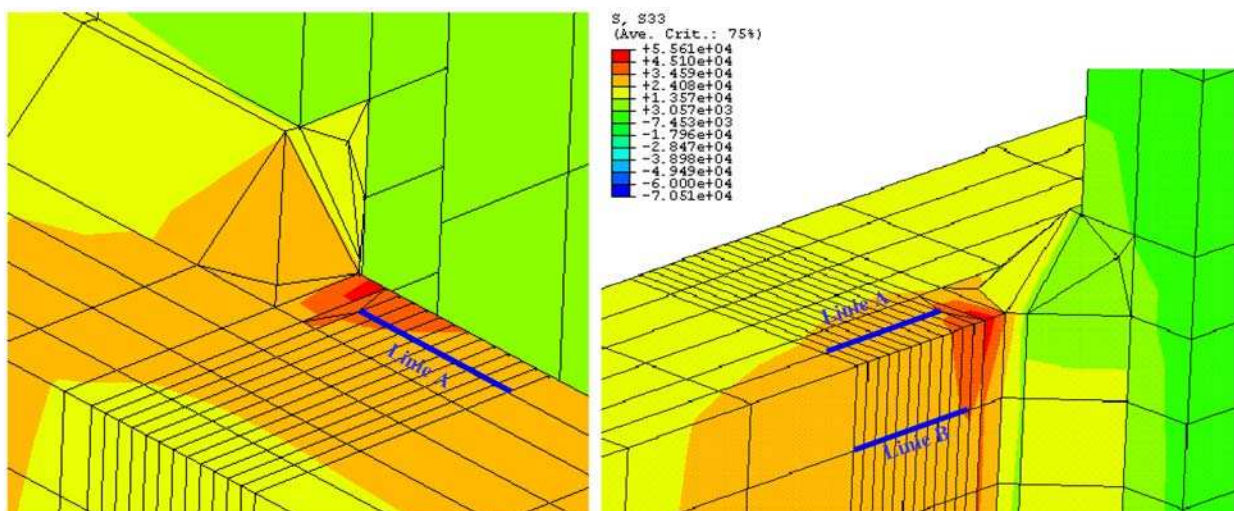


## 2 Untersuchungsmethoden

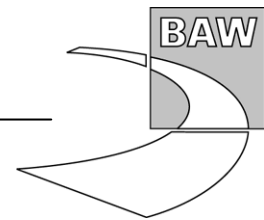
Die theoretischen und experimentellen Untersuchungen übernahm die Universität Karlsruhe; zur Unterstützung der Arbeiten wurde unter der Schirmherrschaft der Forschungsvereinigung Stahlanwendung (FOSTA) ein projektbegleitender Arbeitskreis (AK P 589) gebildet. Nach der Festlegung möglichst praxisbezogener Querschnittswerte im Bereich der ausgewählten Kerbdetails (Bild 2) erfolgte im Rahmen einer F-E-Parameterstudie zunächst die Untersuchung des Einflusses der Breiten- und Wanddickenverhältnisse der Bleche auf den zu berücksichtigenden Spannungskonzentrationsfaktor (SCF). Bild 3 zeigt am Beispiel des Kerbdetails 1 die Lage numerisch ermittelter Spannungskonzentrationen.



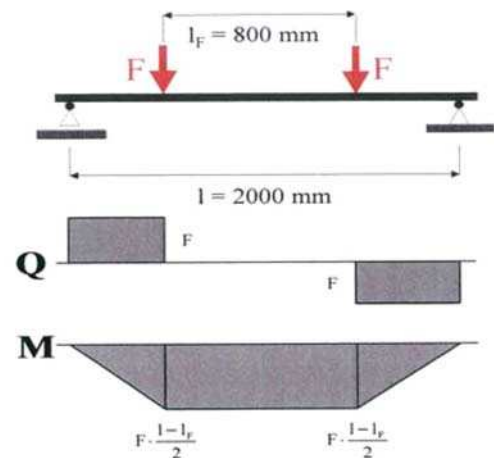
**Bild 2:** FE-Modell der Probekörper für den Bauteilver such, Kerbdetail 1 und 2



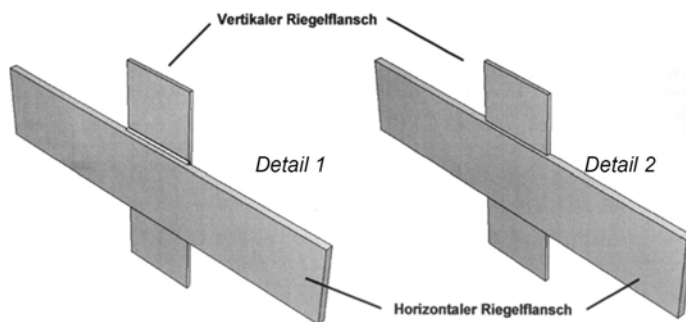
**Bild 3:** FEM-Ausschnitt Kerbdetail 1 (Lage von Spannungskonzentrationen)



In einem weiteren Schritt wurden von den bei der Projektrealisierung mitwirkenden Stahlbau-firmen für die Konstruktionsdetails verschiedene Probekörper hergestellt. Diese wurden schließlich bei der Universität Karlsruhe im Dauerschwingversuch geprüft. Die experimentellen Untersuchungen bestanden aus jeweils einem großmaßstäblichen Bauteilversuch (Bild 4) und aus der zusätzlichen Untersuchung von für beide Kerbdetails angefertigten Kleinprobekörpern (Bild 5), deren Geometrien anhand der Bauteilversuche und durch die vorangegangenen F-E-Berechnungen optimiert worden waren.



**Bild 4:** Bauteilversuch Kerbdetail 1 und Lastbild für die Bauteilversuche



**Bild 5:** Kleinprobekörper Kerbdetail 1 und 2

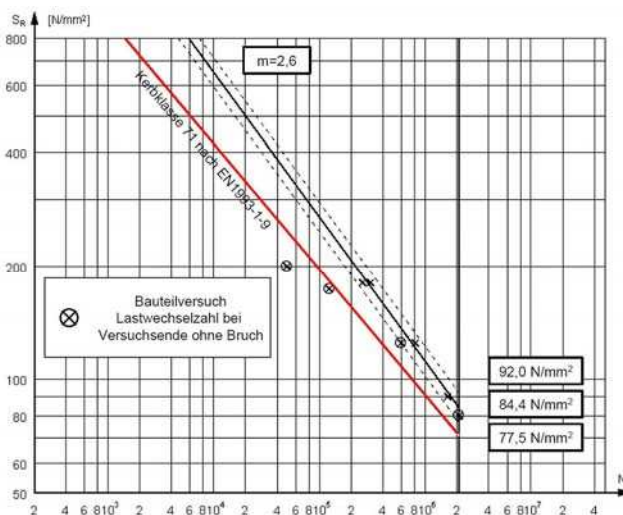
### 3 Ergebnisse der Untersuchungen

Die im Vorfeld aufgestellte numerische Untersuchung zur Auswirkung des Breiten- und Wand-dickenverhältnisses auf den Spannungskonzentrationsfaktor ergab, dass der Einfluss nur ge-ringfügig ist.

Die Dauerschwingversuche an den beiden großformatigen Probekörpern und an den anhand des Versagensbildes hergestellten Ausschnitts-Probekörpern konnten nach Überwindung ei-niger unvorhersehbaren Schwierigkeiten letztlich erfolgreich abgeschlossen werden.

Auf der Grundlage der an der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Technische Universität Karlsruhe, durchgeführten numerischen und experimentellen Untersuchungen wurden in der Folge für das Kerbdetail 1 (hinter dem Riegelgurt durchlaufender Vertikalträger-Gurt) und für das Kerbdetail 2 (auf den Riegelgurt aufgesetzter Vertikalträger-Gurt) kerbfallabhängige Wöhler-Kennlinien aufgestellt und es ließ sich eine erste Zuordnung zu Kerbklassen vornehmen.

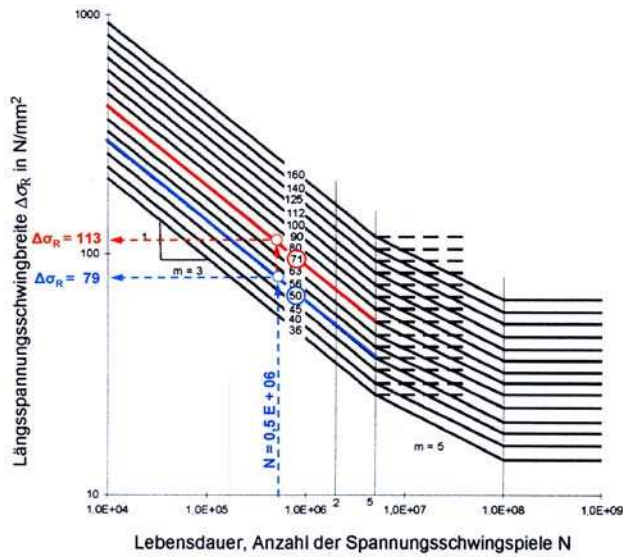
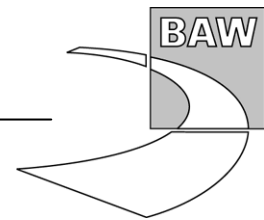
So wurde für das Kerbdetail 1 anhand der Bauteil- und Kleinprobenversuche eine Wöhlerkennlinie ermittelt, die der Kerbkategorie  $\Delta\sigma_c = 71 \text{ N/mm}^2$  zugeordnet werden kann (95%-Fraktile:  $\Delta\sigma_{c,95\%} = 77,5 \text{ N/mm}^2$ , Steigung:  $m = 2,6 \approx 3,0$ ; vgl. Bild 6), während eine Auswahl gemäß EC 3 (EN 1993-1-9) nur eine Zuordnung zur Kerbkategorie  $\Delta\sigma_c = 40 \text{ N/mm}^2$  (Detail ohne Nachbehandlung und Ausrundungsradius) bzw. gemäß GL-Kerbfallkatalog  $\Delta\sigma_c = 50 \text{ N/mm}^2$  ( $t_2 \leq 0,7 t_1$ ) zuließe. Ähnliches ergab sich für das Kerbdetail 2. Es zeigte sich jedoch, dass für eine ausreichende statistische Absicherung der Ergebnisse noch einige ergänzende Untersuchungen an Kleinprobekörpern vorgenommen werden sollten.



**Bild 6:** Wöhlerlinie für Kerbdetail 1 (hinter dem Riegelgurt durchlaufender Vertikalträger-Gurt)

Die im Rahmen des FuE-Projekts „Klassifizierung stahlwasserbautypischer Kerbdetails“ gewonnenen Ergebnisse werden dabei helfen, die Lebensdauer bestehender Stahlwasserbauten und ermüdungsrelevant beanspruchte Tragwerksteile zukünftiger Verschlusskonstruktionen hinsichtlich ihres Ermüdungswiderstands besser beurteilen zu können. Letztlich konnten für beide Kerbdetails kerbfallabhängige Wöhler-Kennlinien aufgestellt werden und es konnte eine Zuordnung zu Kerbklassen vorgenommen werden, die deutlich günstiger als im verfügbaren Regelwerk liegen.

In Bild 7 ist für die bei Stahlwasserbauten typische, im Zeitfestigkeitsbereich liegende Lastspielzahl  $N = 500.000$  ein Beispiel für die Erhöhung der ertragbaren Betriebsfestigkeitsspannung  $\Delta\sigma_R$  durch Verbesserung der Detailkategorie von  $\Delta\sigma_c = 50 \text{ N/mm}^2$  auf  $\Delta\sigma_c = 71 \text{ N/mm}^2$  dargestellt. Im praktischen Fall wäre damit für ein ermüdungsrelevant beanspruchtes Bauteil eine entsprechend erhöhte rechnerische Lebensdauer nachweisbar.



**Bild 7:** Betriebsfestigkeitsspannung  $\Delta\sigma_R$  für  $\Delta\sigma_c = 50$  bzw.  $71 \text{ N/mm}^2$  bei  $N = 500.000$

Einige ergänzende, für die zusätzliche statistische Absicherung gedachte Untersuchungen werden ggf. noch im Rahmen eines fortführenden Themas abgehandelt.



Dr. M. Gebhardt, M. Maisner, U. Gabrys, BAW Karlsruhe  
**Bemessung und Konstruktion von Schlauchwehren**

## **1 Problemstellung und Ziel**

### **1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens**

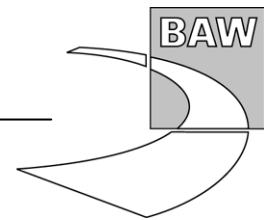
Mit dem Erscheinen des Mitteilungsblattes Nr. 91 „Untersuchungen zum Einsatz von Schlauchwehren an Bundeswasserstraßen“ im Dezember 2007 und dem BAW-Kolloquium „Elastische Wehrverschlüsse an Wasserstraßen“ im Juni 2008 wurden die Ergebnisse des FuE-Vorhabens Nr. 8160 publiziert und das bisherige Forschungsvorhaben abgeschlossen. Insgesamt drei Schlauchwehranlagen in der WSV existieren oder befinden sich im Bau und an mehreren Staustufen werden Schlauchwehre als eine Planungsvariante in Betracht gezogen, so z.B. an der Allerstaustufe Hademstorf oder der Mainstaustufe Obernau. Aus dem abgeschlossenen FuE-Vorhaben und den sich im Betrieb, im Bau bzw. in der Planung befindlichen Schlauchwehranlagen haben sich eine Reihe von neuen wasserbaulichen und bautechnischen Fragestellungen ergeben. Zusammen mit den bisherigen Ergebnissen soll ein Merkblatt für die Bemessung und Konstruktion erstellt werden, das hydraulische und statische Bemessungsgrundlagen, Werkstoffanforderungen und Bemessungsbeispiele enthalten wird und dem planenden Ingenieur als Leitfaden bei der Entwurfsaufstellung dienen soll.



