

2018

Geschäftsbericht der BAW



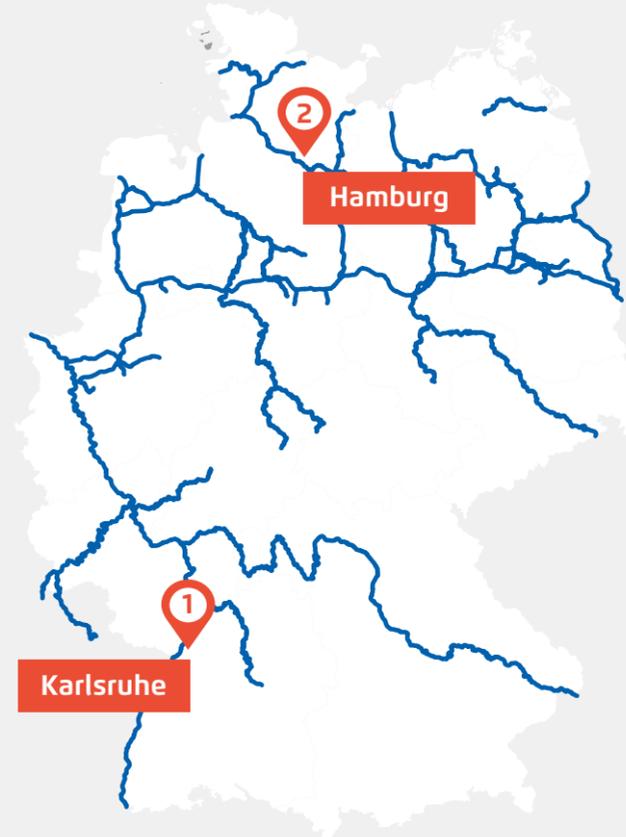
BAWGeschäftsbericht

2018

Organigramm 2018

 <p>Leiter Prof. Dr.-Ing. Christoph Heinzelmann Vertreter: Claus Kunz</p>		<p>Gleichstellungsbeauftragte Dr.-Ing. Andrea Wahrheit-Lensing</p>		
		<p>Datenschutzbeauftragte Daniela Niendorf</p>		
Abteilungen				
 <p>Abteilung Bautechnik Claus Kunz</p>	 <p>Abteilung Geotechnik Dr.-Ing. Jan Kayser</p>	 <p>Abteilung Wasserbau im Binnenbereich Prof. Dr. Ing. Andreas Schmidt</p>	 <p>Abteilung Wasserbau im Küstenbereich Holger Rahlf</p>	 <p>Abteilung Zentraler Service Peter Weinmann</p>
Massivbau	Baugrund-erkundung	Wasserstraße und Umwelt	Küsteningenieurwesen Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen	Verwaltung
Stahlbau/ Korrosionsschutz	Grundbau	Flussbau	Ästuarsysteme I	Technischer Support
Baustoffe	Grundwasser	Wasserbauwerke	Ästuarsysteme II	Datenmanagement und Systemtechnik
Infrastruktur- management	Erdbau und Uferschutz	Schifffahrt	Schiffstechnik	
		Numerische Verfahren im Wasserbau	Geotechnik Nord	
			Geotechnik Küste	

Standorte und Projekte



686

WSV / BMVI Aufträge aktiv
+ 124 Aufträge, die in 2018 beendet wurden = 810

100

FuE aktiv
+ 13 FuE, die in 2018 beendet wurden = 113

58

Drittaufträge aktiv
+ 20 Drittaufträge, die in 2018 beendet wurden = 78

1 Karlsruhe
Kußmaulstraße 17
76187 Karlsruhe
Tel.: +49 (0) 721 9726-0
Fax: +49 (0) 721 9726-4540

2 Hamburg
Wedeler Landstraße 157
22559 Hamburg
Tel.: +49 (0) 40 81908-0
Fax: +49 (0) 40 81908-373

E-Mail
info@baw.de

Internet
www.baw.de

Mehr Güterverkehr auf die Wasserstraßen

Liebe Leserin, lieber Leser,

die Wasserstraßen in Deutschland sind der einzige Landverkehrsträger, der noch über erhebliche freie Kapazitäten für den Gütertransport verfügt. Ganz anders sieht es dagegen bei Straße und Schiene aus.

Anfang des Jahres hat der ADAC seine Staubilanz für 2018 veröffentlicht: Auf den deutschen Fernstraßen wurden rund 745.000 Staus zählt, im Durchschnitt also mehr als 2.000 Staus täglich. Die Gesamtlänge aller Staus betrug etwa 1,5 Millionen Kilometer, was dem 38-fachen Erdumfang entspricht. Der erzwungene Stillstand auf den Straßen summierte sich auf 459.000 Stunden. Und noch ein Befund ist hervorzuheben: Auch im letzten Jahr nahm die Stautendenz weiter zu. So waren es im Jahr 2018 rund 3 Prozent mehr Staus als im Vorjahr, angetrieben durch eine höhere Fahrleistung und mehr Baustellen.

Auch die Bahn hat in großen Teilen ihres Schienennetzes nur noch geringe freie Kapazitäten. Anwohnerproteste gegen den Bau neuer Strecken, langwierige Genehmigungsverfahren und ausgelastete Baufirmen bremsen geplante Ausbau- und Neubauprojekte. Und auch die Digitalisierung des gesamten Schienennetzes, die die Netzkapazität mittelfristig erhöhen soll, ist eine Herkulesaufgabe, die bis zum Jahr 2040 reicht.

Zugegeben: Auch die Binnenschifffahrt hatte im letzten Jahr große Probleme. Die extreme und lang anhaltende Niedrigwasserperiode hat zu gravierenden Einschränkungen auf den Wasserstraßen geführt. Lieferengpässe und Transportverlagerungen auf andere Verkehrsträger waren die Folge. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, ob das Abflussjahr 2018 ein hydrologisches Ausnahmejahr war oder als Folge von Klimaänderungen künftig häufiger erwartet werden muss. Hier lohnt ein Blick in die Niedrigwasserberichte, die die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) in der zweiten Jahreshälfte 2018 auf ihrer Homepage laufend herausgegeben hat.

Nach Aussagen der BfG betrug die Gesamtniederschlagsmenge im hydrologischen Jahr 2018, das ist der Zeitraum vom 1. November 2017 bis zum 31. Oktober 2018, rund 80 Prozent der langjährigen Jahresniederschlagsmenge. Damit lag das Jahr 2018 auf Platz 11 der trockensten Jahre seit Beginn der Wetteraufzeichnungen im Jahr 1881. Spitzenreiter war das Jahr 1947 mit nur etwa 60 Prozent des langjährigen Mittelwerts.

Im Rahmen des mehrjährigen Verbundforschungsprojekts KLIWAS wurden die Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt ausführlich untersucht und

in einem Abschlussbericht im Jahr 2015 veröffentlicht. Ein Schwerpunkt war die Frage nach den Folgen des Klimawandels auf die Niederschläge und die daraus resultierenden Abflüsse. Für die Abflüsse des Rheins ergab sich, dass in der ersten Hälfte des Jahrhunderts keine nennenswerten Änderungen zu erwarten sind, dagegen ist für die zweite Jahrhunderthälfte damit zu rechnen, dass die Sommerniederschläge tendenziell abnehmen und die Winterniederschläge tendenziell zunehmen werden. Insofern kommt die BfG zu der Einschätzung, dass das Jahr 2018 dem Szenario entspricht, das in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts zu erwarten ist. Sie weist aber auch darauf hin, dass die KLIWAS-Ergebnisse durch weitere Forschung abgesichert werden müssen, was aktuell im Rahmen des BMVI-Expertenetzwerks geschieht.

Was können wir als BAW dazu beitragen, dass die Wasserstraßen in Deutschland trotz Klimawandel dauerhaft ein zuverlässiger Verkehrsträger bleiben? Auch hier lohnt ein Blick in den KLIWAS-Abschlussbericht, der unsere Ergebnisse zu verkehrswasserbaulichen Anpassungsmaßnahmen am Beispiel des Mittelrheins zwischen Mainz und St. Goar enthält. Vereinfacht gesagt, lautete die Frage, wie aus wenig Abfluss viel Abladetiefe für die Schifffahrt erzielt werden kann. Die Antwort ist, dass den Folgen des Klimawandels mit flussbaulichen



Maßnahmen (Flussbauwerke, Unterhaltungsbaggerungen) wirksam entgegengesteuert werden kann. Auch temporäre flussbauliche Maßnahmen sind denkbar, die im Niedrigwasserfall die Wasserstände stützen und sich im Hochwasserfall wasserstandsneutral verhalten. Auch wir sind im Rahmen des BMVI-Expertenetzwerks weiter aktiv, Anpassungsoptionen zu entwickeln und zu optimieren.

Mein Fazit lautet: Während die Einschränkungen für die Binnenschifffahrt im Jahr 2018 eher der Ausnahmefall waren, muss auf den Fernstraßen auch im Jahr 2019 mit neuen Staurekorden gerechnet werden. Ein wichtiger Grund, alle Möglichkeiten für Verkehrsverlagerungen auf die Wasserstraßen auszuschöpfen!

Eine interessante Lektüre wünscht Ihnen

A handwritten signature in blue ink, which appears to read "Dr. Christoph Heinzelmann". The signature is fluid and cursive.

Prof. Dr.-Ing. Christoph Heinzelmann
Leiter der Bundesanstalt für Wasserbau

Karlsruhe, im Mai 2019

Inhalt



Interdisziplinäre wissenschaftliche
Begleitung durch die BAW



Erprobung technisch-biologischer Ufersicherungs-
maßnahmen in einem Naturversuch



Wirklichkeitsnahe statische Modellierung
massiver Bestandsbauwerke

6	Innovationsmotor für den Verkehrswasserbau Interview mit Guido Beermann
8	Abladeoptimierung Mittelrhein Interdisziplinäre wissenschaftliche Begleitung durch die BAW
16	Naturnaher Uferschutz am Rhein Erprobung technisch-biologischer Ufersicherungs- maßnahmen in einem Naturversuch
24	Genau genug? Wirklichkeitsnahe statische Modellierung massiver Bestandsbauwerke

32	Ausgewählte Forschungs- und Entwicklungsprojekte
32	BASEWAD – Simulation der morphologischen Entwicklung im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer
34	Einflüsse auf die Strömung im Unterwasser von Wasserkraftanlagen und deren numerische Simulation
36	Smart Repair von Korrosionsschutz- beschichtungen
38	Modellierung der Verformung nichtbindiger Böden unter zyklischer Belastungseinwirkung von Schleusenbauwerken

40	Die Bundesanstalt für Wasserbau
41	Das Jahr 2018
46	Wissenschaftstandem – Begleitung des wissenschaftlichen Nachwuchses
48	Daten und Fakten
52	Anhang
57	Impressum



Festansprache von Guido Beermann,
Staatssekretär im Bundesministerium
für Verkehr und digitale Infrastruktur,
anlässlich des Festkolloquiums
„70 Jahre BAW“

Innovationsmotor für den Verkehrswasserbau

Interview mit Guido Beermann

Herr Beermann, im November letzten Jahres hat die Bundesanstalt für Wasserbau ihr 70-jähriges Jubiläum mit einem zweitägigen Festkolloquium gefeiert. Sie haben bei dieser Veranstaltung die Festansprache gehalten. Welchen Eindruck haben Sie aus Karlsruhe mitgenommen?

Die BAW hat sich als Gastgeberin für ihre rund 230 Gäste aus Verwaltung, Wissenschaft und Unternehmen hervorragend präsentiert. Das Ambiente war passend

gewählt. Ein Kolloquium rund um den Verkehrswasserbau in einer der großen wasserbaulichen Versuchshallen, inmitten der Modelle von Rhein, Lahn und Elbe, hat die Teilnehmer in die besondere Werkstattatmosphäre eintauchen lassen, die das Arbeiten in der BAW ausmacht.

Das fachliche Programm des Festkolloquiums war von der Idee geleitet, eine Standortbestimmung für den Verkehrswasserbau in Deutschland vorzunehmen. Für mich wurde eindrucksvoll bestätigt, welches Alleinstellungs-

merkmal die BAW auf diesem Gebiet in Deutschland hat: Die BAW vereint alle Fachdisziplinen des Verkehrswasserbaus unter einem Dach und ist damit in der Lage, auf die immer komplexeren Fragestellungen ihrer Kunden umfassend, nach dem Stand von Wissenschaft und Technik und aus einem Guss heraus zu antworten. Für die Kunden von besonderer Bedeutung ist auch, dass die BAW nah an der Praxis arbeitet und flexibel auf neue Anforderungen reagiert.

Welche Bedeutung haben Forschung und Entwicklung für die Bundeswasserstraßen?

Wir stehen vor großen verkehrspolitischen Herausforderungen. Im Kontext der Verkehrsinfrastruktur sind dies vor allem steigende Verkehrszahlen, fortschreitende Alterung der Bauwerke, vermehrte Extremwetterereignisse sowie wachsende Umweltaforderungen. In diesem Umfeld haben Forschung und Entwicklung für alle Verkehrsträger immense Bedeutung. Dies gilt gleichermaßen für Straße, Schiene und Wasserstraße. Es liegt auf der Hand, dass die großen Verkehrsfragen nicht isoliert für einzelne Verkehrsträger, sondern nur verkehrsträgerübergreifend bewältigt werden können. Zu diesem Zweck haben wir im Jahr 2016 das BMVI-Expertenetzwerk eingerichtet, in dem sieben Ressortforschungseinrichtungen und Fachbehörden aus dem Geschäftsbereich des BMVI in einem Forschungsnetzwerk zusammengeschlossen sind. Die Arbeit im Expertenetzwerk wird von dem Ziel geleitet, den Verkehr in Deutschland resilient und umweltgerecht zu gestalten. Mit ihrer national und international anerkannten wissenschaftlichen Expertise spielt die BAW dabei eine wichtige Rolle. Die BAW ist Innovationsmotor für den Verkehrswasserbau, sie entwickelt Methoden und prägt Standards. All dies sind wichtige Voraussetzungen für die Arbeit im Forschungsnetzwerk und damit Grundlage für exzellente Politik- und Projektberatung.

Derzeit wird der Arbeitsmarkt durch einen ausgeprägten Fachkräftemangel bestimmt. Ingenieure fehlen an allen Ecken und Enden, um die notwendigen Infrastrukturmaßnahmen zu planen und zu bauen. Wie kann sich die öffentliche Verwaltung in einem solchen Umfeld behaupten?

Es ist richtig, dass uns derzeit die Ingenieure fehlen, um alle Herausforderungen gleichzeitig anpacken zu können. Dies hat auch die „Marktanalyse Ingenieurbau“ bestätigt, die die BAW kürzlich vorgelegt hat. Danach betrug im ersten Quartal 2018 die Zahl der offenen Stellen für Bauingenieure in Deutschland knapp 32.000. Lag das Bauvolumen der privaten und öffentlichen Bauherren im Jahr 2013 bei rund 315 Milliarden Euro, so ist dieser

Wert seitdem kontinuierlich gestiegen. Prognosen für das Jahr 2019 lassen ein Bauvolumen von rund 415 Milliarden Euro erwarten. Die in den vergangenen Jahren deutlich höheren Investitionen in die Verkehrsinfrastruktur haben zu dieser Entwicklung spürbar beigetragen.