**Bild 1: Schlauchwehr Bannetze an der Aller unmittelbar nach der Fertigstellung im Oktober 2009**

### **1.2 Bedeutung für die WSV**

Die ersten Schlauchwehranlagen haben Pilotcharakter für die WSV, wenn man sich vergegenwärtigt, dass unter den mehr als 280 Wehranlagen die Hälfte älter als 50 Jahre ist und in den nächsten Jahren ein hoher Sanierungsbedarf zu erwarten ist. Aufgrund der vielfältigen Fachfragen und Wissenslücken im Zusammenhang mit der Schlauchwehrtechnologie ergibt sich die Notwendigkeit einer intensiven fachwissenschaftlichen Begleitung der Projekte und einer gezielten wissenschaftlichen Vertiefung einzelner Fragestellungen durch die BAW.



### 1.3 Untersuchungsziel

Folgende Forschungsschwerpunkte sind in dem FuE-Vorhaben enthalten:

- die Analyse und Optimierung vorhandener Füll- und Entleersysteme (F1) vor dem Hintergrund betrieblicher Anforderungen, wie z.B. Stellgeschwindigkeiten, Pumpenleistungen,
- Untersuchungen zur Erfassung oder zum Ersatz der fehlenden geometrischen Stellgröße im Zusammenhang mit der Automatischen Abfluss- und Stauzielregelung (F2), wie z.B. die Bestimmung der Schlauchhöhe über Drucksonden, über den Innendruck oder das Schlauchvolumen,
- die Weiterentwicklung von Maßnahmen gegen Schwingungen (F3) durch die Auswertung bisheriger Betriebserfahrungen und die Entwicklung neuer wirkungsvoller Maßnahmen mit Hilfe von In-situ Untersuchungen,
- die Analyse zweiaxialer Spannungszustände in der Membran im Anschluss an die Wehrpfeiler bzw. Wehrwangen zur Ermittlung eines Stress Concentration Factors (SCF) mit Hilfe von Finite-Elemente-(FE) Berechnungen (F4),
- Untersuchungen zur Relaxation und Retardation der Schlauchmembran in der Klemmkonstruktion (F5) im Langzeitversuch "Großer Versuchsstand",
- Werkstoffuntersuchungen (F6), wie z.B. die Ermittlung der Trennkraft zwischen Gewebe und Elastomer oder Beschusstests zur Ermittlung möglicher Schäden durch Vandalismus sowie
- Untersuchungen zur Materialwahl für die Verankerungsschienen (F7) mit dem Ziel der Lebensdauerverlängerung und die Formulierung von Bemessungsregeln für die Materialien.

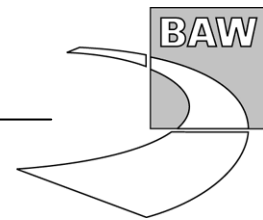
Eine ausführlichere Beschreibung ist dem Forschungskompodium Verkehrswasserbau 2008 zu entnehmen.

### 2 Untersuchungsmethoden

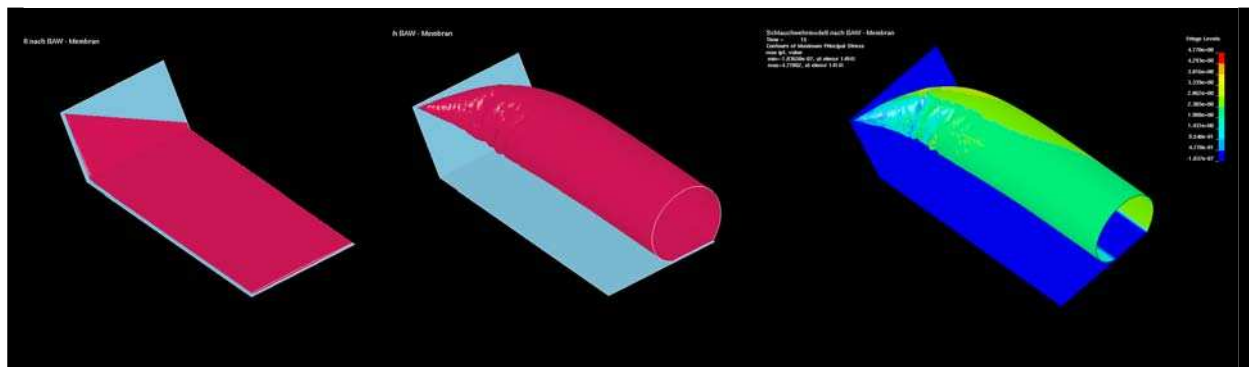
Die Methoden orientieren sich an der Fragestellung und am Untersuchungsziel und beinhalten hydraulisch-numerische Berechnungen der Rohrhydraulik (F1), den modellbasierten Entwurf einer Regelung in MATLAB & Simulink (F2), In-situ Untersuchungen (F2, F3), Finite-Elemente-Berechnungen unter Berücksichtigung der Nichtlinearität, Stabilität und Eigenkontakt bei Schalenelementen (F4), Laborversuche am Langzeitversuchsstand, Untersuchungen an Normprobekörpern (F5, F6) sowie dynamische Prüfungen und Beschusstests an Fachinstituten (F6).

### 3 Ergebnisse

Seit September 2009 werden am Institut für Mechanik, KIT, im Rahmen des Forschungsschwerpunktes F4 verschiedene Fragestellungen mit Hilfe von Finite-Elemente-Analysen untersucht. Dabei werden zunächst Analysen zum Einfluss der Geometrie (Neigung der Wehrwangen/-pfeiler und der Befestigungsschienen) auf die Faltenbildung und die dabei auftretenden



den Spannungen durchgeführt (s. Bild 2). Neben den Materialeigenschaften bestimmt der seitliche Anschluss der Membran die Faltenbildung bei luft- und/oder wassergefüllten Schlauchwehren. Die Membran soll dabei einerseits im abgelegten Zustand nahezu spannungsfrei und eben auf dem festen Wehrkörper liegen. Andererseits soll im aufgestellten Zustand die Ausbildung der Falten im Hinblick auf Dichtigkeit und Materialbeanspruchung möglichst günstig sein. Die Optimierung der Geometrie erfolgt in erster Näherung zunächst mit Hilfe von Membranelementen. Dabei soll durch den Einbau sogenannter „Segment-Segment-Kontaktelemente“ auch der Kontakt zwischen Schlauchmembranteilen berücksichtigt werden. Zur Spannungsauswertung sollen mit Hilfe von Solid-Shell Elementen auch die Biegespannungen erfasst werden, die besonders im Bereich starker Krümmungen, wie z.B. im Faltenbereich oder im Bereich der Klemmschienen, auftreten. Die Anwendung geeigneter Materialgesetze für große Deformationen (z.B. ein Neo-Hooke und anisotropes Material) soll die Berechnung komplettieren.

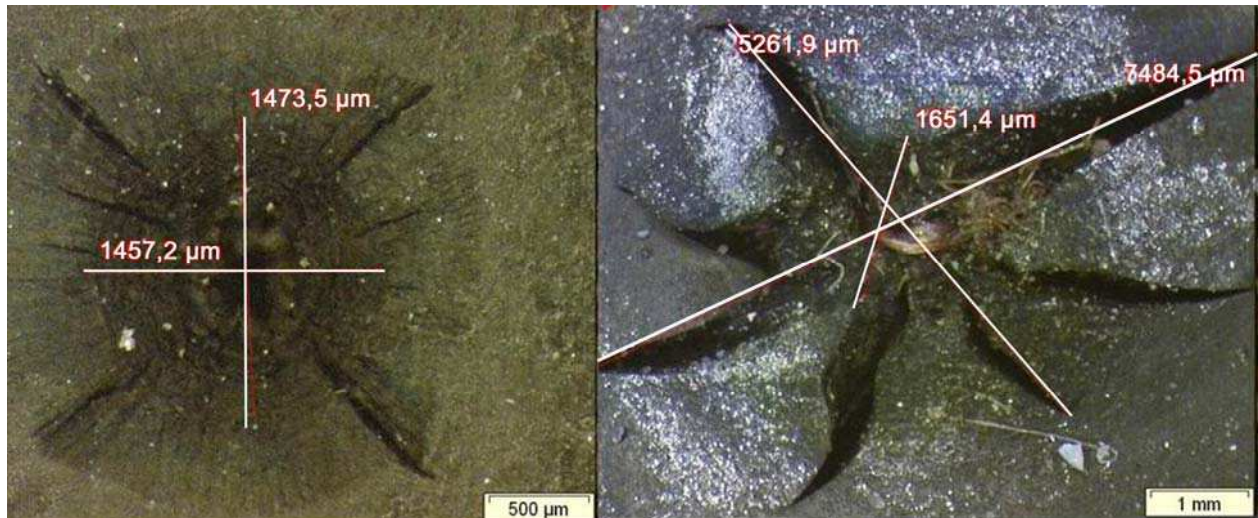


**Bild 2: Finite-Elemente-Berechnung des Instituts für Mechanik, KIT für einen luftgefüllten Schlauch: Anfangszustand (entleert), Endzustand (gefüllt) und Spannungsverteilung in Umfangsrichtung**

Bis Dezember 2011 befassen sich weitere Analysen mit der Bestimmung eines Stress Concentration Factor (SCF), der Stabilität gefüllter Schlauchwehre, dem Einfluss von Fertigung und Orthotropieeigenschaften auf die zulässigen Spannungen, den Schwingungseigenschaften eines fluidgefüllten Schlauchwehres, dem Einfluss von Mehrkammersystemen und der Anfahrung eines Schiffes. Erste Ergebnisse werden Anfang 2010 vorliegen.

Beim Beschussamt in Ulm wurden zur Abschätzung des Gefährdungspotentials „Vandalismus“ Schlauchmembranproben mit Patronen verschiedener repräsentativer Waffenarten und Kaliber beschossen. Die Beschussstellen wurden zunächst stereomikroskopisch untersucht und bildanalytisch mit der Extended-Focal Imaging Methode ausgewertet. Die größten Durchmesser der Rückseiten der Beschussstellen waren in der Regel mehr als doppelt so groß wie die nahezu kreisförmigen Einschussstellen. Bild 3 zeigt exemplarisch eine stereomikroskopische Aufnahme für das Kaliber 308 Winchester, 7,62 x 51, Vollmantel-Spitz-Weichkern-Geschoss, mit der Geschossgeschwindigkeit 842 m/s.





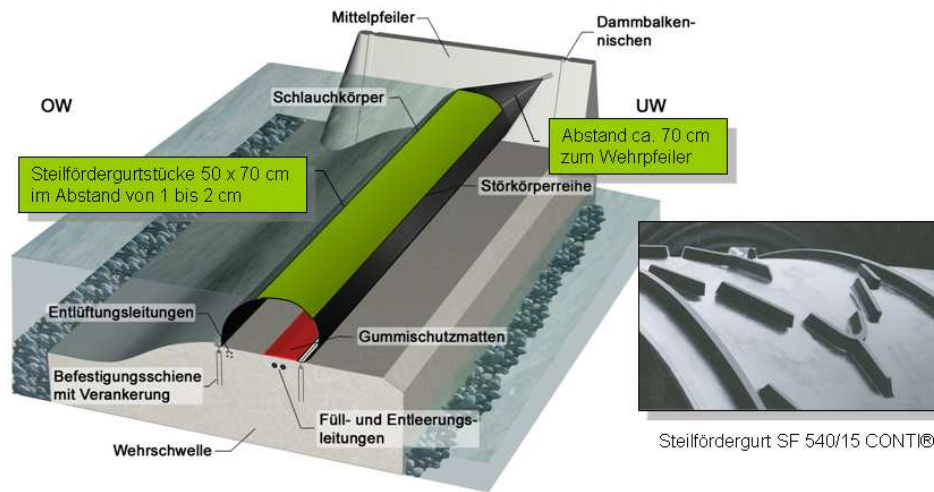
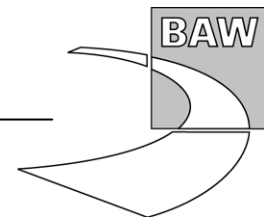
**Bild 3:** 14 mm dicke zweilagige Schlauchmembran. Links Einschussstelle in der Deckschicht. Rechts durchgeschossene Rückseite.

Aus den Betriebserfahrungen älterer, wassergefüllter Anlagen ist bekannt, dass bei kleineren Verletzungen mit einer täglichen Leckage von bis zu 2 m<sup>3</sup> die Betriebsfähigkeit der Anlage nicht beeinträchtigt wird. Zur Bewertung und Abschätzung mit den bisherigen Betriebserfahrungen wurde eine Messeinrichtung für die Prüfung der Wasserdurchlässigkeit der Einschussstellen konzipiert. An den Einschussstellen des Kalibers . 22 lr (Sportschützen, Biathlon) wurden mit ca. 0,8 l/h die größten Wasserdurchlässigkeiten gemessen. Aus den beschossenen Materialproben wurden Schulterstäbe mit jeweils mittigen Einschussstellen für Zugversuche ausgestanzt. Die ersten Ergebnisse dieser Zugversuche liegen bereits vor.