Dem Ingenieurmangel können wir nur mit einem Bündel von Maßnahmen entgegenreten: Hierzu zählt eine strenge Priorisierung der Infrastrukturmaßnahmen nach Dringlichkeit, und dies sowohl für den einzelnen Verkehrsträger als auch verkehrsträgerübergreifend. Darüber hinaus müssen wir die Voraussetzungen für einen effektiveren Einsatz der knappen Ressource Bauingenieur schaffen. Hierzu müssen Prozessabläufe optimiert und die Möglichkeiten der Digitalisierung ausgeschöpft werden.

„Mein Besuch anlässlich des Festkolloquiums hat mir gezeigt, dass die BAW auch nach 70 Jahren unverändert jung geblieben ist und mit Kompetenz, Tatkraft und Kreativität ihre anspruchsvollen Aufgaben meistert.“

Guido Beermann

Und noch ein Aspekt ist mir in diesem Zusammenhang wichtig: Wir müssen verstärkt junge Menschen für den Beruf des Bauingenieurs begeistern und uns als öffentlicher Arbeitgeber modern und attraktiv präsentieren. Die BAW ist für mich ein gutes Beispiel, wie Personalgewinnung und Personalentwicklung auch in einem anspruchsvollen Arbeitsmarktumfeld funktionieren können: Präsenz an den Hochschulen und Universitäten, herausfordernde Fachaufgaben, exzellente Geräteausstattung, gute Möglichkeiten zur Fort- und Weiterbildung sowie familienfreundliche Arbeitsbedingungen sind Argumente, die viele Bewerber überzeugen, für eine Zeit oder auf Dauer in der BAW zu arbeiten.

Mein Besuch anlässlich des Festkolloquiums hat mir gezeigt, dass die BAW auch nach 70 Jahren unverändert jung geblieben ist und mit Kompetenz, Tatkraft und Kreativität ihre anspruchsvollen Aufgaben meistert. Hierfür gebührt allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der BAW mein herzlicher Dank!

Abladeoptimierung Mittelrhein

Interdisziplinäre wissenschaftliche Begleitung durch die BAW

Das lang anhaltende Niedrigwasser im Jahr 2018 mit der damit einhergehenden Einschränkung der Rheinschifffahrt hat die Bedeutung einer Entschärfung der Tiefenengpässe zwischen Mainz und St. Goar verdeutlicht. Die BAW unterstützt das Projekt *Abladeoptimierung Mittelrhein* der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) mit ihrer Expertise und leistet damit einen Beitrag für eine leichtere, sicherere und wirtschaftlichere Befahrbarkeit dieser Strecke.

Die Abladeoptimierung Mittelrhein

Im Rheinabschnitt von Budenheim bis St. Goar (Rhein-km 508,0–557,0) beträgt die freigegebene Fahrrinntiefe derzeit 1,90 m unter dem Gleichwertigen Wasserstand (GIW), einem Niedrigwasser-Bezugswasserstand, der nur an ca. 20 Tagen pro Jahr unterschritten wird. Sie ist damit um 0,20 m geringer als in den angrenzenden ober- bzw. unterstromigen Abschnitten. Bei niedrigen und mittleren Wasserständen werden die Abladetiefen und damit die Wirtschaftlichkeit der Rheinschifffahrt maßgeblich durch diesen Stromabschnitt limitiert.

Zur Beseitigung dieses Engpassbereichs wurde das Projekt *Abladeoptimierung Mittelrhein* initiiert, mit dem Ziel, durch eine Vergrößerung der Fahrrinntiefe von 1,90 m auf 2,10 m unter GIW die Verhältnisse für die Schifffahrt zu verbessern. Zusätzlich soll eine Verbesserung der möglichen Abladetiefen bei den häufig auftretenden, wirtschaftlich relevanten mittleren Abflüssen erreicht werden. Die *Abladeoptimierung Mittelrhein* wurde im Bundesverkehrswegeplan 2030 als hochwirtschaftliches Projekt zur Engpassbeseitigung mit vordringlichem Bedarf eingestuft und zudem im Bundeswasserstraßenausbaugesetz verankert, das im Dezember 2016 in Kraft getreten ist.

Die Wasserstraße präsentiert sich im Projektgebiet so vielfältig wie die Regionen, die sie durchquert. Zwischen Budenheim und Bingen (Rhein-km 508,0–528,8) durchströmt der Fluss den Rheingau. Charakteristisch für diesen Abschnitt sind das geringe Gefälle des Rheins mit entsprechend geringen Fließgeschwindigkeiten, die großen Querschnittsbreiten und die zahlreichen Stromspaltungen. Die anschließende obere Gebirgsstrecke beginnt im Bereich der Nahemündung bei Rhein-km 528,8. Mit einem Gefälle von bis zu 0,65 ‰, hohen Fließgeschwindigkeiten, kompakten Abflussquerschnitten und felsdurchsetzter Gewässersohle steht dieser Abschnitt im deutlichen Kontrast zur Rheingau-Strecke.

Die *Abladeoptimierung Mittelrhein* ist nicht gleichzusetzen mit einer großräumigen Vertiefung der gesamten Projektstrecke. Vielmehr müssen zur Optimierung der Abladetiefen zwischen Budenheim und St. Goar vornehmlich sechs lokale Tiefenengpässe (Bild 1) entschärft werden. Vier der sechs Tiefenengpässe werden durch wiederkehrende Sedimentanlandungen innerhalb der Fahrrinne verursacht. Hier gilt es, flussbauliche Regelungsmaßnahmen zur Reduzierung der Anlandungstendenzen zu entwerfen. Die beiden weiteren Tiefenengpässe (Lorcher Werth und Geisenrücken) sind durch Fehltiefen in Bereichen mit fels-

durchsetzter Gewässersohle gekennzeichnet. Eine größere Wassertiefe soll in diesen Engpässen primär durch wasserspiegelstützende Regelungsbauwerke, wie Bühnen oder Längswerke, sowie gegebenenfalls flexible Regelungsbauwerke gewonnen werden. Hinzu kommen lokale Anpassungen der Felssohle im Bereich der Fahrrinne.

Im Gegensatz zu den anderen Tiefenengpässen im Projektgebiet führt der Tiefenengpass Lorcher Werth insbesondere bei mittleren Abflüssen zur Einschränkung der Abladetiefen, weshalb hier die Vergrößerung der Fahrrinntiefe die wirtschaftliche Auslastung der Wasserstraße bei mittleren Abflüssen verbessern wird.

Aufgaben der BAW

Die BAW wurde im Jahr 2015 vom Träger des Vorhabens, dem Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt (WSA) Duisburg-Rhein, mit der fachwissenschaftlichen Begleitung der Projektphase „Vertiefte Voruntersuchung“ der *Abladeoptimierung Mittelrhein* beauftragt. Der Auftrag betrifft unterschiedliche Fachbereiche der BAW, die im Projekt eng miteinander verzahnt sind. Dem Referat Flussbau obliegt die modellgestützte Planung flussbaulicher Maßnahmen zur Optimierung der Abladetiefen im Projektgebiet. Als Basis für eine Kostenschätzung für die vertiefte Voruntersuchung gilt es zudem, den Unterhaltungsaufwand nach erfolgter Fahrrinnenoptimierung abzuschätzen. Maßnahmenbedingte Auswirkungen auf die Schifffahrt, insbesondere die Auswirkungen auf die Fahrdynamik der Binnenschiffe infolge veränderter Strömungs- und Tiefenverhältnisse, sowie die variantenspezifisch erreichbaren Abladetiefen werden durch das Referat Schifffahrt ermittelt. Durch Baugrunduntersuchungen werden umfangreiche Kenntnisse über die Beschaffenheit der Rheinsohle in der oberen Gebirgsstrecke gewonnen, die einerseits für hydraulische Berechnungen, und andererseits zunächst als Grundlage zur Ermittlung eines geeigneten Abtragsverfahrens für die anzupassenden Felsbereiche innerhalb der Fahrrinne dienen. Diesen Fragen geht das Referat Erdbau und Uferschutz nach.

Flussbauliche Planungen

An die potenziellen flussbaulichen Maßnahmen zwischen Budenheim und St. Goar werden vielerlei Anforderungen gestellt, die in den modellgestützten Untersuchungen zu berücksichtigen sind. Die Maßnahmen sollen zielgerichtet den Belangen der Schifffahrt dienen und zu einer nachhaltigen Entschärfung der Engpasssituation führen, wobei wasserspiegelstützende Maßnahmen die Wasserstände bei Hochwasserereignissen nicht erhöhen und Flussauen nicht durch maßnahmenbedingtes Absinken der mittleren Wasserstände vom Gewässer entkoppelt werden dürfen, um nur zwei Beispiele zu nennen.

Die Planungen sind für ein dynamisches hydraulisch-morphologisches System durchzuführen, dessen Entwicklung von vielerlei Prozessen abhängt, die mathematisch

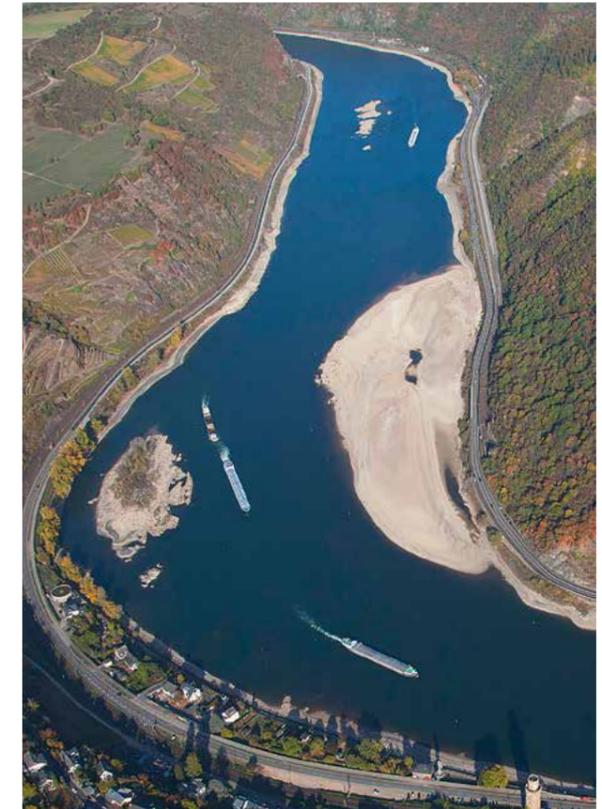


Bild 2: Engpässe Jungferngrund (in Bildmitte) und Geisenrücken (im Bild oben) bei Niedrigwasserabfluss am 23. Okt. 2018 (Wasserstand am Pegel Kaub: 28 cm)

Bild 1:
Tiefenengpässe im Projektgebiet der Abladeoptimierung Mittelrhein



bis heute zum Teil nicht oder nicht ausreichend genau beschreibbar sind. Der modellimmanenten Abstraktion der Prozesse steht ein hoher Genauigkeitsanspruch an die Modellierungsergebnisse in räumlicher und zeitlicher Hinsicht gegenüber, insbesondere wenn es um die weitergehende Bewertung potenzieller Maßnahmen durch andere Fachdisziplinen geht. Dies verdeutlicht die Herausforderungen, die in der Auswahl geeigneter Untersuchungsmethoden aus dem Spektrum mehrdimensionaler numerischer Strömungs- und Sedimenttransportmodelle sowie gegenständlicher Modelle liegen.

Als anschauliches Beispiel hierzu dient der Engpass Jungferngrund, der in einer nautisch anspruchsvollen 90°-Krümmung gelegen ist. Innerhalb der Krümmung grenzt die namensgebende Kiesbank Jungferngrund an den rechten Fahrrinnenrand, unmittelbar links von der Fahrrinne ist die Felsinsel Tauber Werth gelegen (Bild 2).

Der Engpass wird maßgeblich durch Kies- und Sandablagerungen am Innenufer verursacht, welche ca. alle zwei Jahre im Zuge von Unterhaltungsbaggerungen beseitigt werden müssen. Die zum Teil mehrere Wochen anhaltenden Baggerungen führen zu einer temporären Einschränkung der Fahrrinnenbreite und erschweren dadurch die Situation für die Schifffahrt erheblich. Zusätzlich verschärft wird die

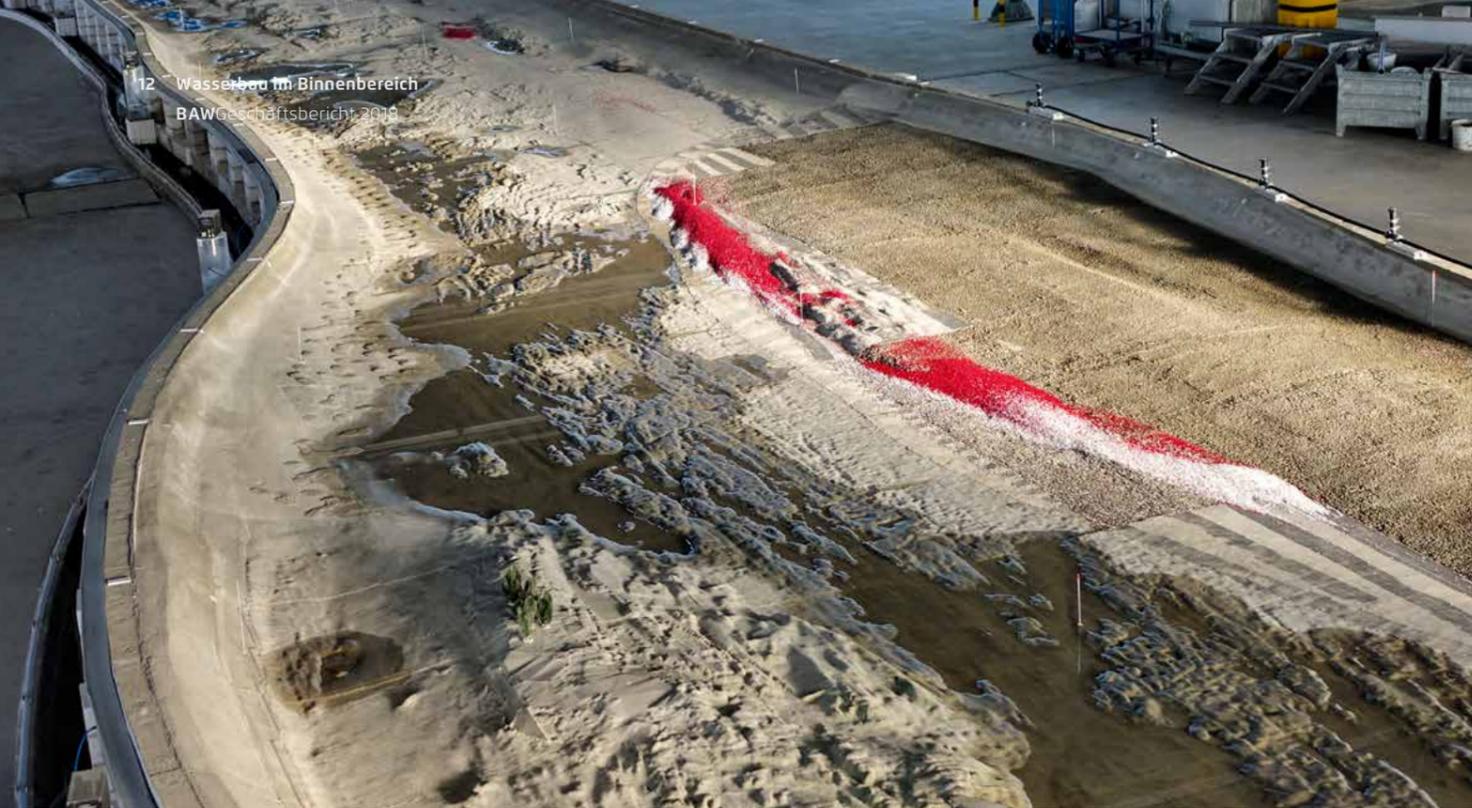


Bild 3: Sedimentanlandungen (rotes/weißes Granulat) im gegenständlichen Modell Jungferngrund

Situation durch Querströmungen ober- und unterhalb des Tauber Werths. Die im Bereich des Jungferngrund notwendigen flussbaulichen Maßnahmen sollen daher möglichst sowohl die Querströmungen als auch die Anlandungstendenzen reduzieren. Insbesondere bei der hierfür erforderlichen Erhöhung der an der Gewässersohle angreifenden Kräfte ist jedoch zu beachten, dass die ökologisch wertvolle Kiesformation Jungferngrund nicht nachteilig beeinflusst wird.

Die Wirkungen flussbaulicher Maßnahmen im Bereich Jungferngrund können von einem Modell nur dann belastbar prognostiziert werden, wenn dies in der Lage ist, die ortsspezifischen, komplexen physikalischen Prozesse

(3D-Strömungseffekte, Wirkung der zerklüfteten Felssohle auf Hydraulik und Transport von Geschiebe mit breiter Korngrößenverteilung) abzubilden. Darüber hinaus erfordert die große Anzahl zu untersuchender Varianten einen effizienten Modellbetrieb. Dieser Spagat ist weder mit einem numerischen (wesentliche Prozesse sind nicht abbildbar) noch einem gegenständlichen Modell (lange Versuchszeiten) allein möglich. Aus diesem Grund wurde ein hybrider Modellierungsansatz gewählt, bei dem ein 3D-hydrodynamisch-numerisches Modell und ein gegenständliches Feststofftransportmodell mit teilbeweglicher Sohle und einem skalierten Modellgeschiebe aus Kunststoffgranulat zum Einsatz kommen (Bild 3). Der hybride

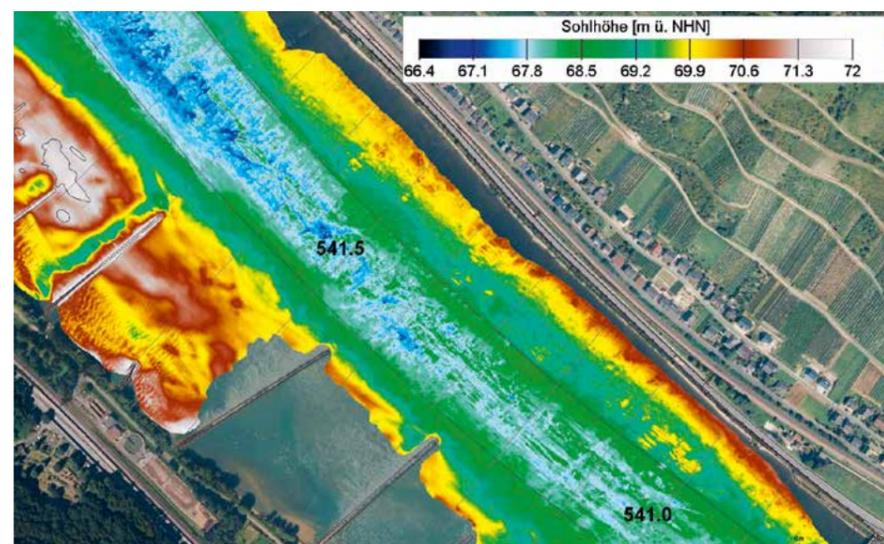


Bild 4: Felsdurchsetzte Gewässersohle im Streckenabschnitt unterhalb des Lorcher Werths aus Fächerlotdaten 2012/2013

Modellierungsansatz vereint die Vorteile beider Modellarten, d. h. die Effizienz des numerischen Modells mit der Fähigkeit des gegenständlichen Modells, den Transport der Sedimentmischung über die detailliert nachgebildete Felssohle abzubilden. Im Projektbetrieb werden mögliche flussbauliche Maßnahmen zunächst im numerischen Modell hydraulisch vordimensioniert und zielführende Maßnahmen anschließend in das gegenständliche Modell übernommen, um sie auf ihre morphologische Wirkung hin zu untersuchen.

Anderer Natur sind die Herausforderungen in den Tiefenengpässen Lorcher Werth und Bacharacher Werth. In diesem Abschnitt steht neben wasserspiegelstützenden Maßnahmen der Abtrag zahlreicher, jedoch lokal begrenzter Felsspitzen (Bild 4) im Fokus der Untersuchungen. Die Rauheitswirkung der zum Teil nicht durch das Rechengitter aufgelösten Felsstrukturen wird über einen statistischen Ansatz erfasst, welcher auch die Abschätzung von Rauheitsänderungen durch lokale Felsabträge ermöglicht. Zur Absicherung dieses innovativen Modellierungsansatzes werden die berechneten Geschwindigkeitsverteilungen anhand zahlreicher Naturdaten validiert.

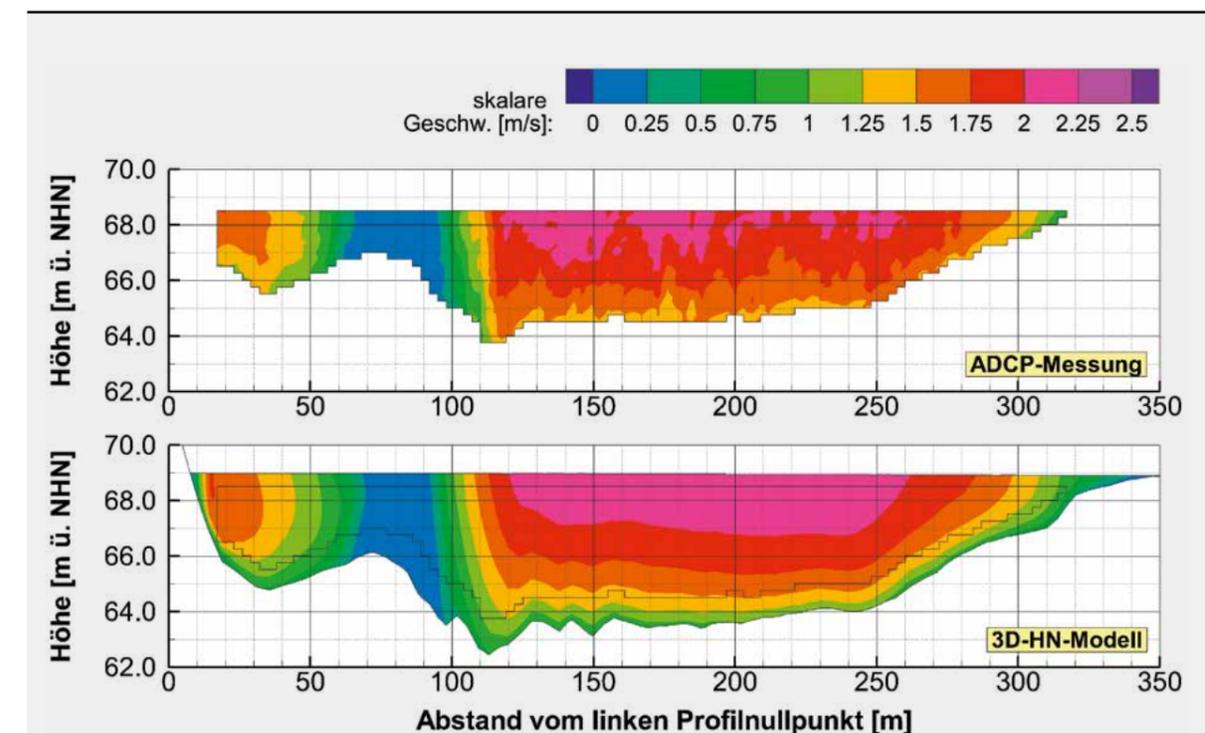
In den Jahren 2015 und 2016 wurde hierfür ein umfangreiches Messprogramm zur Erhebung der benötigten Natur-

daten realisiert. In insgesamt 54 Querschnitten wurden im Projektgebiet durch fünf zeitgleich operierende Messboote verschiedener Ämter, Oberbehörden und Ingenieurbüros Geschwindigkeitsmessungen und Wasserspiegelfixierungen bei vier unterschiedlichen Abflussereignissen durchgeführt. Die gewonnenen hydraulischen Daten sind für das Prozessverständnis wichtig und dienen der Kalibrierung und Validierung der eingesetzten Modelle. Bild 5 zeigt beispielhaft einen Vergleich von gemessenen und berechneten Geschwindigkeiten.

Fahrdynamische Untersuchungen

Die flussbaulichen Maßnahmen verändern die Strömungs- und Tiefenverhältnisse und beeinflussen damit die Befahrbarkeit des betrachteten Abschnitts durch die Binnenschifffahrt. Die Ermittlung der potenziellen Abladetiefen bei den verschiedenen flussbaulichen Varianten ist in diesem Zusammenhang ein wichtiger Aspekt, da der wirtschaftliche Nutzen einer Variante für die Schifffahrt aus dem möglichen Zugewinn an Abladetiefe resultiert. Dieser errechnet sich aus der Differenz potenzieller Abladetiefen im Vergleich zu den heute möglichen und von der Schifffahrt realisierten Abladetiefen. Zu beachten ist bei diesen Betrachtungen einerseits, dass die mögliche Abladetiefe eines Binnenschiffs nicht alleine durch die vorhandene Was-

Bild 5: Gegenüberstellung von gemessenem (Bild oben) mit berechnetem Geschwindigkeitsprofil aus 3D-hydrodynamisch-numerischem Modell (Bild unten) bei Rhein-km 551,12 und einem Abfluss am Pegel Kaub von ca. 2.050 m³/s



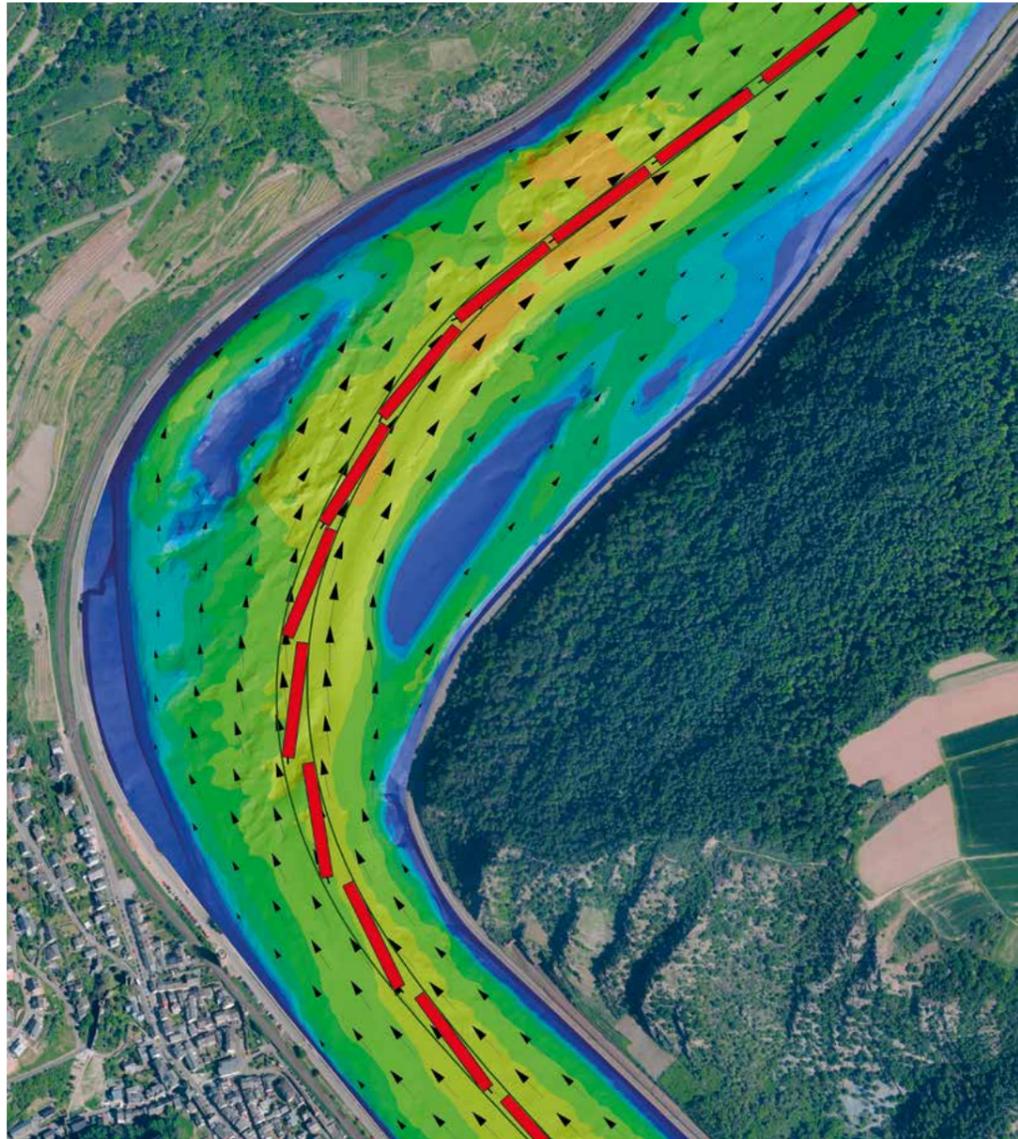


Bild 6: Ergebnis einer fahrdynamischen Berechnung mit FaRAO im Bereich des Tauber Werths, Rhein-km 551

sertiefe in der Fahrrinne bestimmt wird, sondern auch von dem dynamischen Einsinken des Schiffs, dem so genannten *Squat*, und einem erforderlichen Mindestflottwasser unter dem Schiffsrumpf abhängt. Der *Squat* ist eine variable, von der Schiffsgeschwindigkeit und dem Gewässerquerschnitt abhängige Größe, während das Mindestflottwasser im Wesentlichen nach der Beschaffenheit der Gewässersohle bestimmt wird. Andererseits wählt ein erfahrener Schiffsführer seine Abladetiefe nicht ausschließlich nach den unterhaltenen und von der WSV freigegebenen Fahrrintentiefen, sondern nach den ihm aus der Ortskenntnis bekannten, durchgängig verfügbaren Wassertiefen. Für die Ermittlung des wirtschaftlichen Gewinns durch erhöhte Abladetiefen werden daher die Tiefenverhältnisse aller zu untersuchenden Varianten in typischen Verkehrsflächen der Berg- und Talfahrt im gesamten Projektabschnitt analysiert.