#### 4 Zukünftiges Arbeitsprogramm

Bisher konnte gezeigt werden, dass das Aufbringen von Deflektoren oder Störkörpern auf die Schlauchmembran wirkungsvolle Maßnahmen darstellen, um Resonanzschwingungen zu verhindern. Eine Störkörperreihe wurde an den Schlauchwehranlagen in der WSV realisiert (s. Bild 1). Da Störkörper auf der abgelegten Membran dem Angriff von Strömung, Sedimenten und Treibgut ausgesetzt sind, sollen mit Hilfe von In-situ Untersuchungen an einem bestehenden Schlauchwehr an der Saalach geprüft werden, ob durch profilierte Elastomerbänder, wie sie z.B. im Bergbau eingesetzt werden, eine ähnliche Wirkung erzielt werden kann. Ziel ist es, eine starke Erhöhung der Turbulenz in der Strömung zu erreichen und gleichzeitig die Angriffsfläche der Störelemente zu reduzieren (s. Bild 4).

Die unter Abschnitt 1.2 und 2. beschriebenen Untersuchungen sollen in den Jahren 2010 bis 2011 durchgeführt und im Jahr 2011 in Form eines Merkblattes dokumentiert werden.

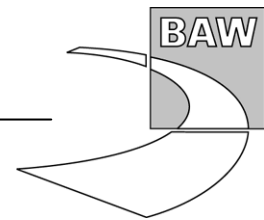


**Bild 4: Alternative zur Störkörperreihe? - Turbulenz durch Profilierung. Geplanter In-Situ Versuch am Saalachwehr**

## Literatur

- Gebhardt, M. (2009): Wehranlagen mit elastischen Verschlüssen. In: Karlsruher Wirtschaftsspiegel, Nr. 52, pp.76.
- Maisner, M.; Gebhardt, M ; Gabrys, U. (2009): Anforderungen an Werkstoffe für Schlauchmembrane. In: KGK - Kautschuk, Gummi, Kunststoffe, Heft 10, Hüthig Verlag, pp.537-539.
- Maisner, M.; Gebhardt, M ; Gabrys, U. (2009): Anforderungen an Werkstoffe für Schlauchmembrane. IRC 2009, Internationale Kautschuk-Tagung, Poster-Session, 30. Juni – 2. Juli 2009, Nürnberg.
- Maurer, A.; Hassler, M ; Schweizerhof, K. (2009): Modeling of inflatable dams partially filled with fluid and gas considering large deformations and stability. International Conference on Textile Composites and Inflatable Structures, Structural Membranes 2009, Barcelona.





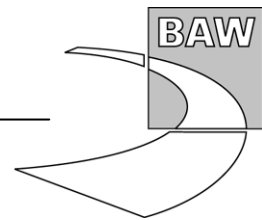
T. Dettmann, Prof. Dr. B. Söhngen, BAW Karlsruhe  
**Fahrdynamische Modellverfahren**

Als technisch-wissenschaftlicher Berater und Gutachter der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) führt die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) regelmäßig Befahrbarkeitsanalysen an Binnenwasserstraßen durch. Hierfür werden verschiedene numerische Modellverfahren eingesetzt. Diese Verfahren wurden in erster Linie für die Ausbauplanung von Wasserstraßen und zur Analyse einer sicheren und leichten Fahrt mit normaler Schiffsgeschwindigkeit in längeren Streckenabschnitten unter Flachwasserbedingungen entwickelt.

Die Entwicklung fahrdynamischer Modellverfahren war in der BAW stets geprägt durch die projektbezogenen Fragestellungen der WSV. Im Jahr 1971 veröffentlichte Graewe seinen Ansatz zur Berechnung der notwendigen Fahrspurbreite eines Schiffes. Um die dazu benötigten Driftwinkel zu erhalten, wurde in der BAW das Messsystem „Fahrdyn“ entwickelt. Infolge dieser gestiegenen Anforderungen wurden auch die Werkzeuge für die planenden Dienststellen der WSV an die neuen Anforderungen angepasst. Der Driftwinkel verlor seine zentrale Bedeutung für die Berechnung der Fahrspurbreite und wurde durch die Position des Taktischen Drehpunktes ersetzt. Im Jahr 1995 das Verfahren „TRASSE“, mit dem entlang einer konstruierten Kursachse unter Zuhilfenahme dieses Punktes Schleppkurven generiert werden. Im Zusammenhang mit den Planungsarbeiten für den Ausbau der Mittelweser wurde dieses Verfahren als „Pegelabhängige Trassierung - PeTra 1D“ weiterentwickelt, indem der Einfluss der Strömungsgeschwindigkeit des Flusses auf die Fahrspurbreite berücksichtigt wird. Darüber hinaus verfügt dieses Verfahren über ein Modul zur automatischen Kursachsengenerierung.

Untersuchungen, bei denen die Schifffahrt Querströmungen ausgesetzt ist, führten dazu, weitere Entwicklungen an den fahrdynamischen Modellen einzuleiten. So wurde in enger Zusammenarbeit mit der Universität Rostock das Verfahren PeTra 1D als echtes 2D-Verfahren weiterentwickelt, indem die drei Bewegungsgleichungen für die Fahrt eines Schiffes in der Ebene gelöst werden, wobei sich das Schiff in einem zweidimensionalen tiefengemittelten Strömungsfeld bewegt. Zusätzlich sind erstmals die Wirkung der Propulsions- und Ruderorgane des Schiffes berücksichtigt. Damit dieses Verfahren eine Laufzeitumgebung erhält, die den künftigen Anforderungen Rechnung trägt und es erlaubt, Nautiker mit Revierkenntnissen in die Beurteilung von Sicherheit und Leichtigkeit eines Fahrtreviers mit einzubeziehen, hat sich die BAW entschieden, einen kommerziellen Schiffsführungssimulator vom Typ ANS 5000 der Firma Rheinmetall Defence Electronics zu beschaffen. Für den Betrieb des Simulators werden Schnittstellen geschaffen, damit die in der BAW vorhandenen numerischen Abflussmodelle in den Simulator eingespeist werden können. Zusätzlich wird das beschriebene Modellverfahren PeTra 2D als alternatives Verfahren zu den im ANS 5000 enthaltenen Modellen implementiert.

Dieser Simulator besteht aus einer Binnenschiffsbrücke, auf der alle Bedienelemente original vorhanden sind, einem Radarsimulator und einem Sichtsystem, bestehend aus drei 46“ Monitoren. Alle Anzeigeelemente werden generisch in die beiden schräg eingelassenen Bildschirme neben dem Radarpielen erzeugt. Dies gewährleistet ein Höchstmaß an Flexibilität der zu simulierenden Schiffstypen. Über die beiden Bildschirme links und rechts vor den Bedienele-



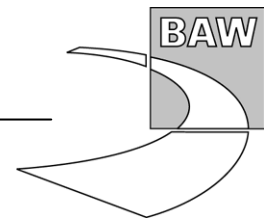
menten können alle Bordeinrichtungen bedient werden, die implementiert sind aber für die Untersuchungen der BAW nicht im Original vorhanden sein müssen.



BAW-Schiffsführungssimulator ANS 5000 am Standort Karlsruhe.

Um Einflüsse wie schiff erzeugte Wellen und Veränderungen des Strömungsfeldes zu erfassen, entwickelt Dr. Schröter im Auftrag der BAW ein Verfahren zur Berechnung schiffsinduzierter Wellen und deren Ausbreitung auf der Grundlage der Boussinesq-Gleichungen. Derzeit sind im zugehörigen Verfahren „BoWave 2D“ die Berechnung schiffsinduzierter Wellen, das Aufsteilen bis zum Brechen der Wellen infolge Strömungsfeld, Viskosität, Boden- und Wandreibung sowie die Veränderung des Strömungsfelds infolge der Schiffsbewegung modelliert. Aktuell wird das Modellverfahren für den Einsatz im Schiffsführungssimulator echtzeitfähig gemacht.

Es ist vorgesehen, das fahrdynamische Modell und BoWave 2D innerhalb des Schiffsführungssimulators miteinander zu koppeln. Dabei wird die Schiffsbewegung auf Grund der äußeren hydraulische Kräfte sowie der Ruder- und Antriebskräfte in dem fahrdynamischen Modell berechnet und anschließend an BoWave 2D übergeben. In BoWave 2D werden Strömungsfeld und Wasserspiegelauslenkung infolge dieser Bewegung und unter Beachtung der 3D-Geometrie der Gewässerberandung nachgeführt und das veränderte Strömungs- und Druckfeld um das Schiff sowie die Wasserspiegelauslenkung wiederum an das fahrdynamische Modell zurückgegeben, das die neue Position des Schiffes berechnet.

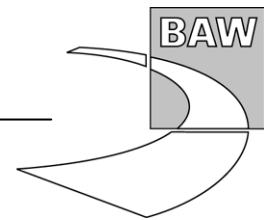


Aus dieser gekoppelten Betriebsweise werden folgende Verbesserungen der Modellergebnisse erwartet: Zum einen erhält man durch die Wellengenerierung und Berechnung der Wellenausbreitung Informationen über die hydraulischen Belastungen am Ufer durch Wellen und Strömung. Für die Fahrdynamik wird andererseits eine verbesserte Modellierung der Wechselwirkung Schiff / Wasserstraße und Schiff / Schiff möglich. Darüber hinaus erhofft sich die BAW durch die Berücksichtigung der Wasserspiegeldeformation verbesserte Informationen über den Squat und die dynamische Trimmelage und letztendlich über die Druckbilanz während der Laufzeit eine verbesserte Modellierung der Bankeffekte.

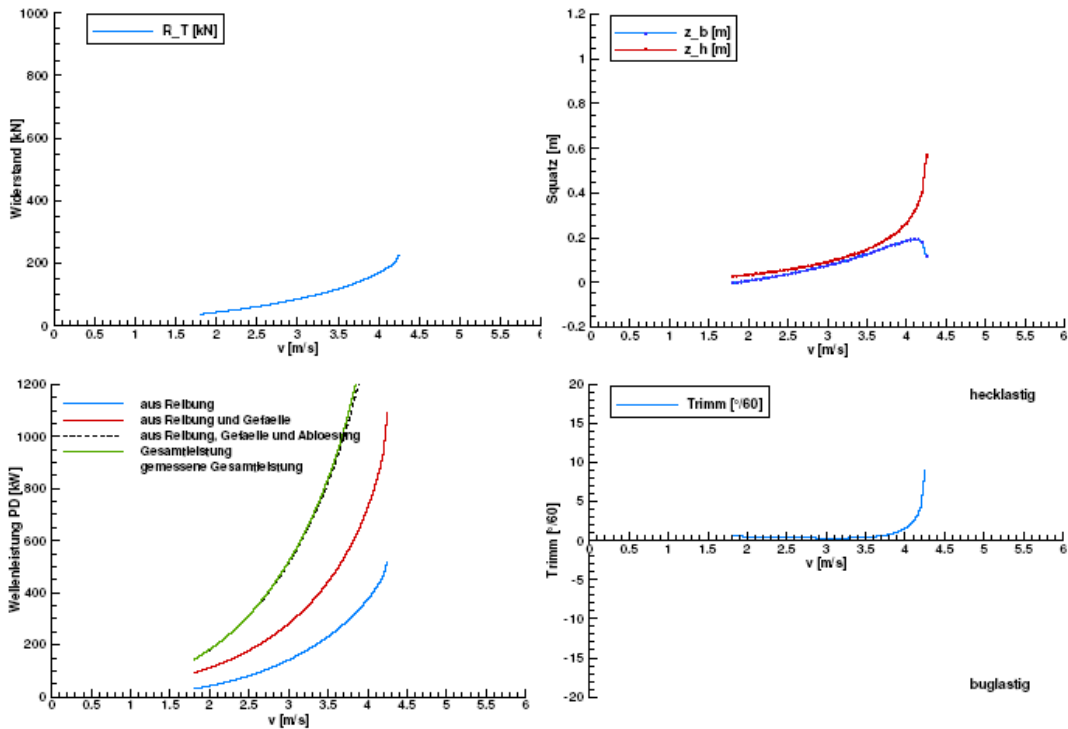
Da die mit den fahrdynamischen Modellverfahren der BAW zu bearbeitenden Fragestellungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung i. d. R. stark eingeschränkte Fahrwasserhältnisse betreffen, kommt der Modellierung des Schiffswiderstandes, des Propellerschubs und der Quer- und Längskräfte aus modernen Ruderanlagen eine besondere Bedeutung zu, weil diese Kräfte das Fahrverhalten, z. B. die erreichbare Schiffsgeschwindigkeit oder den Querversatz im Querströmungsfeld, ganz erheblich beeinflussen. Bekannte Ansätze aus der schiffbaulichen Literatur, die derzeit in Simulationsverfahren integriert sind, können u. a. die Abhängigkeit der v. g. Kräfte von Flachwassereffekten, vom Querschnittsverhältnis, von der Sohlenrauheit, der Strömungsgeschwindigkeit, dem Flottwasser oder von modernen Bauformen der Binnenfahrzeuge nur unzureichend wiedergeben.

Hierzu wurden in den vergangenen Jahren mehrere Modellverfahren entwickelt, u. a. das Programm BSQUAT, das es auf der Basis sektionenweise angeschriebener Bernoullischer Gleichungen erlaubt, den Schiffswiderstand mit seinen für das Binnenschiff maßgebenden Komponenten: Reibungswiderstand, Ablösewiderstand und Gefällewiderstand, den Leistungsbedarf und das fahrdynamische Einsinken des Schiffes, in Abhängigkeit von der Wasserverdrängung, der Schiffsgeschwindigkeit, der Strömungsgeschwindigkeit, der Sohlenrauheit und des Versperrungsverhältnisses im allseits beschränkten Fahrwasser realitätsnah zu berechnen. Das Modellverfahren wurde an umfangreichen Daten aus Modell- und Naturversuchen kalibriert. Das folgende Beispiel zeigt die errechnete Abhängigkeit der vorgenannten Größen für die Bergfahrt eines GMS bei GIW + 1,25 m am Pegel Kaub (Tiefgang 2,75 m, Wassertiefe 3,4 m, Strömungsgeschwindigkeit 1,6 m, Sohlrauheit 0,2 m) von der Schiffsgeschwindigkeit relativ zum Wasser  $v$ . Der aus der Fahrpraxis bekannte große Leistungsbedarf, der sich zu rund 1200 kW bei  $v = 3,9$  m/s bzw. über Grund  $2,3$  m/s = 8,3 km/h errechnet und die stark hecklastige Vertrimmung, werden von den Modellrechnungen gut wiedergegeben.