In der Fahrt durch Kurven sowie in Bereichen mit Querströmung müssen Binnenschiffe einen Driftwinkel einnehmen, der zu einer Vergrößerung der Fahrspurbreite führt, die im Extremfall ein Mehrfaches der eigentlichen Schiffsbreite betragen kann. Daher erfolgt eine Befahrbarkeitsbewertung der geplanten flussbaulichen Maßnahmen, die teilweise zu höheren Strömungsgeschwindigkeiten in der Fahrrinne führen oder örtlich Quergeschwindigkeiten induzieren, unter dem Aspekt, in welchem Maße der Verkehrsflächenbedarf der Schiffe verändert wird. Dies ist insbesondere für große Fahrzeuge (zum Beispiel häufig verkehrende einspurig zweigliedrige Schubverbände) relevant, die aufgrund ihrer Länge bei den hohen Fahrgeschwindigkeiten zu Tal einen sehr hohen Breitenbedarf in Flusskrümmungen haben. Zudem muss mit wenigen Ausnahmen in der

gesamten Gebirgstrecke eine Begegnung dieser großen Fahrzeuge in der 120 m breiten Fahrrinne gewährleistet sein. Für diese Fragestellung wird das in der BAW entwickelte fahrdynamische Modellverfahren FaRAO (Fahrdynamische Routen-Analyse und -Optimierung) eingesetzt (Bild 6). Damit können Fahrspuren unterschiedlicher Schiffstypen und Schiffsabmessungen in Abhängigkeit der Strömungsverhältnisse berechnet und die Befahrbarkeit der Wasserstraße auch hinsichtlich der Begegnungsmöglichkeiten eingeschätzt werden. Grundlage für die fahrdynamischen Untersuchungen sind die im Referat Flussbau durchgeführten hydrodynamisch-numerischen Modellrechnungen.

Untersuchungen zum Baugrund

Für die *Abladeoptimierung Mittelrhein* werden umfangreiche Kenntnisse über die Sohlbeschaffenheit in der oberen Gebirgstrecke benötigt. In der Planungsphase sind diese Kenntnisse eine wesentliche Voraussetzung für den richtigen Ansatz bodenspezifischer Eingangsparmeter bei hydraulischen Berechnungen. In der Ausführungsphase sind diese Kenntnisse unerlässlich, um der ausschreibenden Stelle bzw. den anbietenden Wettbewerbern ein umfangreiches Bild über den anstehenden Untergrund zu verschaffen. Auf dieser Grundlage kann die erforderliche Verfahrenstechnik zur wirtschaftlichen Umsetzung der erdbaulichen Verfahrensschritte Lösen, Laden, Transportieren und Verwerten zutreffend geplant, kalkuliert und ausgeführt werden. Aufgrund der vorliegenden Randbedingungen wird ein möglichst präziser und schonender Felsabtrag angestrebt.

Im Rahmen der vertieften Voruntersuchung wurden in einem ersten Schritt sämtliche Daten zum Baugrund aus allen zugänglichen Archiven zusammengetragen, bewertet und digitalisiert. In einem zweiten Schritt wurden in zwei Untersuchungskampagnen (2016 und 2018) ausgewählte Bereiche innerhalb der Tiefenengpässe erkundet. Unter Zuhilfenahme des Taucherglockenschiffes CARL STRAAT konnte die Beprobung direkt an der Flusssohle vorgenommen werden (Bild 7). Dabei wurden umfangreiches Probenmaterial aus dem Lockergestein und zahlreiche Bohrkerne aus den anstehenden Felsformationen gewonnen. Im geotechnischen Labor der BAW wurden daran anschließend die relevanten Materialparameter ermittelt.

Bei der erdbautechnischen Bearbeitung von Felsformationen sind neben den Angaben zu Materialkenngrößen, wie der einaxialen Druckfestigkeit, der Dichte, sowie zur mineralogischen Zusammensetzung auch Aussagen zum Trennflächengefüge, wie z. B. Angaben zu Schichtabständen und deren Raumstellung, von großer Bedeutung. Diese Werte sind am zutreffendsten im Rahmen einer Felderkundung zu ermitteln. Hierzu wurden zwei Niedrigwasserphasen (2015 und 2018) genutzt, um diese Messungen in-situ an trocken gefallenem Sohlbereichen durchzuführen.



Bild 7: Rheinsohle bei Rhein-km 554,341

Im Zusammenhang mit den Fragestellungen im Projekt *Abladeoptimierung Mittelrhein* ist von besonderem Interesse, die Bereiche der Flusssohle zu identifizieren, in denen schwer lösbares Felsmaterial vorzufinden ist, bzw. inwieweit der anstehende Fels durch Lockergesteinsmaterial (Kies und Sand) bedeckt ist. Hierzu wurden in einem Testfeld die geophysikalischen Verfahren Sidescan-Sonar und Multibeam-Sedimentecholot (SES) eingesetzt, um die teilweise stark strukturierte Felsoberfläche möglichst exakt zu erfassen und anschließend in einem digitalen Geländemodell abbilden zu können. Die grundsätzliche Eignung beider Verfahren war aus mehreren bereits ausgeführten WSV-Projekten bekannt (z. B. Main-Ausbau), jedoch war die Einsatzmöglichkeit der Verfahren unter den besonderen nautischen Gegebenheiten eines freifließenden Flusses zu untersuchen. Der Test verlief erfolgreich. Mit den linienförmig (SES) und flächig (Sidescan) aufgenommenen Messdaten lassen sich in Kombination mit den punktuellen Baugrundaufschlüssen detaillierte Darstellungen der flächigen Verbreitung des Lockergesteins und der Felsoberkanten kartieren.

Dialogprozess

Seit 2017 begleitet ein vom WSA Duisburg-Rhein, dem Träger des Vorhabens, geführter Konsultationsprozess die *Abladeoptimierung Mittelrhein*, in dem mit Vertretern aus Schifffahrtsgewerbe, Wasserwirtschaft, Naturschutz sowie Anliegern und Nutzern der Wasserstraße die vielfältigen Aspekte des Projekts erörtert werden. Die Rückmeldungen aus diesem Prozess können somit zu einem frühen Zeitpunkt in den Planungen Berücksichtigung finden. Dadurch werden nicht nur die Weichen für die Akzeptanz des Projekts gestellt, auch die zu entwickelnden flussbaulichen Maßnahmen können einen Nutzen gegebenenfalls über die Belange der Schifffahrt hinaus entfalten.

Naturnaher Uferschutz am Rhein

Erprobung technisch-biologischer Ufersicherungsmaßnahmen in einem Naturversuch

Die Anwendbarkeit technisch-biologischer Ufersicherungen als ökologische Alternative zu technischen Deckwerken an Binnenwasserstraßen wird seit 2011 in einem Naturversuch am rechten Rheinufer bei Worms getestet. Nach sechsjährigem Monitoring erfolgten im Jahr 2018 eine umfassende Auswertung der Ergebnisse und eine Bewertung der einzelnen Uferschutzmaßnahmen hinsichtlich der Gewährleistung des Uferschutzes und der ökologischen Wirksamkeit.

Um die Standsicherheit der Ufer unter den schiffsinduzierten und natürlichen hydraulischen Belastungen zu gewährleisten, werden diese bisher überwiegend mit Schüttsteindeckwerken gesichert. Stabile Ufer sind erforderlich, wenn das angrenzende Gelände und gegebenenfalls vorhandene Bebauung geschützt und die Sicherheit und Leichtigkeit der Schifffahrt garantiert werden müssen. Mit der im Jahr 2000 eingeführten Europäischen Wasserrahmenrichtlinie soll der ökologische Zustand der Wasserstraßen langfristig verbessert werden. Eine Möglichkeit, die Ufer wieder naturnäher zu gestalten, ist der Ersatz der Schüttsteindeckwerke durch technisch-biologische Ufersicherungen.

Schiffsinduzierte Uferbelastungen sind Strömungen (Rückströmung und Wiederauffüllungsströmung), Wellen (Bug-, Heck- und Sekundärwellen) und ein schneller Wasserspiegelabsenk. Zu den natürlichen Einwirkungen gehören Strömungen (z. B. bei Hochwasser) und wechselnde Wasserstände sowie Wellen infolge Wind. Strömungen und Wellen können am Ufer zu Oberflächenerosion führen. Infolge eines schnellen Wasserspiegelabsinks können im Boden Porenwasserüberdrücke entstehen, die die Böschung soweit destabilisieren, sodass es zu hydrodynamischen Bodenverlagerungen und einem böschungsparallelen Abgleiten im Uferbereich kommt. Schüttsteindeckwerke werden mit einem ausreichenden Flächengewicht bemessen, sodass die Böschungsstandsicherheit auch bei auftretenden Porenwasserüberdrücken gewährleistet ist. Die Größe bzw. das Gewicht der Einzelsteine einer losen Steinschüttung sind so dimensioniert, dass sie bei den hydraulischen Belastungen lagestabil sind und im Verbund die Böschung vor Oberflächenerosion schützen.

Bei der Anwendung technisch-biologischer Ufersicherungen wird der Uferschutz langfristig entweder allein durch Pflanzen (z. B. Weidenspreitlagen) oder durch eine Kombination aus Pflanzen und technischen Komponenten (z. B. Röhrlichtgabionen) gewährleistet. Rein pflanzliche Ufersicherungen besitzen in der Regel kein signifikantes Flächengewicht. Bei Auftreten von Porenwasserüber-

drücken im Boden kann das Ufer nur durch die Wurzeln stabilisiert werden, die die Scherfestigkeit des Bodens erhöhen bzw. zu einer Art Bodenvernagelung führen. Wurzeln und oberirdische Sprosse können allein oder in Verbindung mit technischen Komponenten vor Oberflächenerosion schützen. In jedem Fall kommt der Vitalität und der Entwicklung der Pflanzen, insbesondere deren Wurzeln, eine zentrale Bedeutung bei der Gewährleistung des Uferschutzes zu. Pflanzen als lebende Baustoffe verändern sich ständig, sodass verschiedene Entwicklungszustände zu betrachten sind. Witterungs- und Lichtverhältnisse sowie wechselnde Wasserstände (Überflutungen, Trockenzeiten) haben Einfluss auf die Pflanzenentwicklung, Parasiten können die Pflanzen schädigen und zu deren Absterben führen. Das heißt, Pflanzen besitzen im Gegensatz zu Wasserbausteinen keine konstanten, genormten Eigenschaften. Sie lassen sich aufgrund der Randbedingungen und der Vielzahl der Einflussfaktoren nur sehr idealisiert in Bemessungsformeln abbilden.

Zur Beurteilung der Anwendbarkeit von Ufersicherungen unter Verwendung von Pflanzen sind deshalb neben der Theorie und Labor- und Modellversuchen zu speziellen Fragestellungen Untersuchungen in der praktischen Anwendung von großer Bedeutung. Aus diesem Grund werden im Rahmen des gemeinsamen Forschungsprojektes der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) und der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) in Zusammenarbeit mit dem Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Mannheim verschiedene Ufersicherungsmaßnahmen am Rhein bei Worms (km 440,6 bis km 441,6) in einem Naturversuch unter Wasserstraßenbedingungen getestet. Ziel sind insbesondere Erkenntnisse zum Einbau, zur Stabilität der Maßnahmen in der kritischen Anfangszeit und langfristig, zum Unterhaltungsaufwand, zu Kosten und zur ökologischen Wirksamkeit der Maßnahmen. Ein besonderes Augenmerk liegt dabei aus technischer Sicht auf der Entwicklung der Pflanzenwurzeln und deren mechanischen Eigenschaften hinsichtlich der Gewährleistung des Uferschutzes.

Bild 1:
Weidenspreitlagen, 2011 nach Einbau, 2012 und 2018



Bild 2: Gut entwickelte Pflanzmatten in der oberen Böschungshälfte, freigelegte Wurzeln (2017)

Versuchsfelder

Der betrachtete Uferabschnitt befindet sich am Innenufer einer leichten Rechtskurve. Bei Mittelwasser beträgt die Wasserspiegelbreite etwa 300 m und der Abstand des Fahrrinnenrandes vom rechten Ufer 23 m (km 440,6) bis 140 m (km 441,6). Mit mehr als 120 Güterschiffen pro Tag ist die Verkehrsbelastung sehr hoch. Eine zusätzliche Randbedingung sind die großen Wasserspiegelschwankungen von über 6 m. Die Böschungen sind relativ steil geneigt (1 : 2 bis 1 : 3). Der Baugrund im Böschungsbereich besteht überwiegend aus kiesigen Sanden, in den oberen 1 bis 2 m steht Auelehm an.

Die zu testenden Maßnahmen wurden im Rahmen des Forschungsprojektes auf der Basis der zu dem Zeitpunkt bereits vorliegenden Erfahrungen ausgewählt. In vier Versuchsfeldern wurde die vorhandene Steinschüttung zwischen Mittelwasser und Böschungsoberkante durch Weidenspreitlagen (Bild 1), vorkultivierte Pflanzmatten (Bild 2) und Röhrlichtgabionen sowie Steinmatratzen ersetzt. Die neuen Maßnahmen sollen hier den Uferschutz gewährleisten. In vier weiteren Feldern blieb die Steinschüttung als Ufersicherung vollständig erhalten. Sie wurde durch verschiedene Maßnahmen ökologisch aufgewertet – z. B. durch Begrünung mit Weidensetzstangen und -faschinen, Busch- und Heckenlagen, durch Strukturverbesserung mittels Kies, großen Einzelsteinen und Totholzfaschinen sowie durch Schaffung geschützter Bereiche durch einen der Böschung vorgelagerten Steinwall. Ein Versuchsfeld blieb zum Vergleich ohne Sicherung nach Rückbau der Steinschüttung. Der Einbau erfolgte von September bis Dezember 2011 während einer Niedrigwasserphase.

Monitoring

Seit 2011 wird ein umfangreiches Monitoring durchgeführt. Aus technischer Sicht wird untersucht, inwieweit die neuen Ufersicherungen unter den hydraulischen Belastungen selbst stabil sind und den Uferschutz gewährleisten können, d. h. den Schutz vor Oberflächenerosion, hydrodynamischer Bodenverlagerung und oberflächennahem Abgleiten der Böschung sowie die Filterstabilität im Böschungsbereich. Hierzu werden u. a. regelmäßige Uferinspektionen, fotografische Aufnahmen und Querprofilaufläufe, Messkampagnen zur Erfassung der hydraulischen Belastungen (Bild 3) und der Porenwasserüberdrücke im Boden durchgeführt. Wetterdaten und Wasserstände werden kontinuierlich dokumentiert. Zur Bewertung der ökologischen Wirksamkeit wird die Entwicklung der Vegetation und ausgewählter Tiergruppen

Bild 3: Messung der hydraulischen Uferbelastung (2015)



(Fische, Makrozoobenthos, Vögel, Reptilien, Laufkäfer, Spinnen) in definierten Zeitabständen untersucht und mit den Ergebnissen aus Referenzstrecken mit Schüttsteindeckwerk verglichen. Die eingebrachten Pflanzen werden hinsichtlich Arten, Pflanzengesellschaften, Vitalität und Entwicklungsfortschritt begutachtet. Faunistische Untersuchungen beinhalten die Dokumentation der Artenzusammensetzung und des Besiedlungspotenzials. Die enge Zusammenarbeit der verschiedenen Fachreferate der BAW (Erdbau und Uferschutz; Schifffahrt) und der BfG (Landschaftspflege, Vegetationskunde; Tierökologie) ermöglicht eine fachübergreifende Projektbearbeitung aus technischer und ökologischer Sicht.