Ein weiteres Programm betrifft die Ruderwirkung von Bugstahl- und Heckruderanlagen mit Einzel- und Zwillingsrudern. Es wurde in Zusammenarbeit mit der Universität Duisburg und dem DST (Modellversuche) entwickelt. In Erweiterung gängiger Ansätze wurde beim Bugstrahlruder die Sogwirkung einer Strömungsablösung auf der Strahlseite des Ruders berücksichtigt, mit der die Abnahme der Ruderwirkung bei großen Schiffsgeschwindigkeiten gut erfasst werden kann. Weiterhin wurde der Einfluss des Flottwassers auf die angesaugte Wassermenge und damit auf den möglichen Strahlimpuls modelliert. Bei den Heckruderanlagen wurde zusätzlich zur Auftriebskraft am Ruderblatt aus der Tragflügeltheorie die Impulsuml-

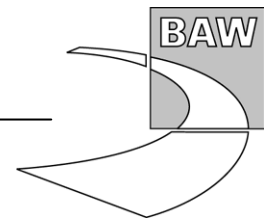


kung aus dem abgelenkten Propellerstrahl, die insbesondere bei Zwillingsrudern auftritt, berücksichtigt. Nur so können die großen Ruderquer- und Längskräfte, die von modernen Binnenschiffen erzeugt werden können und ihre guten Manövriereigenschaften erklären, praxisgerecht modelliert werden.



Berechnungen mit dem Programm BSQUAT zur Bergfahrt eines GMS in der Gebirgstrecke des Rheins

Simulationen in der BAW sollen überwiegend im Sinne von fast time-Simulationen mit einem noch weiter zu entwickelnden Regelkreislauf durchgeführt werden. Werden Simulationen notwendig, bei denen die Verkehrssituation, zusammen mit den Sichtbedingungen und dem „human factor“, entscheidend sind, z. B. bei starkem Verkehrsaufkommen im stark eingeschränkten Fahrwasser, werden derartige Simulationen in der BAW nur vorbereitet. Die eigentlichen Simulationen sollen dann von Betreibern auf baugleichen Simulatoren durchgeführt werden, die über die notwendige Schiffsbrücke verfügen.



P. Fleischer, Dr. R. Soyeaux, BAW Karlsruhe

## **Alternative technisch-biologische Ufersicherungen – Quantifizierung ihrer Belastbarkeit und Möglichkeiten ihrer Anwendung an Binnenwasserstraßen**

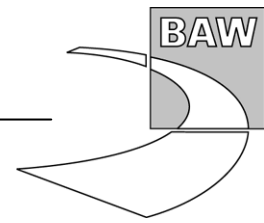
### **1 Problemdarstellung und Ziel**

Um die Ufer von Binnenwasserstraßen dauerhaft vor Erosionen und anderen negativen Auswirkungen infolge hydraulischer Belastung aus Schifffahrt zu schützen, werden diese in der Regel mit technischen Deckwerken aus Steinschüttungen oder Spundwänden gesichert. Grundlage der Anwendung ist ein breites Regelwerk der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV). Seit Inkrafttreten der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) im Jahr 2000 erhalten ökologische Gesichtspunkte bei allen Aus- und Neubaumaßnahmen an Wasserstraßen zunehmend einen größeren Stellenwert. Auch im Rahmen der Unterhaltung sind technische und ökologische Aspekte gleichermaßen zu berücksichtigen. Dementsprechend sind verstärkt naturnahe, technisch-biologische Ufersicherungen als Alternative zur klassischen Steinschüttung anzuwenden. Für deren Einsatz an Wasserstraßen gibt es bisher allerdings nur sehr wenig Erfahrungen und noch keine Regelwerke. Aus diesem Grund werden seit einigen Jahren in einem Gemeinschaftsprojekt der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) und der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) Untersuchungen zur hydraulischen Belastbarkeit alternativer technisch-biologischer Ufersicherungen unter Berücksichtigung der Schifffahrt mit dem Ziel durchgeführt, Anwendungsempfehlungen und Bemessungsgrundlagen für deren Einsatz an Binnenwasserstraßen zu erarbeiten.

Mit den Untersuchungsergebnissen werden dem planenden Ingenieur der WSV sukzessiv fundierte Grundlagen zur Anwendung von alternativen technisch-biologischen Ufersicherungen zur Verfügung gestellt. Damit steht eine wichtige Entscheidungshilfe zur Verfügung, wenn im Rahmen von Unterhaltungs-, Ausbau- und Neubaumaßnahmen an Binnenwasserstraßen anstelle konventioneller alternative Ufersicherungsmaßnahmen angewendet werden sollen. Im Rahmen der Umsetzung der WRRL an Binnenwasserstraßen können Vorschläge der Länder zu ökologischen Uferumgestaltungen auf dieser Grundlage beurteilt und geprüft werden.

Alternative technisch-biologische Ufersicherungsarten, die sich aufgrund der durchgeführten Untersuchungen als geeignet für die Anwendung an Wasserstraßen erwiesen haben, werden in einem Regelwerk zusammengestellt. Dabei wird die vorrangige Eignung für Kanäle, Flüsse oder seenartige Erweiterungen herausgestellt. Die Belastbarkeit der alternativen Ufersicherungen wird speziell hinsichtlich der besonderen Uferbelastungen infolge Schifffahrt, wie beispielsweise Wasserspiegelabsenk, Bug- und Heckwellen, Wiederauffüllungsströmung, für die es bisher so gut wie keine Erfahrungswerte gibt, quantifiziert. Hinweise für Einbau und Unterhaltung werden gegeben.





## **2 Untersuchungsmethoden**

Da das Projekt eine Gemeinschaftsarbeit der Referate Erdbau und Uferschutz (G4, federführend) und Schiff/Wasserstraße, Naturuntersuchungen (W4), bei Bedarf auch Flusssysteme (W1) der BAW sowie der Referate Landschaftspflege/ Vegetationskunde (U3) und Tierökologie (U4) der BfG ist, können sowohl technische als auch biologische Aspekte in gleicher Weise berücksichtigt werden. Folgende Untersuchungsmethoden kommen zur Anwendung:

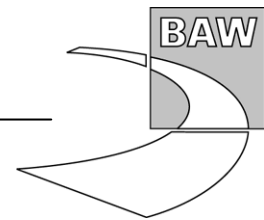
- Sichten und Bewerten vorhandener Literatur (Praxis, Modellversuche und Theorie) und praktischer Erfahrungen erster lokaler Anwendungen in der WSV,
- Durchführung von Naturmessungen und Untersuchungen in bestehenden und neu anzulegenden Versuchsstrecken, Registrierung der technischen und biologischen Randbedingungen sowie hydraulischen Uferbelastungen infolge Schifffahrt,
- Dokumentation und Begutachtung des Zustandes alternativer Ufersicherungen einschließlich ökologischer Bewertung der Flora und Fauna in den Versuchsstrecken,
- Ermittlung der Belastbarkeit der in den Versuchsstrecken getesteten Ufersicherungen,
- Durchführung und Auswertung von Labor- und Modellversuchen im Wellenbecken,
- Auswertung und Verallgemeinerung der Ergebnisse, Formulierung von Bemessungsansätzen für technisch-biologische Ufersicherungen.

## **3 Erste Ergebnisse und aktuelle Untersuchungen**

Um die Ergebnisse zeitnah der WSV zur Verfügung zu stellen, wurde ein gemeinsames Internet-Fachportal der BAW und BfG eingerichtet (<http://www.baw.de/ufersicherung/index.php>). Hier sind neben Veröffentlichungen und Vorträgen auch die ersten beiden schriftlichen Berichte veröffentlicht. Der erste Bericht ("Untersuchungen zu alternativen technisch-biologischen Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen, Teil 1: Veranlassung, Umfrage und internationale Recherche" BAW/BfG, Mai 2006) beinhaltet die Ergebnisse einer internationalen Literaturrecherche und einer Umfrage in der WSV zu bereits bestehenden ersten Erfahrungen mit alternativen Ufersicherungen. Im zweiten Bericht („Untersuchungen zu alternativen technisch-biologischen Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen, Teil 2: Versuchsstrecke Stolzenau/Weser, km 241,550 – 242,300“, Oktober 2008) sind die Ergebnisse einer umfangreichen Detailuntersuchung in einer bereits vor etwa 20 Jahren angelegten Versuchsstrecke an der Mittelweser dargestellt. In dem Bericht werden alle Randbedingungen, Mess- und Untersuchungsergebnisse sowie Ergebnisse zur Belastbarkeit der vorhandenen technisch-biologischen Ufersicherungen dokumentiert.

Schwerpunkt der Arbeiten im Jahr 2009 bildeten einerseits theoretische Untersuchungen zur Wirkungsweise biologischer Ufersicherungen begleitet von ersten Labor- und Modellversuchen in der BAW und andererseits die Vorbereitungen für eine neu anzulegende Versuchsstrecke am Rhein.

Für die durchzuführenden Labor- und Modellversuche wurde ein Untersuchungsprogramm aufgestellt. Mit Hilfe spezieller Versuche in der Wellengrube der BAW wird die Belastbarkeit verschiedener alternativer Ufersicherungsarten unter definierten Randbedingungen getestet.



In Laborversuchen wird die Änderung der bodenmechanischen Parameter durch den Einfluss von Wurzeln untersucht. Insgesamt geht es darum, die Mechanismen im Detail zu verstehen, wie Pflanzen im Gegensatz zu technischen Ufersicherungen die Standsicherheit eines geböschten Ufers an Wasserstraßen gewährleisten können.

Auf der Grundlage der bisherigen Erkenntnisse begannen 2009 die Vorbereitungen, um in Zusammenarbeit mit dem WSA Mannheim einen 1 km langen Rheinabschnitt bei Worms – km 440,6 bis km 441,6, rechtes Ufer – ökologisch umzugestalten und die vorhandenen technischen Deckwerke (Steinschüttung und z. T. altes Pflaster) durch alternative technisch-biologische Ufersicherungen zu ersetzen. Das Ziel dieser Maßnahme besteht darin, verschiedene alternative Ufersicherungsarten unter ähnlichen Randbedingungen in einem Naturversuch zu testen, um Empfehlungen für weitere Uferumgestaltungen im Zuge der Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie am Rhein und ggf. anderen Wasserstraßen geben zu können.

In einem ersten Schritt erfolgten am betreffenden Rheinabschnitt umfangreiche Voruntersuchungen zur Ermittlung der maßgebenden Randbedingungen im Untersuchungsbereich. Die derzeitig vorhandene Steinschüttung aus Steinen der Klasse LMB<sub>5/40</sub> ist durch regelmäßige Unterhaltungsarbeiten etwa in einer Dicke von 0,6 bis 1,2 m vorhanden. Die Böschungen sind im Mittel 1:2 bis 1:3 geneigt. Im Böschungsbereich stehen überwiegend kiesige Sande mit relativ großer Durchlässigkeit an. Der Anfang der Versuchsstrecke bei km 440,6 liegt noch im Prallhangbereich, der jedoch bis km 441,6 allmählich in einen Gleithang übergeht. Die Fahrrinne ist dementsprechend bei km 440,6 relativ nah am Ufer (minimaler Abstand: ca. 25 m), bei km 441,6 beträgt der minimale Abstand dagegen ca. 140 m. Die im Böschungsbereich örtlich vorhandene Vegetation wurde von der BfG aufgenommen und bewertet. Danach sind größtenteils Arten geringer bis mittlerer Wertigkeit vorhanden. Es gibt einige erhaltenswerte Gebüschelemente, aber insgesamt ist die Strukturvielfalt gering. Eine natürliche Uferzonierung fehlt. Erst ab km 441,350 ist ein ökologisch hochwertigerer Bereich vorhanden. Zu erwartende Strömungsbelastungen bei Hochwasser wurden anhand bereits in der BAW vorhandener hydraulischer Modelle abgeschätzt. Die hydraulische Uferbelastung infolge Schifffahrt wurde in einer 7-tägigen Messkampagne ermittelt. Dabei wurden 552 Schiffe mit ihren Daten einschließlich Uferabstand und Schiffsgeschwindigkeit registriert und die Wasserspiegelauslenkungen sowie die Strömungsgeschwindigkeiten am Ufer gemessen. Parallel dazu wurden bei verschiedenen Rheinwasserständen die hydraulischen Belastungen und die sich daraus ergebenden erforderlichen Deckwerke mit der Software GGBSoft theoretisch ermittelt. Die Auswertungen laufen noch.

Zeitgleich erfolgten unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Voruntersuchungen bereits die Planungen für die neuen alternativen Ufersicherungen. Auf der 1 km langen Versuchsstrecke werden 9 Abschnitte unterschiedlich gestaltet. Dabei gibt es 5 Abschnitte, in denen die vorhandene Steinschüttung oberhalb der Mittelwasserlinie vollständig entfernt wird. Alternativ werden Spreitlagen (quer und längs zur Fließrichtung – Varianten 2 und 3), Kammerdeckwerke und Röhrichtgabionen (Variante 5, siehe Bild 1), Böschungsschutzmatten und Röhrichtmat-

ten (Variante 7) angeordnet. Am Ende der Versuchsstrecke ist eine „Nullvariante“ (Variante 9) vorgesehen, bei der die entsteinte Böschung einer natürlichen Sukzession überlassen wird.

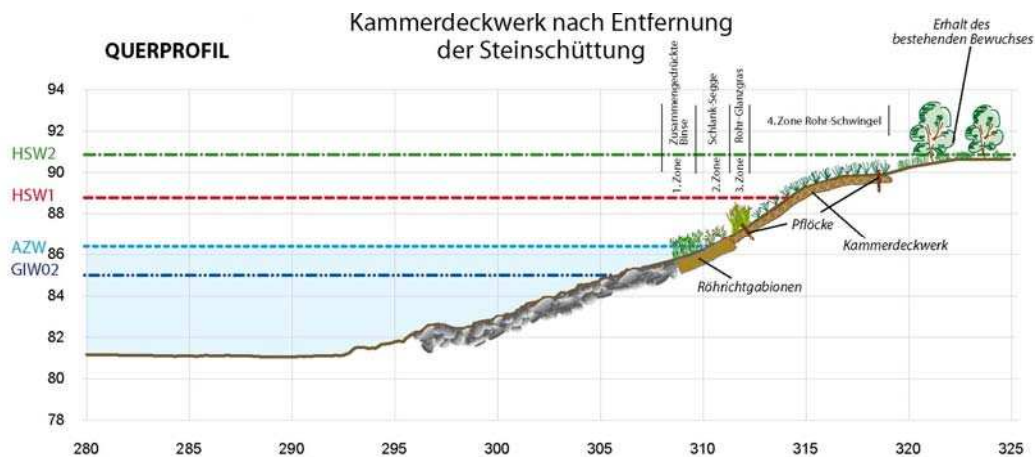


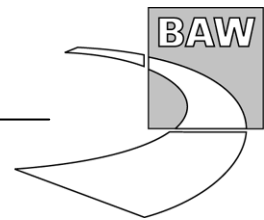
Bild 1: Versuchsstrecke am Rhein - Geplante Variante 5 „Kammerdeckwerk und Röhrichtgabionen“

In den übrigen Bereichen bleibt die Steinschüttung erhalten und wird durch Einbeziehung von Pflanzen ökologisch aufgewertet. Die Untersuchung dieser technisch-biologischen Varianten ist wichtig, um ökologische Verbesserungen auch dort zu ermöglichen, wo aus hydraulischen Gründen nicht auf eine Steinschüttung verzichtet werden kann. Eine Aufwertung erfolgt durch Setzstangen (Variante 1), Überschüttung mit Kies (Variante 4), Begrünung mit Gräserkräutern und Bepflanzung (Variante 6). Im Abschnitt 8 sollen bessere Bedingungen für zum Teil bereits vorhandene Röhrichte durch Anordnung eines Steinwalls zum Schutz vor Wellenschlag geschaffen werden. Bei diesen Varianten kann erhaltenswerter Bewuchs gut integriert werden.

Die Bauausführung in der Versuchsstrecke am Rhein ist für März/ April 2011 geplant. Begleitet wird die Maßnahme von einem über mehrere Jahre dauernden umfangreichen Monitoringprogramm. Dabei wird die Vegetationsentwicklung dokumentiert, die Uferstabilität kontrolliert, die hydraulischen Belastungen bei verschiedenen Wasserständen gemessen und die Entwicklung der Fauna beobachtet. Zur ökologischen Bewertung werden von der BfG in diesem Jahr bereits zum Vergleich Untersuchungen zur Fauna (Laufkäfer, Spinnen, Vögel, Reptilien, Makrozoobenthos und Fische) durchgeführt. Auch alle anderen Faktoren, die die Dauerhaftigkeit biologischer Ufersicherungen beeinflussen - wie z.B. Überflutungszeiten, Niederschläge, Trockenzeiten, Beschattung, Vandalismus - werden erfasst und mit ausgewertet.

#### 4 Ausblick

Ab 2010 werden die Labor- und Modellversuche mit verschiedenen alternativen Ufersicherungsarten intensiviert. Die Ausführung der Versuchsstrecke am Rhein wird begleitet und das Monitoring durchgeführt. Parallel dazu werden die Untersuchungen in ausgewählten bestehenden Wasserstraßenabschnitten mit alternativen Ufersicherungen fortgesetzt. Durch Mitar-

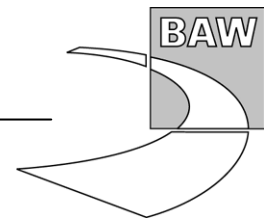


beit im DWA-Ausschuss 1.5 „Alternative Ufersicherungen“ und in der 2009 gegründeten PI-ANC-Working Group InCom WG 128 „Alternative Bank Protection Methods for Inland Waterways“ erfolgt ein intensiver Austausch mit Fachkollegen auf nationaler und internationaler Ebene.

## **5 Literatur**

Alle Berichte, Veröffentlichungen und Vorträge, die im Rahmen des FuE-Vorhabens realisiert werden, sind im Internet-Fachportal der BAW und BfG zu alternativen technisch-biologischen Ufersicherungen abrufbar (<http://www.baw.de/ufer-sicherung/index.php>).





R. Schulze, BAW Karlsruhe

### **Bruch- und Verformungsverhalten von rutschgefährdeten Böschungen unter Berücksichtigung des Dreiphasensystems**

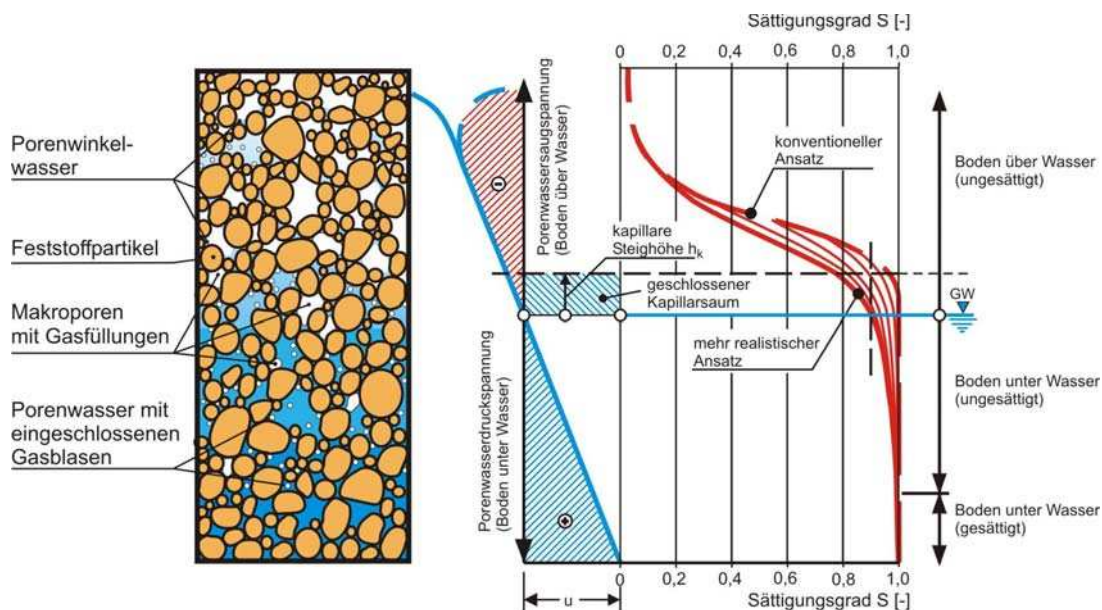
Einschnittsböschungen in überkonsolidierten Tonböden können noch nach vielen Jahren Standzeit kollabieren. Dies ist ein bekanntes Phänomen, das seit vielen Jahrzehnten Gegenstand der Forschung ist. Obwohl ein umfangreiches Verständnis der Versagensprozesse vorliegt, kann derzeit der Zeitpunkt des Böschungsversagens kaum zuverlässig prognostiziert werden. Ein Böschungsbruch kündigt sich jedoch oft durch Verformungen an, was es dem aufmerksamen Beobachter gestattet, Sicherungsmaßnahmen einzuleiten. Das nachfolgend beschriebene Sicherungsverfahren kann zur Sanierung rutschgefährdeter Böschungen beitragen und damit Schadenswirkungen vorbeugen.

Das Sicherungsverfahren mittels Druckentlastungsbohrungen wird am Beispiel einer Anfang des 20. Jahrhunderts in der Nähe von Lühnde am Stichkanal Hildesheim (SKH) hergestellten Einschnittsböschung beschrieben. Der hier untersuchte Einschnitt ist bis zu 20 m tief. Bereits während der Herstellung des Einschnittes kam es zu ersten Rutschungen. Nachdem die extrem steilen Böschungen abgeflacht wurden, konnte der Einschnitt zwar fertig gestellt werden, jedoch kam es nachfolgend wiederholt zu Böschungsbrüchen, die weitere Abflachungen erforderten. Gegenwärtig liegt die Böschungsneigung bei etwa 1 : 3. Seit 1995 wurden im Zusammenhang mit einer geplanten Kanalvertiefung erneut geotechnische Untersuchungen durchgeführt. Der anstehende Boden aus steifem bis halbfestem Ton des unteren bzw. mittleren Jura ist überkonsolidiert und besteht kornanalytisch aus 40-60 % Ton, Rest: Schluff. Die Plastizitätsgrenze liegt bei etwa 22 %, die Ausrollgrenze bei 58 %. Gelegentlich sind schmale Kalksteinbänder eingebettet. Obwohl Trennflächen und Kalksteinbänder die Durchlässigkeit der Tonformation lokal vergrößern, ist dennoch von einer allgemeinen Wasserdurchlässigkeit  $k$  des Tonuntergrundes in der Größenordnung von  $10^{-10}$  bis  $10^{-11}$  m/s auszugehen.

Porenwasserdruck ist ein wichtiger Parameter zur Beurteilung der Standsicherheit von Böschungen. Um zeitabhängige Veränderungen des Porenwasserdrucks besser zu berücksichtigen, können Böden als Dreiphasensystem angesehen werden. Bei diesem Konzept besteht der Boden aus Wasser, Bodenpartikeln und fein verteilten Gasblasen im Porenwasser. Die Gaseinschlüsse existieren auch unterhalb des Wasserspiegels bzw. der piezometrischen Linie. Böden mit Gaseinschlüssen im Porenwasser zeigen ein verändertes mechanisches Verhalten, das auch rechnerisch berücksichtigt werden kann.

Böden unter Wasser werden in der klassischen Ingenieurpraxis als vollständig wassergesättigt angenommen. Diese Annahme entspricht nicht dem tatsächlichen natürlichen Zustand solcher Böden, insbesondere in relativ geringer Tiefe (z. B. bis 15 m

unterhalb der piezometrischen Linie): Dort können unterhalb der piezometrischen Linie mikroskopisch kleine Gasbläschen auftreten. In durchlässigen Böden spielen diese Gaseinschlüsse häufig keine Rolle, daher fand dieser Aspekt in der Geotechnik bisher kaum Beachtung. Gaseinschlüsse können jedoch die Ausbreitung von Porenwasserdruckänderungen deutlich beeinflussen. Dies gilt insbesondere in weniger durchlässigen und relativ steifen Böden. Im Dreiphasensystem ist der Porenraum nicht vollständig wassergesättigt, vielmehr enthält auch das Porenwasser unterhalb des Wasserspiegels gewisse Anteile an Gas (siehe Abb. 1). Bereits bei relativ geringen Gasgehalten ist das Wasser-Gas-Gemisch deutlich kompressibler als im Zustand ohne Gaseinschlüsse. Die größere Kompressibilität des Phasengemischs im Porenraum kann sich u. a. wesentlich auf die zeitliche Entwicklung von Porenwasserdruckänderungen auswirken.



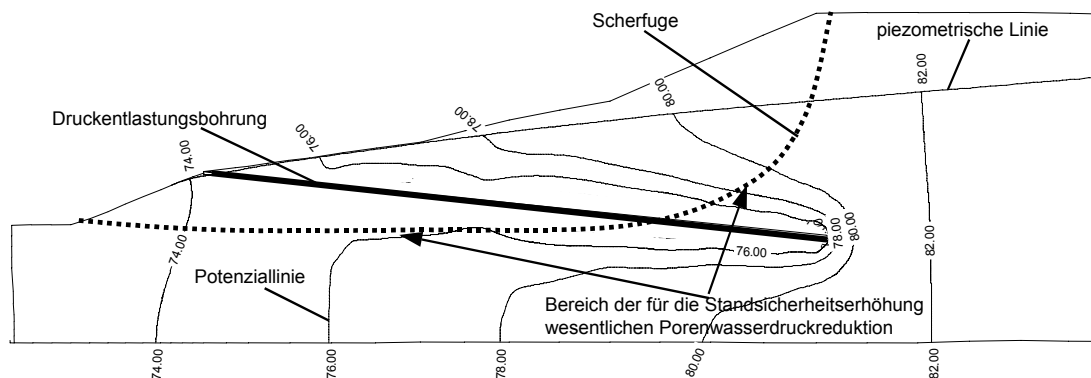
**Abb. 1:** Schematischer Schnitt durch den Boden oberhalb und unterhalb des Wasserspiegels (links); Tiefenverteilung des Sättigungsgrades  $S$  vom ungesättigten zum voll gesättigten Bodenbereich (rechts)

Der Entwurf der Druckentlastung zur Hangstabilisierung basiert auf einer Anwendung des Dreiphasensystems: Hierbei werden in die Böschung hinein fallend geneigte Dränrohre eingebaut. Diese können entweder mit Wasser gefüllt oder auch ungefüllt sein und bewirken einen Porenwasserdruckabbau. Nicht mit Wasser gefüllte (z. B. leer gepumpte) Dränrohre sind offenkundig noch wirksamer, weil der Atmosphärendruck direkt entlang der Bohrung auf den zu entlastenden Boden einwirken kann.