Ergebnisse

Am freifließenden Rhein wirken sich zusätzlich zu den schiffsinduzierten Belastungen die großen Wasserspiegelschwankungen sehr stark auf die Entwicklung der pflanzlichen Ufersicherungen aus. Während des Beobachtungszeitraumes von 2012 bis 2017 wurden die Maßnahmen regelmäßig jedes Jahr mehrfach überflutet, z. T. bis zur Böschungsoberkante, 2013 auch darüber hinaus. Wie Bild 4 zeigt, war der untere Böschungsbereich bis etwa 1 m über Mittelwasser sehr häufig und zum Teil über mehrere Wochen ununterbrochen eingestaut. Besonders kritisch waren die hohen Wasserstände, die unmittelbar nach Bauabschluss auftraten, weil sich die

für den Uferschutz erforderlichen Wurzeln und oberirdischen Sprosse der eingebauten Pflanzen erst bilden mussten. In den letzten drei Jahren waren die Maßnahmen zudem längeren, heißen Trockenperioden mit Niedrigwasser ausgesetzt. Im Folgenden werden ausgewählte Ergebnisse vorgestellt.

Bild 1 zeigt die Weidenspreitlagen unmittelbar nach Einbau (2011), nach einer Vegetationsperiode (2012) und im Jahr 2018. Frisch geschnittene Weidenäste von Korb-, Purpur- und Silberweiden wurden ohne zusätzliche Filterschicht auf dem im Böschungsbereich anstehenden Boden verlegt und mit Pflöcken und Querriegeln befestigt. Die unteren Enden wurden in die unterhalb Mittelwasser verbliebene Steinschüttung eingebunden.

Bereits die ersten Überflutungen in der Anfangszeit führten zur Erosion von Boden, sodass der erforderliche Bodenkontakt der Weidenäste lokal nicht mehr gegeben war. Nach entsprechenden Sanierungsmaßnahmen konnten sich Wurzeln und Sprosse jedoch gut entwickeln. Mit zunehmendem Wurzelwachstum wurde der Boden immer besser zurückgehalten. Das konnte auch in parallel im Grundbaulabor der BAW in Kooperation mit der Universität für Bodenkultur Wien durchgeführten Filterversuchen bestätigt werden. Hier wurden Äste der Korb- und Silberweide in Versuchskästen vorgezogen und unmittelbar nach Einbau sowie nach einer Anwuchszeit von

Bild 4:
Ganglinie am Pegel Worms 2011 bis 2017

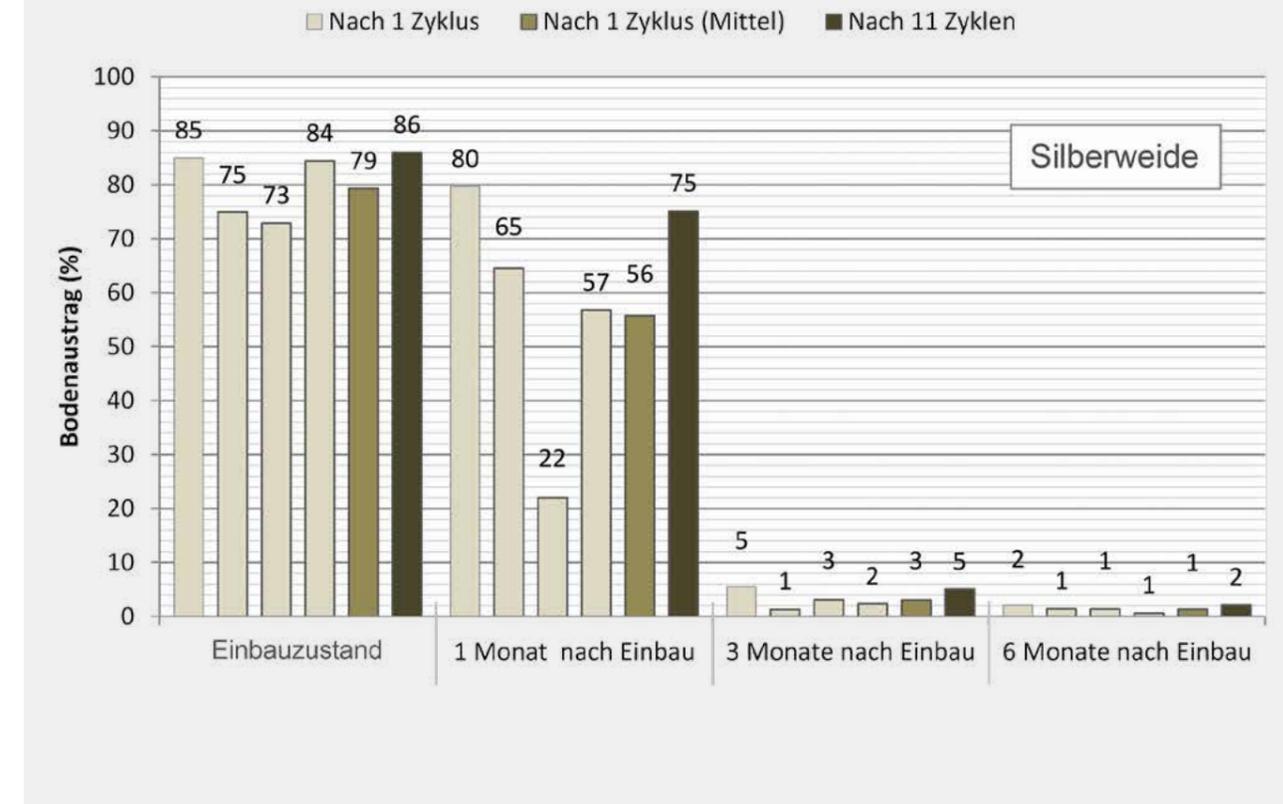
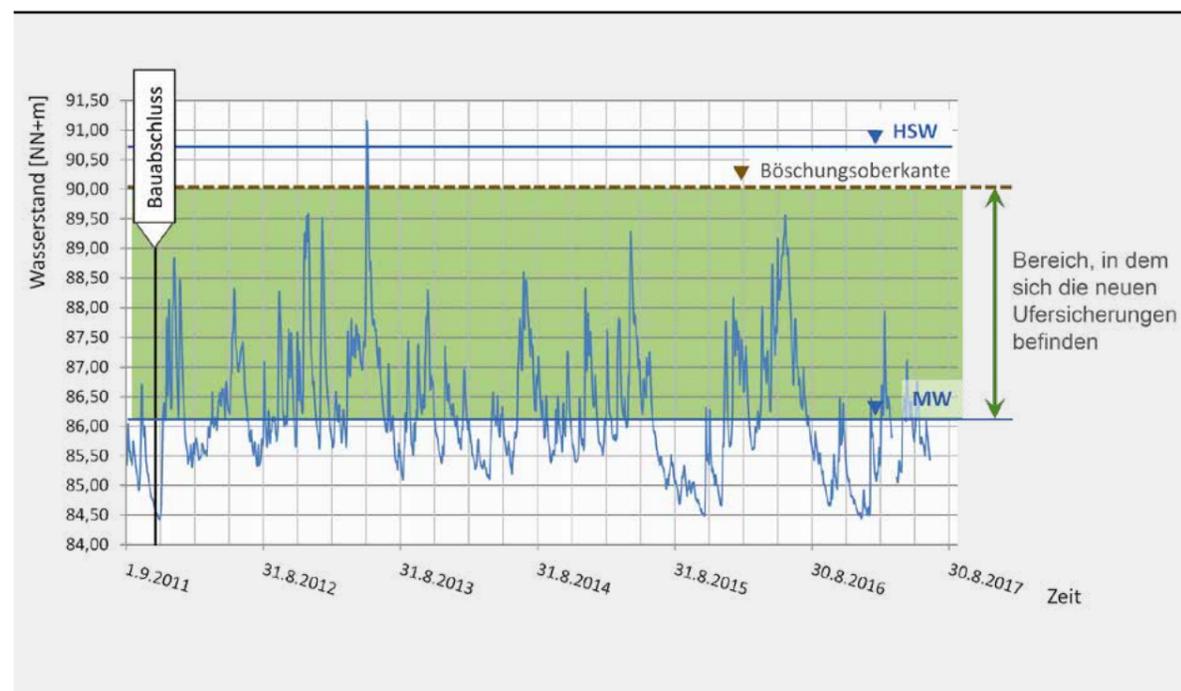


Bild 5: Ergebnisse der Filterversuche mit Weidenspreitlagen

einem, drei und sechs Monaten in einer dazu entwickelten Versuchseinrichtung getestet. Die Prüfkörper, bestehend aus Weidenästen und Boden (feinkiesiger Sand) wurden entsprechend der Wasserstraßenbedingungen durchströmt und der Bodenaustrag gemessen. Bild 5 zeigt die Ergebnisse. Unmittelbar nach Einbau konnte der Boden auch bei nahezu flächendeckender Verlegung der Weidenäste nicht zurückgehalten werden. Nach einer dreimonatigen Anwuchszeit war das Wurzelgeflecht jedoch soweit ausgebildet, dass ein Bodenaustrag fast vollständig verhindert wurde. Das bedeutet, dass nur temporär für die kritische Anfangszeit Zusatzmaßnahmen erforderlich sind. Aus diesem Grund wird gegenwärtig im Rahmen des Projektes in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer Institut Oberhausen ein definiert abbaubares Geotextilvlies

entwickelt. Die erforderlichen technischen Eigenschaften (Festigkeit, Durchlässigkeit, Filterstabilität) müssen drei Jahre erhalten bleiben, danach soll sich das Vlies vollständig biologisch abbauen. Erste Prototypen werden gegenwärtig in der BAW getestet. Das Vlies kann auch in Röhrichtgabionen und Pflanzmatten als Filter angewendet werden, bis die Wurzeln diese Funktion übernehmen.

Im Naturversuch am Rhein haben sich die Weidenspreitlagen bis heute gut entwickelt und können das Ufer ausreichend schützen. 2017 wurden in Zusammenarbeit mit der Leibniz-Universität Hannover Wurzelaufrabungen durchgeführt. Bei der Begutachtung der Wurzelbildung in unterschiedlichen Höhen auf der Böschung wurde ein tiefreichendes und sehr verzweigtes Wurzelsys-

tem mit Wurzellängen bis 1,70 m nachgewiesen (Bild 6). Die Wurzelmasse wurde in Abhängigkeit der Tiefe unter der Geländeoberkante ermittelt. Zur Quantifizierung der stabilisierenden Wirkung wurden die Ergebnisse von parallel in der BAW in Kooperation mit der Universität für Bodenkultur Wien durchgeführten Laborversuchen herangezogen. An Weidenspreitlagen, in Versuchskästen aus Korb- und Purpurweidenästen über eine Vegetationsperiode vorgezogen, wurde in Großscherversuchen die wurzelbedingte Scherfestigkeitserhöhung des Bodens in Abhängigkeit von der Wurzelrockenmasse ermittelt (Bild 7). Wenn dieser Zusammenhang unter Vernachlässigung des im Labor und in der Natur unterschiedlichen

Bild 6: Freigelegte Wurzeln der Weidenspreitlagen (2017)

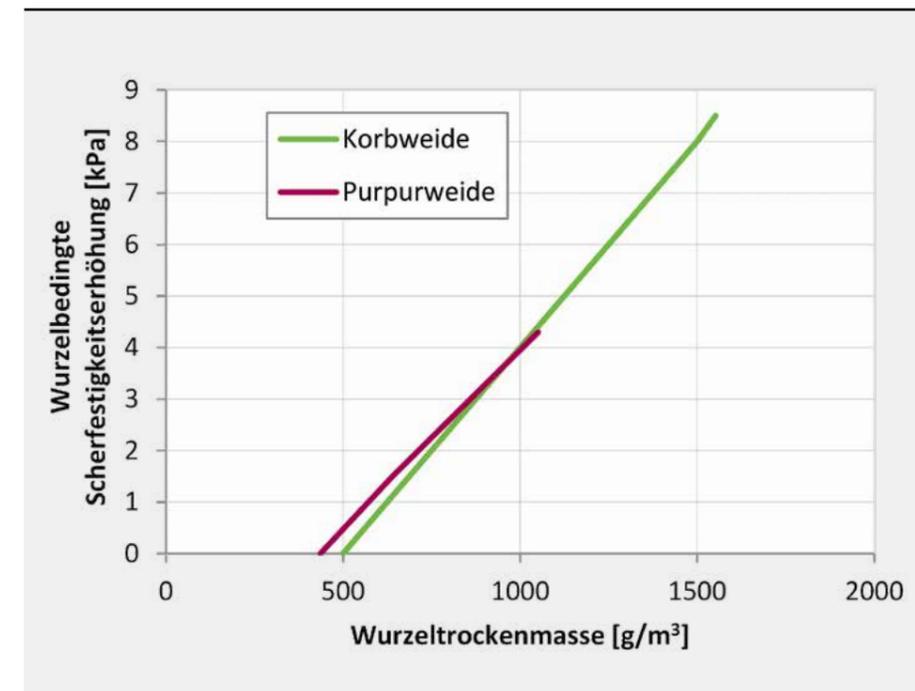


Alters der Weiden zugrunde gelegt wird, kann für die Weiden im Naturversuch von einer erreichten Scherfestigkeitserhöhung gegenüber dem nicht durchwurzelten Boden von mindestens 10 kN/m² bis in 10 cm Tiefe (Wurzelrockenmasse: 4.500 g/m³), von 4 kN/m² im Bereich von 10 cm bis 40 cm Tiefe (Wurzelrockenmasse: 1.000 g/m³) und von 1 kN/m² im Bereich von 40 cm bis 70 cm Tiefe (Wurzelrockenmasse: 550 g/m³) ausgegangen werden. Numerische Berechnungen mit dem Finite Elemente Programm PLAXIS zur Böschungsstabilität zeigen, dass mit diesen Scherfestigkeiten des anstehenden durchwurzelten Bodens unter den gegebenen Bedingungen ein Abgleiten der Böschung infolge eines schnellen Wasserspiegelabsinks bei Schiffsvorbeifahrt von 70 cm verhindert werden kann. Das entspricht etwa dem theoretisch maximal zu erwartenden Absink im Bereich der Weidenspreitlagen. Das heißt, die Weidenspreitlagen können in der aktuellen Ausbildung das Ufer nachweislich vor Böschungsrutschungen schützen. Für den Anfangszustand ohne Wurzeln sind in der Regel zusätzliche Vorkehrungen zu treffen. Stabilisierend wirkt sich die Steifigkeit der auf der Böschung verlegten Weidenäste aus. Zusätzlich führen die Befestigungspflöcke, wenn sie in engem Abstand und ausreichend tief eingebaut sind, zu einer Böschungsstabilisierung. Ein enges Raster an Querriegeln führt außerdem zu einem guten Bodenkontakt als Voraussetzung für ein schnelles und flächendeckendes Wurzelwachstum.