Unter der Voraussetzung, dass die Fließgeschwindigkeit im Dränrohr vernachlässigbar klein bleibt (was bei gering durchlässigen Böden stets der Fall ist), gilt: In einem vollständig mit Wasser gefüllten Dränrohr ist das Potential im gesamten Dränrohr konstant. Das Potential wird allein von der geodätischen Höhe am Austrittspunkt des Dränrohres bestimmt. In einem Dränrohr, das mit Luft gefüllt ist (d. h. evtl. eintretendes

Wasser wird stets entfernt) wird das örtliche Potential als die maßgebende hydraulische Randbedingung entlang des Dränrohres von der jeweiligen örtlichen geodätischen Höhe bestimmt.

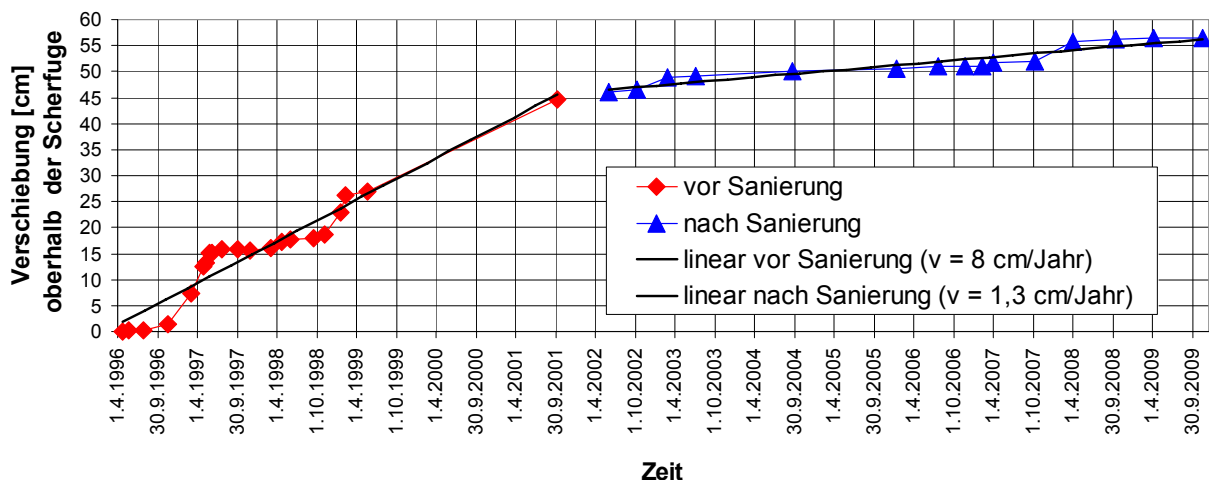
In vielen praktischen Fällen erlauben diese Zusammenhänge eine effektive Anordnung von Dränrohren im unmittelbaren Bereich der potentiellen Scherfuge (siehe Abb. 2). Entsprechend dem Terzaghi-Prinzip erhöht sich die Standsicherheit der Böschung durch eine Vergrößerung der effektiven Spannungen infolge der Druckentlastung (Porenwasserdruckabbau).



**Abb. 2:** Potentialverteilung im Bereich eines flächig ausgebildeten Druckentlastungsdräns, Ergebnis einer instationären FE-Berechnung

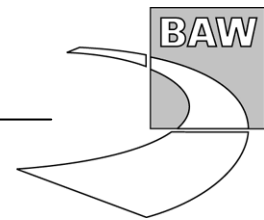
Der Erfolg der Maßnahme hängt prinzipiell davon ab, ob die ursprünglich vorhandene piezometrische Linie hinreichend hoch ansteht.

Um die Wirksamkeit der vorgeschlagenen Sanierungsmaßnahme nachzuweisen, wurde am SKH eine Eignungsprüfung in einer Böschung durchgeführt. In der gefährdeten Böschung wurden Inclinometermessstellen und Porenwasserdrucksensoren installiert und danach Druckentlastungsbohrungen hergestellt.



**Abb. 3:** Verschiebungen des Böschungsfußes bei SKH-km 3,55 (Ostufer) aus Inclinometermessungen vor und nach der Sanierung





Wie erwartet veränderten sich die hydraulischen Verhältnisse im Boden durch die Installation der Druckentlastungsbohrungen grundlegend, indem verschiedene, bereits vorhandene, Trennflächensysteme durch die eingebrachten Bohrungen künstlich miteinander verbunden wurden. Im Bereich der Druckentlastungsbohrungen wurde erwartungsgemäß ein Porenwasserdruckabbau gemessen, wodurch sich die Standsicherheit der Böschung unmittelbar erhöhte. Oberhalb der Druckentlastungsbohrungen tritt die Reduktion des ursprünglichen Porenwasserdrucks wie erwartet nur mit großer Verzögerung ein, was sich jedoch kaum auf die globale Standsicherheit auswirkt.

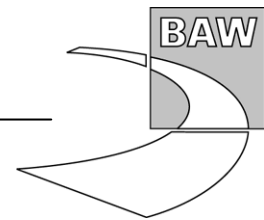
Die Auswertung von Inklinometermessungen zeigt, dass sich im vorliegenden Fall mit der Installation von Druckentlastungsbohrungen und entsprechendem Porenwasserdruckabbau auch die Geschwindigkeit der Hangbewegung im langjährigen Mittel um rund 85 % vermindert hat (siehe Abb. 3).

Zwar wird am SKH durch die Druckentlastung die nach Regelwerk geforderte Sicherheit nicht erreicht, daher wird zukünftig ergänzend die Beobachtungsmethode angewendet. Gegenüber dem Zustand vor dem Kanalausbau kann mit dem vorgeschlagenen Sicherungsverfahren trotz Kanalvertiefung eine wesentliche Standsicherheits-erhöhung gewährleistet werden.

Die beschriebene Methode einer Porenwasserdruckentlastung mittels Druckentlastungsbohrung kann in vielen Fällen eine effektive und oft auch ökonomische Maßnahme zur Böschungsstabilisierung darstellen.

weitere Informationen:

Köhler H.-J. & R. Schulze 2009: Stabilisierung von Einschnittsböschungen mittels Wasserdruckentlastung im stationären und instationären Strömungszustand. *Stabilisierung von Rutschhängen, Böschungen und Einschnitten*, 24. Christian-Veder-Kolloquium, Technische Universität Graz, Heft 35, 295-312, ISBN 978-3-900484-52-1



Dr. R.-B. Wudtke, Prof. Dr. K. J. Witt, Universität Weimar  
**Hydraulischer Grundbruch in bindigen Böden**

## **1 Problemstellung und Ziel**

### **1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens**

Die Auswirkungen von aufwärts gerichteten Grundwasserströmungen auf einen durchgängig bindigen Boden (z. B. Auflockerung und Veränderung der Bodenstruktur) sind bisher nur unzureichend bekannt. In Ermangelung von Ansätzen, welche die bindigen Eigenschaften von Böden umfassend berücksichtigen, werden die Berechnungsverfahren, die für nichtbindige Böden entwickelt wurden, bodenunabhängig angewendet. Da bei diesen Ansätzen die Oberflächenkräfte (Kohäsion) zwischen den sehr feinen Bodenpartikeln bindiger Böden, die beim Versagen in Form eines hydraulischen Grundbruchs als haltende Kräfte wirken würden, vernachlässigt werden, ergeben diese Nachweise geringere Sicherheiten, als dies bei Berücksichtigung dieser Kräfte der Fall wäre.

### **1.2 Bedeutung für die WSV**

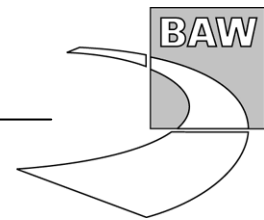
Der Hydraulische Grundbruch ist neben dem Auftrieb und dem Erosionsgrundbruch die wesentliche hydraulische Versagensform. Beim Bau von Baugruben im Grundwasser und bei der Unterströmung von Bauwerken ist diese Versagensform meist der maßgebende Grenzzustand der Tragfähigkeit. Während der Grenzzustand in nichtbindigen Böden hinreichend realistisch bodenmechanisch beschrieben werden kann, gibt es für ein Versagen bindiger Böden nur erste grobe statische Betrachtungen, Zeiteffekte werden bisher gar nicht berücksichtigt. Die nicht unerheblichen Sicherheitsreserven durch die Kohäsion bleiben somit unberücksichtigt. Eine Weiterentwicklung der bisher bestehenden Nachweise wäre somit von erheblichem wirtschaftlichem Nutzen für die WSV.

### **1.3 Untersuchungsziel**

Das Ziel des Forschungsvorhabens besteht in der Untersuchung der Versagensmechanismen in bindigen Böden, die Wasserströmungen mit entsprechend hohen hydraulischen Gradienten ausgesetzt sind. Durch numerische, analytische und versuchstechnische Analysen sollen Erkenntnisse gewonnen werden, die es ermöglichen einen wirklichkeitsnahen Ansatz zum rechnerischen Nachweis des hydraulischen Grundbruchs abzuleiten.

## **2 Untersuchungsmethoden**

Für die Bearbeitung der oben beschriebenen Fragestellungen sind sowohl theoretische Beobachtungen als auch die Durchführung von Versuchen vorgesehen. Die Ergebnisse der theoretischen Untersuchungen, resultierend aus analytischen und numerischen Ansätzen zur Analyse von Spannungs- und Verformungszuständen sowie von hydraulisch verursachten Versagensformen im bindigen Böden, sind Grundlage der Herleitung des Bemessungsansatzes.



zes und werden durch die Ergebnisse von qualitativen und quantitativen Versuche zur Untersuchung der Versagensart ergänzt und begründet.

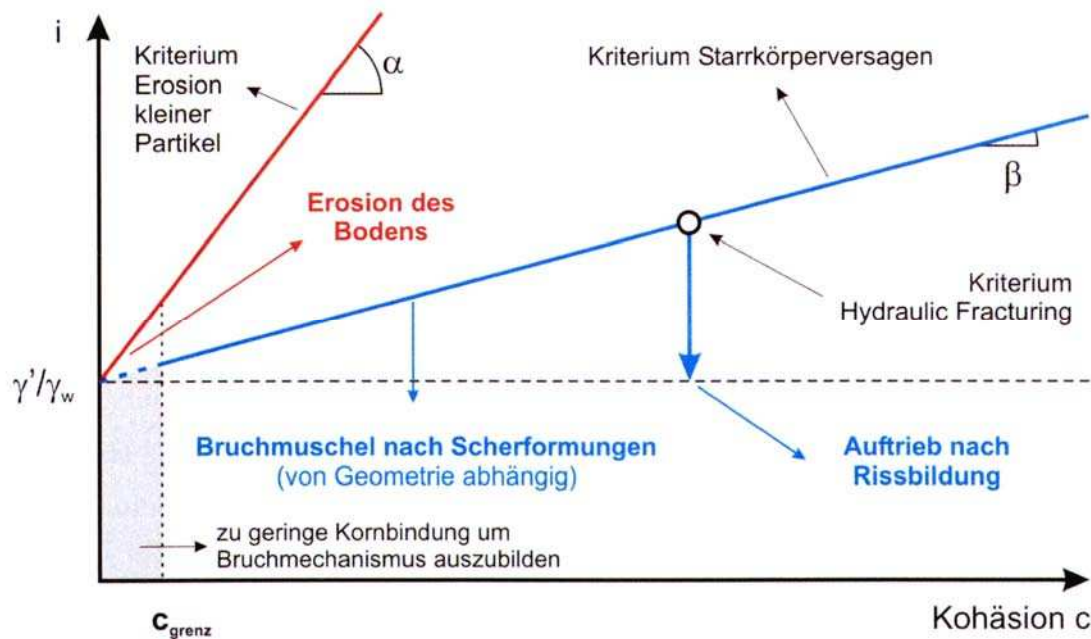
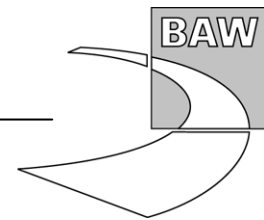
### **3 Ergebnisse und weiteres Vorgehen**

In einem ersten Schritt wurde Prof. Witt (Bauhaus-Universität Weimar) mit der Untersuchung hydraulisch bedingter Versagensformen in Baugrubensohlen sowie der Analyse der an einer Baugrubenwand in bindigem Boden gültigen Spannungszustände und Grenzbedingungen beauftragt.

2005 wurde von Prof. Witt eine Studie zu hydraulisch bedingten Versagensformen in der Sohle von Baugruben vorgelegt. Hierin wurden die wichtigsten durch Wasser hervorgerufenen Transportmechanismen und Versagensformen aufgezeigt sowie eine Detailanalyse zu Nachweismethoden und Bemessungsregeln durchgeführt. Abschließend wurde eine vereinfachte Grenzzustandsfunktion abgeleitet.

Im Jahre 2006 wurde ebenfalls von Prof. Witt eine Studie zu Spannungszuständen und Grenzbedingungen beim hydraulischen Grundbruch erarbeitet mit dem Ziel, die vereinfachte Grenzzustandsfunktion zu verbessern. Außerdem wurde überprüft, ob die zunächst nicht betrachteten Parameter wie Festigkeit, Oberflächenspannung und initiale Deformation relevant sind und ob für das Versagen ggf. Bruchvorgänge maßgebend sind, die bei hohen Wasserüberdrücken im Boden und Fels beobachtet werden (hydraulic fracturing).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass für zumindest schwach bindigen Boden in erster Näherung eine Modellierung des Grenzzustandes als Starrkörperversagen angemessen ist. Weiterhin lässt sich ableiten, dass mit zunehmender Kohäsion und Einspannung des Bodens im Bereich des Wandfußes bei hohen Porenwasserdrücken das Versagen nicht in einem Starrkörperbruchmechanismus, sondern initial in einem Aufreißen der Bodenstruktur im Sinne eines hydraulic fracturing besteht. Der Ort und die Richtung der Rissinitiation werden durch die Größe und Richtung der Hauptspannungen bestimmt, die neben den Gewicht- und Strömungskräften von den Auflagerkräften der umströmten Baugrubenwand mit beeinflusst werden. Bild 1 zeigt qualitativ die Abhängigkeit der Versagensformen von Kohäsion und hydraulischem Gradienten.

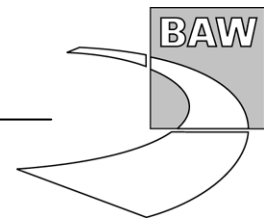


**Bild 1: Definition der Versagensformen auf Grundlage von Kohäsion und hydraulischem Gradienten**

Um die theoretischen Erkenntnisse der Studie „Spannungszustände und Grenzbedingungen an einer Baugrubenwand in bindigem Boden“ weiter zu verfeinern wurden Versuche zur qualitativen Erfassung des Grenzzustandes durchgeführt (vgl. Studie „Visualisierung des durch Strömung verursachten Bruchverhaltens in bindigen Böden“). Als Ergebnis der Versuche lässt sich der Versagensablauf beschreiben durch eine initiale Schädigung in Form einer Rissentstehung gefolgt von einer hydraulisch verursachten strukturellen Zerstörung des Bodenkontinuums, an das sich schließlich ein abruptes Versagen der abstromseitigen Bodenoberfläche anschließt, wobei sich ein diskreter Bodenkörper formiert.

Im Rahmen der Studie "Analyse zur Rissinitiation und Einfluss der Auflagereaktion beim hydraulischen Grundbuch", die 2007 bearbeitet wurde, wurden verschiedene Möglichkeiten zur Ermittlung des Grenzzustandes einer hydraulisch verursachten Rissentstehung im bindigen Boden untersucht. Hierzu zählen die Betrachtung des Spannungszustandes an einer Pore bei Aufweitung der Pore verursacht durch Erhöhung des Poreninnendruckes, die Bruchtheorie nach Griffith und die Rissanalyse bei Anwendungen der Theorie der linear elastischen Bruchmechanik (LEBM) als Applikation für bindigen Boden.

Bei Annahme einer Porenaufweitung wird der Grenzzustand allein durch den lokalen Spannungszustand bestimmt. Bodendeformationen und Variabilitäten der Spannungsverteilung im umliegenden Bodenkontinuum werden hierbei nicht berücksichtigt. Die Anwendung der Bruchtheorie nach Griffith ermöglicht zwar die Berücksichtigung der Deformationseigenschaften des umliegenden Materials, wird jedoch stark von der zugrunde gelegten Schädigung (Risslänge) bestimmt. Die außerdem hinsichtlich einer Anwendbarkeit als Grenzkriterium analysierte



LEBM ermöglicht neben der Darstellung der Auswirkungen verschiedener Einflüsse auf das Bodenkontinuum, wie Normal- und Schubbeanspruchungen, die Berücksichtigung veränderlicher Spannungsverhältnisse, wie diese beispielsweise an einer Baugrubenwand relevant sind.

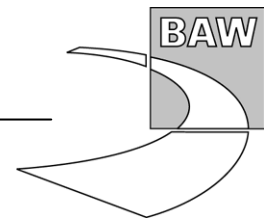
Im zweiten Teil der Studie wurden insbesondere die Auswirkungen der durch die Widerlagerwirkung eines Baugrubenverbaus im Boden aktivierten Verspannung auf den Grenzzustand des hydraulischen Grundbuches untersucht. Hierbei kamen vor allem numerische Verfahren (Plaxis) zur Anwendung. Als Ergebnis ist festzustellen, dass ein direkter Zusammenhang zwischen einer im bindigen Boden als tragfähig beurteilten Stützkonstruktion und einer dadurch auch ausreichenden Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch nicht gegeben ist. Es wurde insbesondere belegt, dass bei der Analyse des Versagens durch einen hydraulischen Grundbruch im bindigen Boden der Spannungszustand und der Wassergehalts des Bodens wesentlich für die Beurteilung der Tragfähigkeit des Bodenwiderlagers sind.

Zur Komplettierung der theoretischen Ergebnisse und Ansätze wurden Versuche ausgeführt, um die Zugfestigkeit unterschiedlich bindiger Böden bei ungesättigten und gesättigten Baugrundverhältnissen anhand indirekter und direkter Analyseverfahren zu messen (vgl. Studie „Zugfestigkeit bindiger Böden“).

Da beim hydraulischen Grundbruch im bindigen Baugrund nicht eine mechanische sondern vielmehr eine hydraulische Bodenzerstörung dominant ist, wurde ein Versuchsaufbau entwickelt, mit dem insbesondere die bei einer entsprechenden Einwirkung aktivierte Zugfestigkeit analysiert werden kann. Bei diesem Versuch wird eine in einem Zylinder definiert eingebaute bindige Bodenprobe ausgehend von einer zentralen Bohrung radial durchströmt, wobei der Gradient sukzessive gesteigert wird. Drücke, Wassermengen und Verformungen der Oberfläche werden gemessen. Neben dem Einfluss der Versuchsmethode wurde auch der Einfluss des Spannungszustandes auf die bodenspezifisch aktivierbare Zugfestigkeit analysiert (vgl. Studie „Untersuchung der hydraulisch bedingten Rissinitiation in bindigem Boden – hydraulische Zugfestigkeit“). Als wesentliches Ergebnis der Versuche kann festgestellt werden, dass die Randbedingungen totaler Spannungszustand, Wassergehalt und Porenanteil bei den für einen hydraulischen Grundbruch in bindigem Boden relevanten Grenzzustandsbedingungen eine gegenseitige Abhängigkeit aufweisen. Für einen bestimmten Satz der Randbedingungen existiert eine noch realisierbare, bodenspezifische, effektive Spannung, die als Grenzzustandsbedingung der Zugfestigkeit des Materials entspricht.

#### **4 Zukünftiges Arbeitsprogramm**

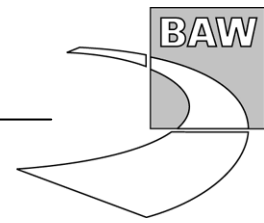
Inhalt des abschließenden Untersuchungsschrittes ist die Herleitung eines begründeten Bemessungsansatzes gegen einen hydraulischen Grundbruch in bindigem Boden. Hierbei werden insbesondere die Erkenntnisse des im bindigen Boden gültigen Versagensablaufes als für einen bestimmten Versagensfortschritt relevante Widerstandsanteile berücksichtigt. Im Fokus steht hierbei die Entwicklung eines Entscheidungsbaumes zur Identifikation der an unterschiedlichen Baugrubensituationen relevanten Versagensarten als Grundlage der Ermittlung



des gültigen Berechnungsverfahrens im bindigen Boden. Die Möglichkeiten des Verfahrens werden an einem exemplarischen Beispiel dargestellt.

### **Literatur**

- Wudtke, R.-B.; Witt, K. J.: "A static Analysis of Hydraulic Heave in Cohesive Soil", Proceedings of the 3rd International Conference on Scour and Erosion, 01.-03.11.2006, Amsterdam, CURNET, S. 251
- Witt, K. J.; Wudtke, R.-B.: "Versagensmechanismen des Hydraulischen Grundbruchs an einer Baugrubenwand", 22. Christian Veder Kolloquium, 12.-13.04.2007, Graz, S. 229 – 242
- Wudtke, R.-B.; Witt, K. J.: "Phänomene des Hydraulischen Grundbruchs an Baugrubenwänden", Johann-Ohde-Kolloquium 2007, BAW & TU Dresden, 15.11.2007, Hannover, S. 1 – 7
- Wudtke, R.-B.; Witt, K. J.: "Einfluss von Bodenwiderständen beim Hydraulischen Grundbruch", 6. Kolloquium "Bauen in Boden und Fels", 22.-23.01.2008, Ostfildern, S. 147 – 153
- Wudtke, R.-B.: "Failure Mechanisms of Hydraulic Heave at Excavations", Proceedings of the 19. Young Geotechnical Engineers' Conference (EYGEC) 2008, 04.-06.09.2008, Győr (Ungarn), S. 331 – 338
- Wudtke, R.-B.: "Grenzzustände beim Hydraulischen Grundbruch an Baugrubenwänden", Spezialsitzung "Forum für junge Geotechnik-Ingenieure"; 30. Baugrundtagung, 24.-27.09.2008, Dortmund, S. 44 - 45



Dr. T. Brudy-Zippelius, Dr. T. Lege, Dr. R. Weichert, BAW Karlsruhe

### **Morphodynamik der Binnenwasserstraßen – von der Forschung zur Anwendung**

Die Arbeiten der BAW zur physikalischen und numerischen Modellierung morphodynamischer Prozesse schaffen eine Schnittstelle zwischen der Grundlagenforschung und der WSV-Praxis. Neben Forschungsergebnissen, die heute bereits in der Beratungspraxis Anwendung finden, werden laufende und geplante Forschungsprojekte präsentiert, die die Belastbarkeit der Prognosen morphodynamischer Modelluntersuchungen zukünftig verbessern.

In den letzten Jahren hat an den Bundeswasserstraßen die Geschiebemanagement zur Herstellung eines dynamischen Sohlgleichgewichts erheblich an Bedeutung gewonnen. Neben der technischen und wirtschaftlichen Relevanz spielen zunehmend auch ökologische Aspekte eine Rolle. Weil das BMVBS die Zuständigkeit der WSV für die wasserwirtschaftliche Unterhaltung anerkannte, sind die Unterhaltungsaufgaben des Bundes zukünftig auch an den Bewirtschaftungszielen der Wasserrahmenrichtlinie auszurichten, so dass vermehrt morphodynamische Fragestellungen im Zusammenhang mit der Strukturvielfalt und -güte im Gewässer- und Uferbereich beantwortet werden müssen.

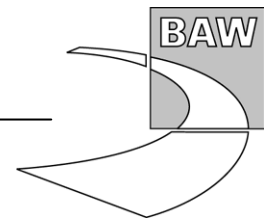
Zur Bearbeitung dieser Aufgaben sind dringend belastbare quantitative Prognosen der hydromorphologischen Auswirkungen von Bau- und Unterhaltungsmaßnahmen an den Binnenwasserstraßen notwendig. Die morphodynamischen Prozesse in den Binnenwasserstraßen weisen eine hohe zeitliche und räumliche Variabilität auf und erfordern je nach Aufgabenstellung eine Betrachtung der Fließgewässersysteme in sehr unterschiedlichen Skalenbereichen. Der routinemäßige Einsatz mehrdimensionaler numerischer Feststofftransportmodelle zur Untersuchung mesoskaliger Phänomene stellt in diesem Zusammenhang eine zentrale Herausforderung der kommenden Jahre für die Abteilung Wasserbau im Binnenbereich dar.

#### **Die Rolle der physikalischen Modellierung**

Die Prognosequalität morphodynamischer numerischer Verfahren wird durch eine enge Verzahnung der Arbeiten auf dem Gebiet der numerischen und der physikalischen Modellierung entscheidend verbessert. Dabei dienen Laboruntersuchungen an Systemrinnen sowohl der Verbesserung des grundlegenden Prozessverständnisses als auch der Generierung von geeigneten Messdatensätzen zur Validierung der numerischen Feststofftransportmodelle. Im Folgenden werden ausgewählte Laborversuche an Systemrinnen mit einer beweglichen Kies- bzw. Sandsohle vorgestellt.

Die Auswirkung einer Gerinneeinschnürung auf Hydraulik und Morphologie wird an der BAW seit 2000 in Laborversuchen untersucht. Die Erhöhung der Fließgeschwindigkeiten im Bereich der Einschnürung führt zu einer Erosion des Sohlmaterials, das nach der unterstromigen Aufweitung des Fließquerschnitts wieder sedimentiert. Diese Versuche wurden bereits von verschiedenen internationalen Institutionen zur Validierung numerischer Verfahren herangezogen.

Der Einfluss von Unterhaltungs- und Regelungsbauwerken auf den Geschiebehalt und die Transportkörper bildet bei der physikalischen Modellierung mit beweglicher Sohle eine zentrale Fragestellung. Eine im Jahr 2009 an der BAW errichtete Systemrinne wird zurzeit für



Untersuchungen zur Analyse statistischer Parameter von Transportkörpern herangezogen. Das weitere Versuchsprogramm für diese Rinne beinhaltet die Modellierung des Feststofftransports über eine durch Grobkornzugabe teilbefestigte Gerinnesohle und die Untersuchung des Einflusses alternativer Bühnenformen auf den Geschiebehaushalt. Diese Effekte haben einen engen Bezug zu anstehenden WSV-Aufgaben und spielen vor allem bei Sohlstabilisierungsmaßnahmen, beim Kolkverbau und bei der wasserwirtschaftlichen Unterhaltung eine wichtige Rolle. Die Arbeiten werden unter anderem in Kooperation mit dem Leichtweiß-Institut der Technischen Universität Braunschweig durchgeführt.