Die zu testenden Pflanzmatten, auf Kokosmaterial vorgezogene Pflanzen der Röhrlichtzone, wurden auf verschiedenen Geotextilfiltern (Kunststoffvlies, Schafwollvlies, Kokosmatte) verlegt und ebenfalls mit Pflöcken und Querriegeln befestigt. Hier zeigte sich, dass sich diese in der oberen Böschungshälfte, d. h. in den selten eingestauten Bereichen, gut entwickeln konnten und die Uferstandsicherheit aktuell ausreichend gewährleisten. Die Wurzeln konnten hier den für die Pflanzenentwicklung wichtigen engen Verbund mit dem Untergrund herstellen. Dies wurde durch Wurzelaufräbungen 2017 in Zusammenarbeit mit der Leibniz-Universität Hannover in Bereichen mit und ohne Geotextil als Filter bestätigt. Gleichzeitig konnte die gute Durchwurzelbarkeit des Kunststoffvlieses gezeigt werden (Bild 2). Zukünftig werden bevorzugt biologisch abbaubare Filtervliese zur Anwendung kommen. In der unteren, sehr häufig und lange eingestauten Böschungshälfte konnten die Wurzeln dagegen nicht in den Boden wachsen. Auftrieb, Strömungen und Wellen führten immer wieder zum Heben und Senken der nur punktuell befestigten Pflanzmatten und verhinderten damit einen dauerhaften Verbund mit dem Untergrund, sodass die Pflanzen letztendlich eingingen. Die Pflanzen benötigen für ihr Wachstum einen stabilen Bodenkontakt. Die ermittelte Anwendungsgrenze wird bei den Empfehlungen für weitere Verwendungen von Pflanzmatten zu berücksichtigen sein.

Auch die untersuchten Röhrlichtgabionen (Drahtkörbe, gefüllt mit kleinen Wasserbausteinen und Boden, umman-

Bild 7: Scherfestigkeitserhöhung des Bodens in Abhängigkeit von der Wurzelrockenmasse



telt mit Kokosgewebe, mit vorkultivierten Pflanzen der Röhrlichtzone an der Oberfläche) können prinzipiell das Ufer gut schützen. Sie sind insbesondere in der kritischen Anfangszeit aufgrund des Flächengewichtes ohne weitere Befestigungen sehr stabil. Langfristig konnten von den zum Test eingebauten Pflanzenarten allerdings nur verschiedene Seggenarten den Belastungen aus Überstau, schiffsinduzierten Wellen und Strömungen standhalten. Auch diese Erkenntnis fließt in Empfehlungen für zukünftige Planungen ein.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass alle getesteten Maßnahmen unter den gegebenen Randbedingungen technisch prinzipiell an Binnenwasserstraßen anwendbar sind – teilweise jedoch mit den angeführten Einschränkungen. Ökologisch konnte in den Untersuchungen der BfG für alle getesteten Maßnahmen eine Aufwertung gegenüber dem normalen Schüttsteindeckwerk nachgewiesen werden. Je nach Maßnahme werden unterschiedliche Tiergruppen bzw. Pflanzenarten gefördert. Weidenspreitlagen wirken sich z. B. im Vergleich zur herkömmlichen Steinschüttung besonders auf die Vegetation und die Ökosystemleistung positiv aus. Faunistisch waren Verbesserungen vor allem für Vögel, Spinnen und Laufkäfer feststellbar.

Die Monitoringergebnisse wurden im Juni 2018 im Rahmen eines BAW/BfG-Kolloquiums in Worms einem breiten Fachpublikum vorgestellt. Der Kolloquiumsband und die Vorträge sind auf dem Internetportal zur

Thematik der „Technisch-biologischen Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen“ (<http://ufersicherung.baw.de/de/veranstaltungen/kolloquium-2018>) abrufbar.

Ausblick

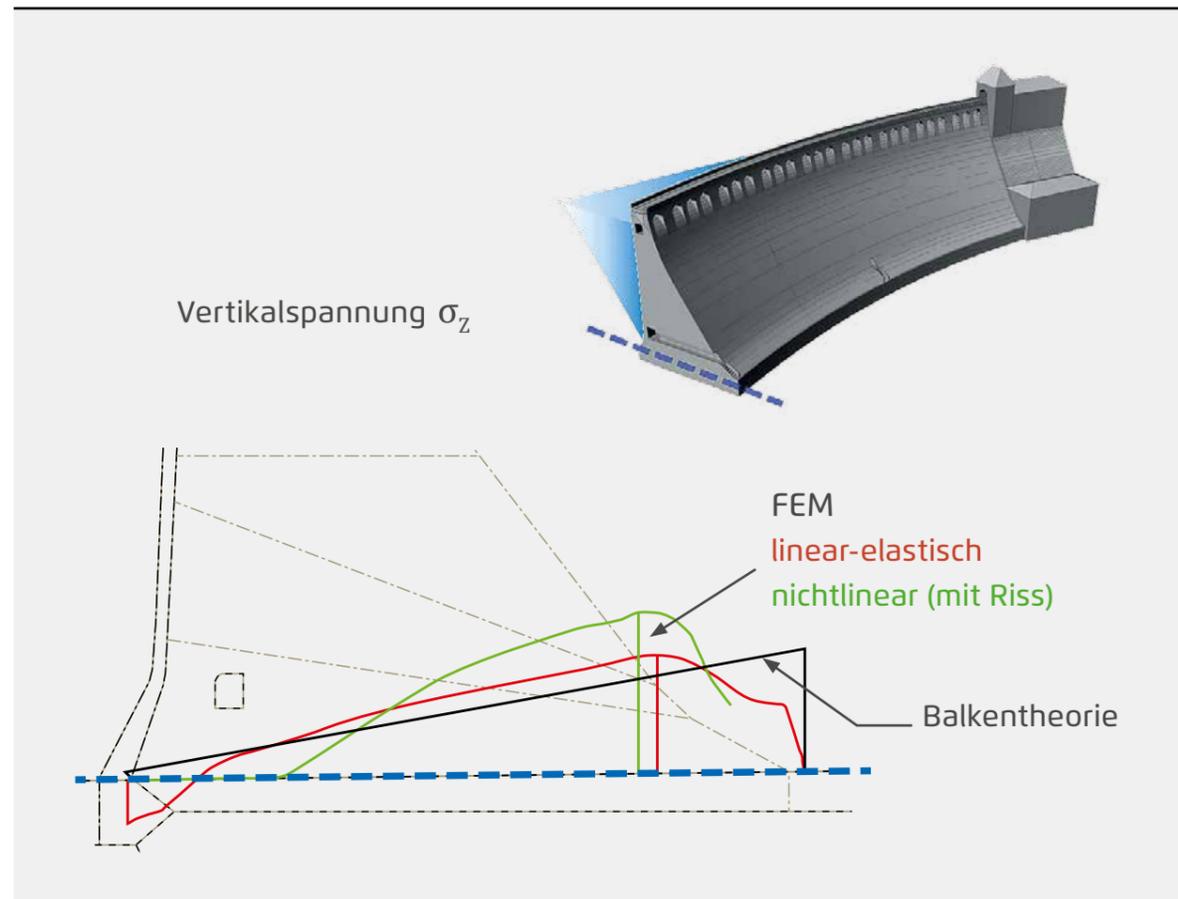
Das Monitoring wird weitergeführt, um die Langzeitstabilität der getesteten Maßnahmen und langfristige Unterhaltungsstrategien zu untersuchen. Alle Erkenntnisse und Erfahrungen der Versuchsstrecke sind bereits in erste Arbeitshilfen für die Planung und Ausführung von technisch-biologischen Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen eingeflossen. Dazu gehört ein erstes Bemessungsverfahren für naturnahe Ufersicherungen, das in der entsprechend erweiterten Software „GBBSoft+“ umgesetzt wurde. Damit können jetzt neben Schüttsteindeckwerken auch technisch-biologische Ufersicherungen für Binnenwasserstraßen bemessen werden. Außerdem wurden auf der Grundlage der Erfahrungen am Rhein Kennblätter zu ausgewählten Ufersicherungsmaßnahmen mit Informationen u. a. zu deren Wirkungsweise, Konstruktion, Einbau und Belastbarkeit angefertigt (abrufbar unter <http://ufersicherung.baw.de/de/arbeitshilfen/kennblaetter>). Die Arbeitshilfen werden gegenwärtig für die Planung der Pilotprojekte zum „Blauen Band Deutschland“ und für Renaturierungen an der Unteren Havel-Wasserstraße angewendet. Weitere Projekte im Binnenbereich sind in Vorbereitung. Die Forschungen werden fortgesetzt und aktuell auf die Anwendbarkeit technisch-biologischer Ufersicherungen in Ästuarbereichen erweitert.

Genau genug?

Wirklichkeitsnahe statische Modellierung massiver Bestandsbauwerke

Mit den heute zur Verfügung stehenden Methoden der Strukturmechanik ist es möglich, Bauwerke wirklichkeitsnah abzubilden. Damit können bisher offene Fragen zur Statik bestehender Bauwerke unter Berücksichtigung deren spezifischen Tragwerkscharakters zielsicher beantwortet werden. Es ist allerdings zu prüfen, in welchen Fällen diese sehr aufwändigen und oft nicht genormten Methoden sinnvoll und welche Bedingungen dabei zu erfüllen sind.

Bild 1:
Sohlspannungen einer Talsperre, berechnet nach der klassischen Balkentheorie und am FE-Modell



Untersuchungen an Bestandsbauwerken sind ein wesentlicher Teil des Aufgabenspektrums der Abteilung Bautechnik.

Untersuchungen an Bestandsbauwerken sind ein wesentlicher Teil des Aufgabenspektrums der Abteilung Bautechnik. Die teilweise sehr alten Anlagen aus Beton oder Mauerwerk besitzen gedrungene Querschnitte und bestehen aus Materialien, die mit den Forderungen des heute gültigen Regelwerks teilweise schwer in Einklang zu bringen sind. Mit der Einführung einer Nachrechnungsrichtlinie in Form des BAWMerkblatts „Bewertung der Tragfähigkeit bestehender, massiver Wasserbauwerke (TbW)“ wird auf die besonderen Bedingungen eingegangen. In vielen Fällen führt eine entsprechende Nachrechnung trotzdem noch zu nicht akzeptablen Standsicherheitsdefiziten. Andererseits kommt es vor, dass bei der Bauwerksinspektion Tragwerksschäden auffallen, deren Ursachen mit statischen Standardverfahren nicht erklärbar sind. Letztendlich sind für Bauwerke mit besonders hohem Gefährdungspotenzial (Talsperren) gemäß der bauaufsichtlich eingeführten Normen „Restrisikoanalysen“ vorzunehmen, in deren Rahmen zusätzlich die globalen Bruchzustände zu untersuchen sind. In all diesen Fällen bietet eine

komplexe Tragwerksanalyse auf der Grundlage einer wirklichkeitsnahen statischen Modellierung die Chance, mehr Klarheit zu schaffen und offene Fragen zu beantworten.

Das Trag- und Bruchverhalten alter Bauwerke aus Beton oder Mauerwerk ist durch Rissbildungen mit Lastumlagerungen und räumliche Effekte geprägt, die bei einer wirklichkeitsnahen Modellierung zu berücksichtigen sind. Entsprechende Berechnungen sind mit hohem Aufwand verbunden. So müssen für die Nutzung nichtlinearer Stoffmodelle ausreichende Daten zu den Materialeigenschaften vorliegen. Die 3D-Modelle sind zu kalibrieren – meist mittels gemessener Verformungen – und auf Plausibilität zu prüfen, z. B. anhand real vorhandener Rissbilder. Zur quantitativen Beschreibung des Bruchbeginns ist die Definition brauchbarer Versagenskriterien erforderlich. Im Gegensatz hierzu stehen die für Beton- oder Mauerwerkskonstruktionen auch heute noch gängigen Standardmodelle auf Basis der Balkentheorie unter Ansatz eben bleibender Querschnitte (Bernoulli-Hypothese). Die Ergebnisse unterscheiden sich dabei erheblich von denen der oben beschriebenen, realitätsnäheren Modellierung, was z. B. bereits beim einfachen Vergleich der Spannungsverläufe an Gewichtsstützwänden gut erkennbar ist. Im Bild 1 sind dazu die Sohlspannungen einer Staumauer unter Wasserlast und Eigengewicht gegenübergestellt, berechnet nach der klassischen Balkentheorie und am FE-Modell, mit und ohne Berücksichtigung der Rissbildung. Während beim vereinfachten Balkenmodell mit linear-elastischer Dehnungsverteilung noch keine Rissbildung auftritt, ergibt sich im FE-Modell ein Zugspannungskeil bzw. eine horizontale Risszone, die im konkreten Fall bereits die vertikale Dichtungsebene im Mauerkörper durchtrennen würde. Bereits an diesem einfachen Beispiel wird deutlich, dass in Abhängigkeit von der Qualität der statischen Modellbildung einerseits erhebliche Unterschiede bei den Berechnungsergebnissen erwartet werden müssen, andererseits aber auch eine grobe und stark vereinfachte Modellbildung nicht immer „auf der sicheren Seite“ liegt!

Vereinfachte Ansätze nach der Balkentheorie sind für unbewehrte Querschnitte gemäß bauaufsichtlich eingeführtem Regelwerk ausdrücklich zulässig. Die Erfahrung zeigt, dass nach diesem Prinzip bemessene Wasserbauwerke unter Berücksichtigung der ehemaligen Vereinfachungen und sonstigen Bemessungsannahmen dauerhaft Bestand haben und damit offensichtlich ein angemessenes Sicherheitsniveau aufweisen. Allerdings sind keine Informationen zur tatsächlich vorhandenen Sicherheit bzw. zur Quantifizierung der z. B. für Risikobetrachtungen erforderlichen Versagenswahrscheinlichkeit ableitbar. Analysen und Bewertungen von Tragwerksschäden sind meist nicht möglich. Hierzu

sind Berechnungen mit realitätsnahen statischen Modellen unabdingbar.

In der BAW wurden im Rahmen verschiedener Projekte einzelne alte Massivbauwerke analysiert und hierbei wertvolle Informationen gewonnen, auf deren Basis einerseits eine Bewertung der Standsicherheit am konkreten Objekt möglich war, andererseits aber auch wertvolle allgemeine Kenntnisse zur Problematik Zuverlässigkeit massiver Bauwerke gewonnen werden konnten. Die drei nachfolgend präsentierten Beispiele sollen das verdeutlichen.

Torsionswirkung unter Berücksichtigung des inneren Wasserdrucks an einem Wehrpfeiler

Wehrpfeiler werden in verschiedenen Bemessungssituationen bi-axial beansprucht. Grundsätzlich weisen Wehrpfeiler zwar ein ausgeprägtes räumliches Tragverhalten auf, dennoch bieten die Idealisierung als Stab und eine Nachweisführung in horizontalen Schnitten eine in der Vergangenheit vielfach praktizierte und gute Näherung. Viele der so bemessenen Bauwerke haben inzwischen Nutzungsdauern von über 70 oder sogar 100 Jahren erreicht.

Da das bloße Erreichen eines bestimmten Alters keine Schlüsse über das zukünftige Verhalten und insbesondere das vorhandene Sicherheitsniveau zulässt, sind bei vielen Wehranlagen Nachrechnungen nach aktuell gültigem Regelwerk (TbW) erforderlich. Zu nennen sind hier beispielsweise die Wehranlage Rockenau am Neckar und das Ruhrwehr Duisburg. Hierbei wurden bei der Nachrechnung Stabmodelle gewählt, die allerdings um Erkenntnisse und Effekte ergänzt wurden, die zum Zeitpunkt der Errichtung nicht bekannt waren oder nicht berücksichtigt wurden. Als wesentliche Ergänzungen sind hier die Berücksichtigung des Riss- und Porenwasserdrucks sowie der Torsionsbeanspruchung in Sohl- und Arbeitsfugen zu nennen. Als Mittelweg zwischen einfachen Stabwerk-Modellen und sehr komplexen, nichtlinearen und räumlichen Untersuchungen wurden also die bestehenden Modelle erweitert und an den aktuellen Erkenntnisstand angepasst.

Als Grundlage der Berechnung der Spannungen in den Fugen wird der Querschnitt als vollkommen starr angenommen. Das Vorgehen gliedert sich in zwei Teile. Zunächst wird die Normalspannungsverteilung in Abhängigkeit der Normalkraft, der beiden Biegemomente und des inneren Wasserdrucks iterativ bestimmt. Ist diese bekannt, kann die Berechnung der Scherspannungen infolge der Querkräfte und des Torsionsmomentes durchgeführt werden. Beides geschieht numerisch durch eine Variation der Dehnungsebene bzw. der Verformungen.

In Bild 2 sind exemplarische Berechnungsergebnisse am Stropfeilerquerschnitt des Ruhrwehrs Duisburg dargestellt. Es ist offensichtlich, dass insbesondere im Fall einer einseitigen Trockenlegung die Berechnung der Riss- und Porenwasserdruckverteilung bei üblichen Pfeilerquerschnitten nicht mehr händisch erfolgen kann (Bild 2, Mitte). Die sich einstellende Normalspannungsverteilung hat über das Reibungsgesetz einen direkten Einfluss auf die mögliche Reibspannungsverteilung (Bild 2, unten). Durch die Erweiterung des Berechnungsverfahrens entsprechen die gewichteten Integrale der abgebildeten Verteilung nicht nur den Querkräften, wie bisher in der Regel üblich, sondern auch dem aufzunehmenden Torsionsmoment.

Die Erweiterung des Berechnungsmodells erlaubt es, Schnittgrößen weiterhin am Stabmodell zu ermitteln, was insbesondere bei Wehrpfeilern eine gute Näherung ist. Für die anschließende Spannungsberechnung werden dann allerdings zusätzliche, nichtlineare Effekte berücksichtigt. Damit ist eine Beurteilung des vorhandenen Sicherheitsniveaus auch unter Berücksichtigung aktueller Erkenntnisse möglich.

Bild 2:
Exemplarische Darstellung der Verteilung des Riss- und Porenwasserdrucks sowie der Reibspannung in der Sohlfuge unter Berücksichtigung der Torsionswirkung am Stropfeilerquerschnitt des Ruhrwehrs Duisburg. Oben: Auszug aus den Bestandszeichnungen, Mitte: Riss- und Porenwasserdruckverteilung [N/mm²], unten: Reibspannungsverteilung [N/mm²]

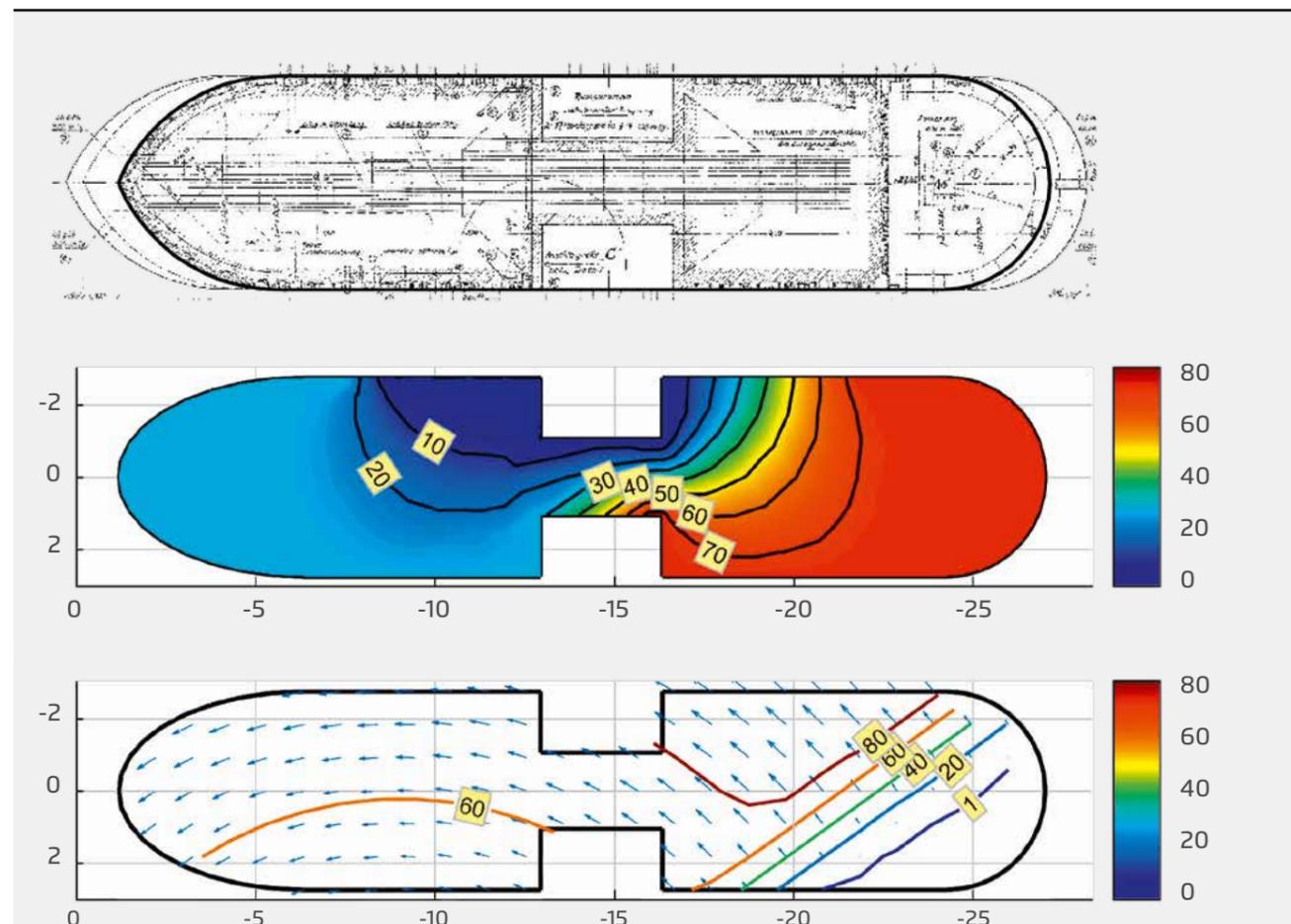
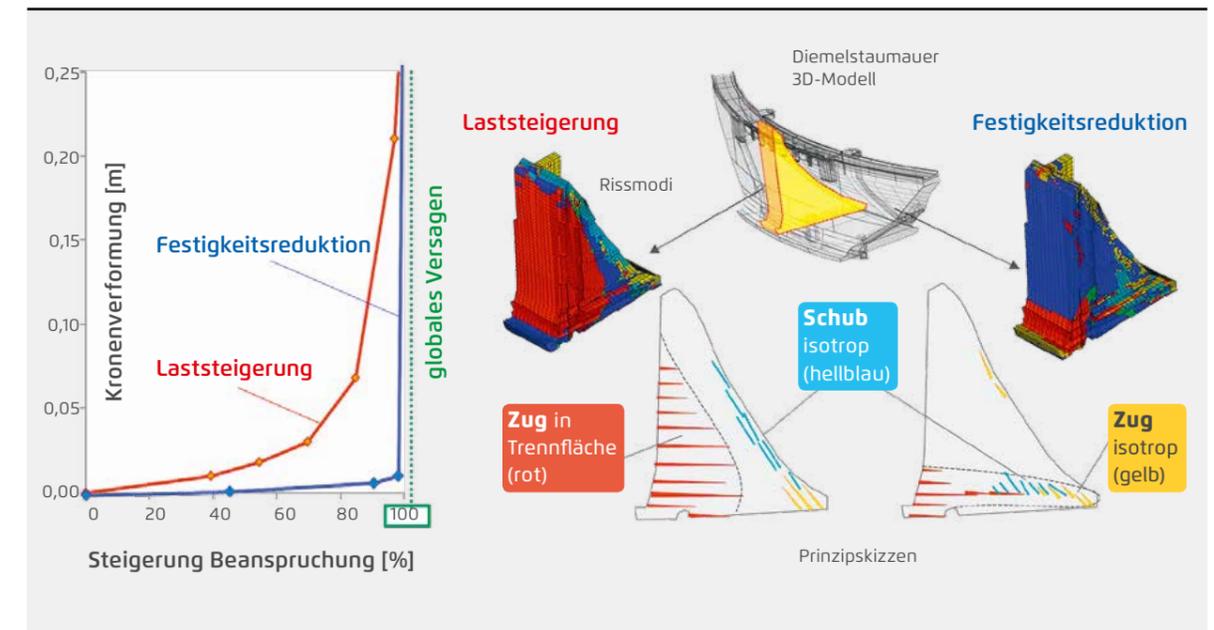


Bild 3:
Typische Bruchbilder für Laststeigerung und Widerstandsreduktion am 3D-Modell der Diemelstaumauer



Bruchverhalten von Gewichtsstauwauern

Nach der Ederstaumauer wurde die aus Bruchsteinmauerwerk nach dem Intze-Prinzip errichtete und im Jahr 1923 fertiggestellte Staumauer der Diemeltalsperre einer genaueren Standsicherheitsanalyse unterzogen. Talsperren sind herausragende Ingenieurbauwerke, die sich durch ein hohes Gefährdungspotenzial auszeichnen. Im maßgebenden Regelwerk DIN 19700-11 wird deshalb eine Untersuchung des „verbleibenden Risikos“ vorgeschrieben, was im Vergleich zu anderen Wasserbauwerken eine wesentliche Zusatzforderung darstellt. Während für die Diemelstaumauer in den vorgegebenen Bemessungssituationen eine ausreichende rechnerische Standsicherheit nachgewiesen werden kann, sind im Rahmen der geforderten Risikobetrachtung auch Zustände und Konstellationen jenseits der Bemessungsansätze zu betrachten. Eine besondere Rolle in einer solchen Robustheitsanalyse spielen die eigentlichen Grenzzustände des globalen Tragwerksversagens, d. h. nicht die Überschreitung lokaler Festigkeiten oder vorgegebener Grenzspannungen bzw. -dehnungen, sondern der Kollaps des Gesamttragwerks. Im Rahmen einer statischen Modellierung gibt es verschiedene Möglichkeiten, einen solchen globalen Bruch des Tragwerks zu provozieren. Einerseits kann auf der Einwirkungsseite eine dominierende Last (z. B. Wasserdruck) oder eine ganze Lastkombination stetig gesteigert werden (Laststeigerung). Auf der Widerstandsseite besteht die Möglichkeit, einen oder mehrere Festigkeitskennwerte bis zum Erreichen des Grenzzustandes herabzusetzen

(Festigkeitsreduktion). Die Art der Bruchprovokation beeinflusst merklich das Verformungsbild und den Charakter des Spannungs- bzw. Dehnungsfeldes im Mauerkörper bzw. Gründungsbereich. Zur Verdeutlichung sind im Bild 3 die typischen Bruchbilder für Laststeigerung und Widerstandsreduktion am 3D-Modell der Diemelstaumauer dargestellt.

Ausbreitung und Art der Rissbildung wird mittels Farbdarstellung der plastischen Aktivitäten in den FEM-Plots verdeutlicht. Die beigefügten Prinzipalskizzen enthalten in symbolischer Form die den plastischen Aktivitäten entsprechenden Rissverläufe. Es wird deutlich, dass immer ein kombiniertes Versagen entsteht, das mit einer wasserseitigen Zugrissbildung (rot) beginnt und mit luftseitiger Spaltzugwirkung (Laststeigerung) bzw. Rissbildung im geschwächten Bereich der horizontalen Arbeitsfugen (Festigkeitsreduktion) abschließt. Dabei sind in Abhängigkeit von der Art der Bruchprovokation die verschiedenen Rissqualitäten unterschiedlich stark ausgeprägt. Die aus der klassischen Balkentheorie bekannten, fiktiven Grenzzustände „Gleiten“ und „Kippen“ treten unter realen Bedingungen nicht auf.

Das für die Diemelstaumauer beschriebene Bruchverhalten ist typisch für alle Gewichtsstauwauern dieser Größenordnung. Besonders bemerkenswert und praktisch bedeutsam ist der Verlauf der Kronenverformung in Abhängigkeit der Bruchprovokation (vgl. Bild 3). Während eine Laststeigerung – z. B. durch extremes Anwachsen

der Stauhöhe – immer mit einer deutlichen Verformung verbunden und somit im Rahmen der messtechnischen Überwachung rechtzeitig erkennbar ist, treten bei der Reduktion der Festigkeiten erst im unmittelbaren Bruchprozess deutliche Verschiebungen auf. Daraus lassen sich wichtige Schlussfolgerungen für die Konzeption der normenseitig vorgegebenen, messtechnischen Überwachung von Staumauern ableiten. Ferner ergeben sich aufgrund der vielgestaltigen und komplexen Bruchqualität solcher Tragwerke mit massigen Querschnitten besondere Anforderungen bei der Definition von Grenzzustandsfunktionen als Basis für die probabilistische Ermittlung der Versagenswahrscheinlichkeit, wie auch an anderer Stelle in der einschlägigen Fachliteratur nachzulesen ist.

Schiffsstoß auf eine alte Gewölbebrücke aus Natursteinmauerwerk

Die Alte Straßenbrücke Lohr quert als Gewölbebrücke den Main mit sechs Bögen und fünf Pfeilern, wovon drei Bögen das Fahrwasser überspannen und zwei Pfeiler Flusspfeiler sind. Die Brücke wurde in den Jahren 1873 bis 1875 in Sandstein-Mauerung errichtet. Durch den Ausbau des Mains für größere Schiffe war die Sicherheit gegenüber Schiffsstoß zu untersuchen. Trotz zwischenzeitlicher Ertüchtigung von Pfeilern schien die Brücke noch nicht die gewünschte Sicherheit aufzuweisen. Diese Sicherheit sollte im Rahmen einer statisch/dynamischen nichtlinearen Berechnung überprüft werden, um letztlich über die Notwendigkeit einer weiteren Ertüchtigung der Brücke zu entscheiden.

Die Schiffsstoßbelastung für die Alte Straßenbrücke Lohr war unter Berücksichtigung der örtlichen Randbedingungen, Verkehrs- und Unfall-Analysen und mit Hilfe eines Kollisions-Modells ermittelt worden. Die aufbereiteten Verteilungsfunktionen erlaubten es, über eine probabilistische Last-Konzeption für Schiffsstoß eine Beziehung zwischen der Kollisionswahrscheinlichkeit und der Stoßbelastung herzustellen.