Zur Auswertung der Labordaten entwickelte die BAW mit der dreidimensionalen Photogrammetrie ein einzigartiges System zur Vermessung der Sohlgeometrie, der Wasseroberfläche und der Oberflächengeschwindigkeiten, welches die zeitliche und räumliche Entwicklung der Sohlenlage sowie die relevanten statistischen Parameter eines Transportkörperfeldes ermittelt. Das System bietet die Möglichkeit während des Betriebs des Modells durch die Wasseroberfläche hindurch die Bewegung eines Transportkörperfeldes zu dokumentieren. Durch die Analyse der Bildfolgen lassen sich die Fortschrittsgeschwindigkeiten, charakteristische Formen der Oberflächenstrukturen und Volumenveränderungen bestimmen.

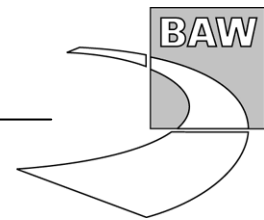
### **Numerische Modellierung**

An der BAW werden verschiedene numerische Verfahren eingesetzt, mit denen die hydraulischen und morphologischen Fragestellungen der WSV beantwortet werden. Ein Baustein dieser Verfahrenspalette ist das Modul Sisyphé, ein in enger Kooperation mit der Electricité de France (EDF) entwickeltes Verfahren zur Feststofftransportmodellierung. Im Folgenden werden wesentliche Forschungsaktivitäten der BAW bei der Weiterentwicklung dieses Verfahrens vorgestellt.

Basierend auf Forschungsarbeiten der Universität Hannover wird bereits seit 1999 das von der EDF entwickelte hydrodynamisch-numerische Verfahren Telemac2D MPI-parallelisiert (Message Passing Interface-Standard) in der Projektbearbeitung der BAW eingesetzt. Im Jahr 2001 folgte mit der MPI-Parallelisierung von Sisyphé durch die BAW der Einsatz eines morphodynamischen Verfahrens auf Grundlage der Gebietszerlegung. Die MPI-Parallelisierung ermöglicht die Berechnung eines numerischen Problems verteilt über eine große Anzahl an einzelnen Prozessoren und schafft somit die Voraussetzung für die morphodynamisch-numerischen Untersuchungen auf hochaufgelösten Berechnungsgittern. Untersuchungen mit einem zweidimensionalen morphodynamischen Verfahren über eine Fließstrecke von ca. 60 km, wie sie im Rahmen des Projekts „Optimierung der hydraulischen und morphologischen Situation zwischen Iffezheim und Mainz“ aktuell durchgeführt werden, sind nur durch den Einsatz dieser Parallelisierungsmethode möglich.

Die Weiterentwicklung des Verfahrens Sisyphé von einer Formulierung des Feststofftransports anhand eines Einkornansatzes hin zu einem fraktionierten Transportmodell mit einem mehrschichtigen Sohlaufbau wurde in den Jahren 2002/2003 von der Technischen Universität Karlsruhe im Auftrag der BAW durchgeführt. Der Einsatz eines fraktionierten Transportmodells führt zu einer verbesserten physikalischen Abbildung der Transportprozesse und ermöglicht detaillierte Aussagen hinsichtlich Sortierungseffekten, Abpflasterungen, Stabilisierungsmaßnahmen und der Zusammensetzung von Geschiebezugabematerial.





Die Richtung des sohnnahen Feststofftransports unterliegt drei maßgeblichen Einflussfaktoren:

- der angreifenden Strömungskraft in der Hauptrichtung des Abflusses in Sohlnähe,
- der Sekundärströmungsbewegung in Sohlnähe und
- der Neigung der Gerinnesohle.

In aktuell laufenden Forschungsk Kooperationen mit dem Karlsruher Institut für Technologie KIT und der Universität Trento werden diese Faktoren näher analysiert. Unter anderem werden die Wechselwirkungen zwischen der Spiralströmung in Flusskrümmungen und der typischen Ausbildung von Sandbänken am Gleithang und Kolkbildungen am Prallhang untersucht und für die weniger rechenzeitintensiven 2D-tiefengemittelten Verfahren adäquat parametrisiert.

Im Rahmen des FuE-Projekts „Untersuchung der Prognosefähigkeit von mehrdimensionalen Feststofftransportmodellen an spezifischen Fragestellungen aus dem Flussbau“ wird mit verschiedenen Methoden der Wahrscheinlichkeitsrechnung eine Quantifizierung der Prognosegenauigkeit der mehrdimensionalen Feststofftransportmodelle angestrebt. Die Entwicklung der statistischen Werkzeuge wird in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Algorithmen und Wissenschaftliches Rechnen SCAI und der Fachgruppe Informatik der RWTH Aachen durchgeführt. Für die BAW ist der Nachweis der Anwendbarkeit und der Grenzen hinsichtlich praxisrelevanter Fragestellungen zu erbringen. Die zentrale Frage ist dabei, mit welcher Sicherheit Feststofftransportmodelle bei welchen Fragestellungen zur Prognose von Sohlentwicklungen eingesetzt werden können.

### **Anwendung in WSV-Projekten**

Die BAW positioniert sich als Bindeglied zwischen Grundlagenforschung und praktischer Anwendung. Die Ergebnisse von Forschungsaktivitäten werden deswegen zeitnah in der Bearbeitung von WSV-Projekten umgesetzt. Einzelne Aspekte der oben genannten Forschungsaktivitäten können anhand erster Ergebnisse der zweidimensionalen Feststofftransportmodellierungen im Rahmen der Projekte „Optimierung der hydraulischen und morphologischen Situation zwischen Iffezheim und Mainz“, „Erstellung eines Regionalkonzeptes zur Optimierung der Geschiebemanagement der Donau“ und „Untersuchung des Unfallsschwerpunktes im Ausgang der Mühlhamer Schleife“ dargestellt werden.



# Teilnehmerliste BAW-Kolloquium

Forschung und Entwicklung im Binnenverkehrswasserbau

2. und 3. März 2010 in Karlsruhe

<b>Name</b>	<b>Institution / Firma</b>
<b>Barth, Wilhelm</b>	Bundesrechnungshof, Prüfungsamt Frankfurt am Main
<b>Bartnik, Wolfgang</b>	Wasserstraßen-Neubauamt Datteln
<b>Behrens, Stefan</b>	Neubauamt für den Ausbau des MLK in Hannover
<b>Berlenbach, Björn</b>	Amt für den Neckarausbau Heidelberg
<b>Brudy-Zippelius, Dr. Thomas</b>	Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe
<b>Brütt, Christian</b>	Knabe Beratende Ingenieure Hamburg
<b>Carstens, Michael</b>	Ingenieurbüro SAV Papenburg
<b>Christ, Dietmar</b>	Walter Hunger GmbH & Co. KG Lohr a. Main
<b>Dageförde, Henning</b>	Colcrete von Essen GmbH & Co. KG Rastede
<b>Damm, Dr. Christian</b>	KIT - WWF-Auen-Institut Rastatt
<b>Dettmann, Thorsten</b>	Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe
<b>Deubig, Kerstin</b>	Amt für den Neckarausbau Heidelberg
<b>Dietrich, Michael</b>	Staatl. Rhein-Neckar-Hafengesellschaft mbH Mannheim
<b>Döhler, Roland</b>	Ingenieur-Büro Döhler GmbH & Co KG Neustrelitz
<b>Donau, Hans</b>	ehem. WSD Südwest Mainz
<b>Eichler, Dieter</b>	Neubauamt für den Ausbau des MLK in Hannover
<b>Erichsen, Jan Thorsten</b>	Aug. Prien Bauunternehmung GmbH & Co. KG Hamburg
<b>Euler, Mathias</b>	Universität Stuttgart
<b>Feldner, H.-P.</b>	Institut für Verbundwerkstoffe GmbH Kaiserslautern
<b>Fischer, Uwe</b>	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung Bonn
<b>Fleischer, Petra</b>	Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe
<b>Franzmann, Jan</b>	IRS GmbH Würzburg
<b>Freitag, Andreas</b>	IRS GmbH Würzburg

<b>Name</b>	<b>Institution / Firma</b>
<b>Furcher, Torsten</b>	Neubauamt für den Ausbau des MLK in Hannover
<b>Gabrys, Ulrike</b>	Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe
<b>Garke, Christian</b>	Wasserstraßen-Neubauamt Aschaffenburg
<b>Gebhardt, Dr. Michael</b>	Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe
<b>Gheorhin, Dumitru</b>	Schömig-Plan Ingenieurgesellschaft mbH Kleinostheim
<b>Hackmann, Gerhard</b>	Colcrete von Essen GmbH & Co. KG Rastede
<b>Hatzius, Klaus</b>	Schömig-Plan Ingenieurgesellschaft mbH Kleinostheim
<b>Heibaum, Dr. Michael</b>	Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe
<b>Helwany, Mansur</b>	Amt für den Neckarausbau Heidelberg
<b>Hohenreiter, Benedikt</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt Koblenz
<b>Jäppelt, Dr. Ulrich</b>	WTM Engineers GmbH Hamburg
<b>Jarisch, Alexander</b>	Hydroprojekt Ingenieurgesellschaft mbH Weimar
<b>Jelinek, Dr. Dirk</b>	Arcadis Consult GmbH Darmstadt
<b>Jenrich, Dr. Holger</b>	Spezialbau Engineering GmbH Magdeburg
<b>Karcher, Christian</b>	RWE Power Aktiengesellschaft
<b>Kemnitz, Bernhard</b>	Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe
<b>Kieckbusch, Edmund</b>	Ingenieur-Büro Döhler GmbH & Co KG Neustrelitz
<b>Kirchhoffer, Eva</b>	Amt für den Neckarausbau Heidelberg
<b>Klingen, Reinhard</b>	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung Bonn
<b>Knell, Heinz</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt Koblenz
<b>Krämer, Michael</b>	Wasserstraßen-Neubauamt Aschaffenburg
<b>Krug, Andreas</b>	Walter Hunger GmbH & Co. KG Lohr a. Main
<b>Kunz, Claus</b>	Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe
<b>Langjahr, Uwe</b>	Wasserstraßen-Neubauamt Aschaffenburg
<b>Lege, Dr. Thomas</b>	Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe
<b>Lesemann, Dirk</b>	Knabe Beratende Ingenieure Hamburg
<b>Maisner, Matthias</b>	Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe

<b>Name</b>	<b>Institution / Firma</b>
<b>Maßmann, Birgit</b>	Wasserstraßen-Neubauamt Datteln
<b>Maurer, Anne</b>	KIT - Institut für Mechanik Karlsruhe
<b>Meinhold, Wilfried</b>	Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe
<b>Meyer, Bernd</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt Verden
<b>Michels, Klaus</b>	Amt für den Neckarausbau Heidelberg
<b>Montenegro, Dr. Hector</b>	Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe
<b>Moormann, Prof. Dr. Christian</b>	Institut für Geotechnik, Universität Stuttgart
<b>Odenwald, Bernhard</b>	Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe
<b>Rapsch, Hans</b>	IRS GmbH Würzburg
<b>Reschke, Dr. Thorsten</b>	Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe
<b>Reuter, Ritva</b>	Wasserstraßen-Neubauamt Berlin
<b>Riecke, Michael</b>	Spezialbau Engineering GmbH Magdeburg
<b>Ritter, Karin</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt Emden
<b>Roeloffzen, Friedhelm</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt Emden
<b>Römer, Christoph</b>	Amt für den Neckarausbau Heidelberg
<b>Sattler, Timm</b>	IRS GmbH Würzburg
<b>Schäfers, Matthias</b>	IRS GmbH Würzburg
<b>Schneider, Olaf</b>	Hydroprojekt Ingenieurgesellschaft mbH Weimar
<b>Schobbe, Dr. Werner</b>	Bilfinger Berger Ingenieurbau GmbH Wiesbaden
<b>Schömig, Ulrike</b>	Schömig-Plan Ingenieurgesellschaft mbH Kleinostheim
<b>Schubert, Klaus-Dieter</b>	IRS GmbH Würzburg
<b>Schulze, Roland</b>	Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe
<b>Seemann, Steffen</b>	Neubauamt für den Ausbau des MLK in Hannover
<b>Siems, Dr. Michael</b>	Ingenieursozietät Peil, Ummenhofer und Partner Braunschweig
<b>Söhngen, Prof. Dr. Bernhard</b>	Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe
<b>Soyeaux, Dr. Renald</b>	Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe
<b>Spannaus, Max</b>	KIT VA für Stahl, Holz und Steine, Universität Karlsruhe
<b>Stamm, Prof. Dr. Jürgen</b>	Technische Universität Dresden

<b>Name</b>	<b>Institution / Firma</b>
<b>Strack, Martin</b>	Dorsch Consult München
<b>Teichfischer, Thomas</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt Emden
<b>Thilker, Matthias</b>	Aug. Prien Bauunternehmung GmbH & Co. KG Hamburg
<b>Thorenz, Dr. Carsten</b>	Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe
<b>Trautner, Olaf</b>	GFP Ingenieurbüro für Geotechnik Duisburg
<b>Vieth, Heinz Josef</b>	Krebs und Kiefer Beratende Ingenieure Bauwesen GmbH Karlsruhe
<b>Vogel, Christian</b>	RMD Wasserstraßen GmbH München
<b>Vogt, Günther</b>	Wasserstraßen-Neubauamt Aschaffenburg
<b>Weichert, Dr. Roman</b>	Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe
<b>Westendarp, Andreas</b>	Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe
<b>Wiest, Robert</b>	Amt für den Neckarausbau Heidelberg
<b>Wolf, Hans-Werner</b>	E.ON Wasserkraft GmbH Landshut
<b>Wudtke, Robert-Balthasar</b>	Bauhaus Universität Fakultät Bauingenieurwesen - Grundbau Weimar