Die Nachrechnung erfolgte in Auftragsarbeit als nicht-lineare, dynamische Finite-Elemente Berechnung auf der Grundlage einer Modellierung der gesamten Brücke mit räumlichen Volumenelementen mit dem Programm ANSYS®. Berechnet wurden zwei Strompfeiler sowie die zugehörigen Bögen der Brücke unter Eigengewicht, Verkehr und Schiffsstoß. Die Bewertung der Tragfähigkeit basiert auf der Grundlage des EUROCODE-Sicherheitskonzepts für nichtlineare Tragwerksanalysen. Zur Bewertung der Tragfähigkeit musste als Grenzkriterium (Versagenskriterium) ein Gleichgewichtszustand in den elasto-plastischen Berechnungen aufgefunden werden. Traten Überschreitungen zulässiger Spannungen auf,

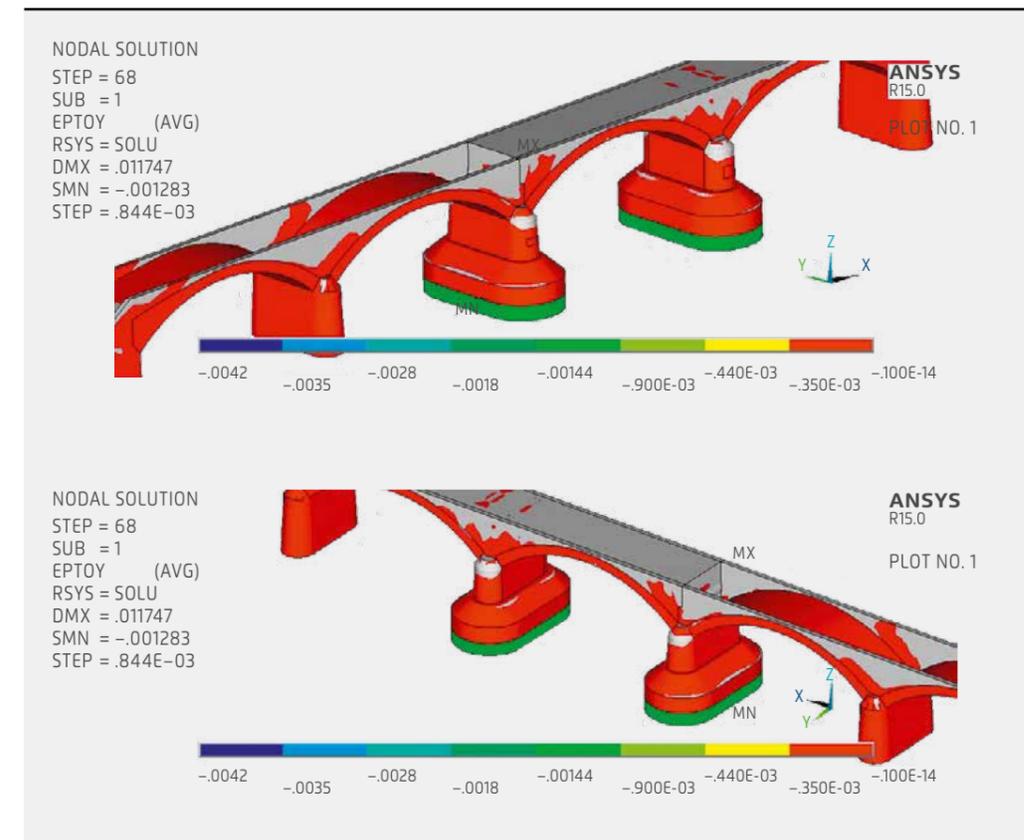
wurden diese Spannungsüberschreitungen mit Hilfe der elasto-plastischen Materialgesetze identifiziert und es wurden durch plastische Dehnungen Kraftumlagerungen in der Struktur initiiert. Plastische Ungleichgewichtskräfte konnten von der Struktur aufgenommen werden, sodass ein ausreichendes Kraftumlagerungsvermögen nachgewiesen ist. Die Bewertung erfolgte über elastische und plastische (totale) Dehnungen sowie die plastische Vergleichsdehnung.

Innerhalb der Lastgeschichte wurden mehrere Lastschritte berücksichtigt. In Vorbereitung der dynamischen Analysen und zur Überprüfung der erforderlichen Netzfeinheit des FE-Modells wurden mittels Modalanalyse die relevanten Eigenfrequenzen, Eigenformen und effektiven Massen ermittelt. Die errechneten minimalen Stauchungen zeigen, dass das Mauerwerk des Pfeilers im direkten Stoßbereich nur lokal versagt und im restlichen Bereich zu weniger als 10 % gegenüber der einaxialen Druckfestigkeit ausgelastet ist, Bild 4. Aus dem Frontalstoß resultieren lediglich lokale Schädigungen im unmittelbaren Stoßbereich infolge Druck- oder Schubversagen. Die nach dem Stoß in der Brücke bleibenden irreversiblen Verformungen treten nur lokal auf und sind, aus globaler Sicht gesehen, vernachlässigbar.

Zusätzlich zu den deterministischen Tragfähigkeitsuntersuchungen wurden in Auftragsarbeit stochastische Analysen zur Bewertung der Versagenswahrscheinlichkeit gegenüber Schiffsstoß mit der Software optiSLang® und ANSYS® durchgeführt. Dabei wurde die räumliche Tragwirkung des Bauwerks und auch die horizontale Durchlaufwirkung aller Pfeiler bei Schiffsstoß berücksichtigt. Als relevante Versagensmechanismen wurden Schubversagen und Kippen des Pfeilers festgestellt. In einer Sensitivitätsanalyse mittels Latin-Hypercube Sampling wurden Haupteinflussgrößen ermittelt. Mit Hilfe von Zuverlässigkeitsanalysen wurden Überschreitungswahrscheinlichkeiten für verschiedene Grenzkriterien der Pfeiler-Horizontalverformung u_x untersucht. Hierbei untersuchte Verschiebungskriterien lagen im Bereich einer weitgehend linearen bzw. gering nichtlinearen Bauwerksantwort und führten zu Zuverlässigkeitsindizes β von mehr als 4 und genügen dabei den Sicherheitsanforderungen nach EUROCODE. Durch die durchgeführten Analysen und Vorgehensweisen konnte die Standsicherheit der Brücke gegenüber den Lasteinwirkungen infolge Verkehrslast, Temperaturbeanspruchungen und insbesondere infolge von Schiffsstoßlasten deutlich nachgewiesen werden. Mit dieser Vorgehensweise wurde die Brücke Marktheidenfeld, auch eine weitere Gewölbebrücke am Main und Wahrzeichen der Gemeinde, erfolgreich als stand-sicher nachgewiesen.

Bild 4:

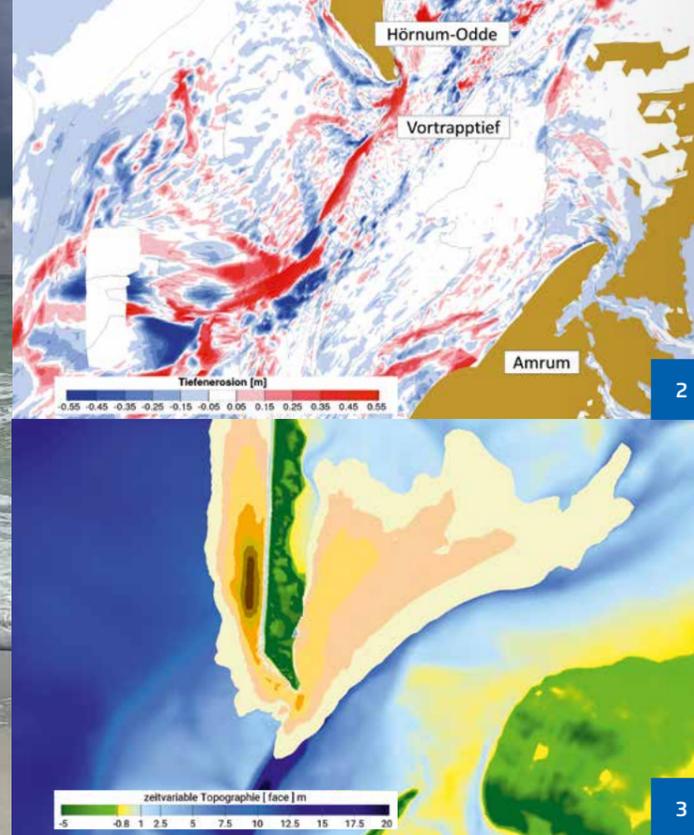
Alte Brücke Lohr, Umhüllende der totalen Dehnungen EPTO_Y infolge Schiffsstoßeinwirkung über alle Zeitschritte



Fazit

Zur bautechnischen Begutachtung massiver Bestandsbauwerke stehen diverse statische Methoden und Programme zur Verfügung. Deren Anwendung ist mit unterschiedlich großem Aufwand verbunden. Entsprechend der Aufgabenstellung ist zu entscheiden, welche Tragwerksmodellierung zu wählen ist. Nicht immer ist es notwendig, anspruchsvolle numerische Modelle einzusetzen. Zur genaueren Ermittlung rechnerischer Standsicherheitsreserven massiver Wasserbauwerke, zur Analyse von Schäden oder aber zur probabilistischen Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit ist eine realitätsnahe statische Modellierung des Tragwerks jedoch unverzichtbar. Wesentliche Elemente dabei sind die Erfassung stofflicher Nichtlinearitäten inklusive möglicher Rissbildungen sowie räumlicher Effekte zur Berücksichtigung auftretender Lastumlagerungen. Die oft geäußerte Vermutung, dass eine zweidimensionale

Modellierung grundsätzlich „auf der sicheren Seite liegt“, ist nur bedingt zutreffend. Gegenüber früheren Berechnungen lassen sich Bauwerke durch nichtlineare, räumliche und auch dynamische Berechnungen, wie bei alten Gewölbebrücken unter Schiffsanprall, als standsicher nachweisen. Ggf. führen probabilistische Untersuchungen auf der Basis relevanter Grenzzustände sowie gesicherter Verteilungen für Einwirkungen und Widerstände zu akzeptablen Versagenswahrscheinlichkeiten. Für die Erfassung der Widerstände spielt dabei die Scher- und Schubfestigkeit eine entscheidende Rolle. Deshalb wurden in der Abteilung Bautechnik entsprechende Erweiterungen im labortechnischen Bereich vorgenommen, sodass vor allem Scherfestigkeiten an entnommenen Proben aus bestehenden Bauwerken an den Bundeswasserstraßen ermittelt werden können. Unsicherheiten bleiben bestehen bei der Berücksichtigung bzw. Modellierung der Verteilung der Stoffeigenschaften im Raum („random fields“). Hieran wird in Zukunft weiter zu arbeiten sein.



BASEWAD – Simulation der morphologischen Entwicklung im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer

Hauptaufgabe des Küstenschutzes ist die Abschirmung des Hinterlandes vor den Naturgewalten bei extremen Einzereignissen, wie z. B. Sturmfluten. Genauso wichtig ist jedoch auch der Schutz der Küste vor Sedimentverlust durch Erosion. Lösungsansätze müssen unter dem Einfluss des Klimawandels und dem damit einhergehenden Meeresspiegelanstieg überprüft bzw. erarbeitet werden. „Harte“ Maßnahmen des Küstenschutzes, wie z. B. Deiche und Wellenbrecher, verändern jedoch das ursprüngliche Landschaftsbild einer Küste (Bild 1) und greifen stark in die natürliche Küstdynamik ein. Darüber hinaus können die bestehenden Strukturen nur mit hohem Aufwand und hohen Kosten an einen steigenden Meeresspiegel angepasst werden. Gerade bei einem stark beschleunigten Anstieg ist dies ein Problem.

Als Alternative zu den „harten“ Küstenschutzmaßnahmen haben in den letzten Jahrzehnten unter dem Begriff „Building with Nature“ vermehrt „weiche“ Küstenschutzmaßnahmen Verbreitung gefunden. Darunter fallen z. B. Sandeinbringungen im Vorstrand zur Stärkung natürlicher Riffsysteme oder Strandaufspülungen als Erosionsausgleich an den Küsten, aber auch die Nutzung und Stärkung von Sanddünen als Deichersatz oder -ergänzung. Solche Ansätze haben den Vorteil, dass sie flexibler an sich ändernde Bedingungen angepasst werden können und schonender in bestehende küstennahe Ökosysteme eingreifen. Auf den Touris-

mus und die Naherholung hat eine natürliche Erscheinung der Küsten ebenfalls eine positive Wirkung. Die effektive Umsetzung solcher „weichen“ Küstenschutzmaßnahmen erfordert jedoch weitere Untersuchungen, da regionale Aspekte wie Bemessungswasserstände, Strömungen, Schutzniveaus und Schadenspotenziale betrachtet werden müssen.

Im Rahmen des Interreg North Sea Region Projekts „Building with Nature“ (<https://northsearegion.eu/building-with-nature/>) wird die Wirkung von Sandvorspülungen im europäischen Raum untersucht. Partner aus Deutschland, Belgien, Dänemark, Schweden und den Niederlanden verfolgen das Ziel, nachhaltige Strategien zu entwickeln und zu überprüfen, um möglichen Auswirkungen des Klimawandels entgegenzuwirken und zugleich bestimmte Ökosysteme gezielt zu stärken. Natürliche Transportprozesse sollen genutzt werden, um durch Sandvorspülungen den Küstenschutz nachhaltig zu stärken und so der Erosion bestimmter Küstenabschnitte entgegenzuwirken.

Das FuE-Projekt BASEWAD ist ein Teilprojekt dieses Interreg Projektes, bei dem die BAW für den Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein (LKN.SH) tätig ist. Der Fokus liegt hierbei auf dem Nordfriesischen Teil des Schleswig-Holsteinischen Wattenmeeres. Ziel ist es, mit Hilfe numerischer Simulationen

die Auswirkungen des Klimawandels auf das System und die Rolle, die Sandvorspülungen bei einer langfristigen Stärkung des Küstenschutzes spielen können, besser zu verstehen. Die Untersuchungen werden mit den numerischen Verfahren UnTrim (Hydrodynamik), SediMorph (Morphodynamik) und dem K-Modell (Seegang) durchgeführt. Auch wenn das Hauptaugenmerk der Untersuchungen auf der Gegend im Umfeld der Inseln Sylt, Amrum und Föhr liegt, umfasst das Modellgebiet die gesamte Deutsche Bucht, um die Tidedynamik korrekt abbilden zu können. Zudem sind die bei diesem Projekt durchzuführenden methodischen Weiterentwicklungen und gesammelten Erfahrungen unmittelbar für Fragestellungen des Sedimentmanagements, insbesondere in den Mündungsbereichen der Ästuarie, für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes von großem Nutzen.

Um Aussagen über die Wirkung und Effektivität von Maßnahmen wie Sandvorspülungen treffen zu können, ist es erforderlich, die grundlegenden Sedimenttransportprozesse in dem Bereich und die daraus resultierende morphologische Entwicklung richtig abbilden zu können. Ein wichtiger Aspekt dabei ist die korrekte Modellierung der Wechselwirkung zwischen Seegang, Strömung und Sedimenttransport. Im Fokus steht der Einfluss der räumlichen Diskretisierung des Seegangsgitters auf den Radiation Stress und die Bodenschubspannung. Der Radiation Stress wird vom Seegangmodell berechnet und wirkt im hydrodynamischen Modell als Impulsquelle auf die Strömung. Zugleich wird die Seegangskomponente der Bodenschubspannung im morphodynamischen Modul unter Berücksichtigung der Wassertiefe, der signifikanten Wellenhöhe und der Wellenrichtung berechnet. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass in Gebieten mit ausgeprägtem Seegangseinfluss und einer stark variablen Topographie eine räumliche Auflösung in der Größenordnung von mindestens 100 m erforderlich ist.

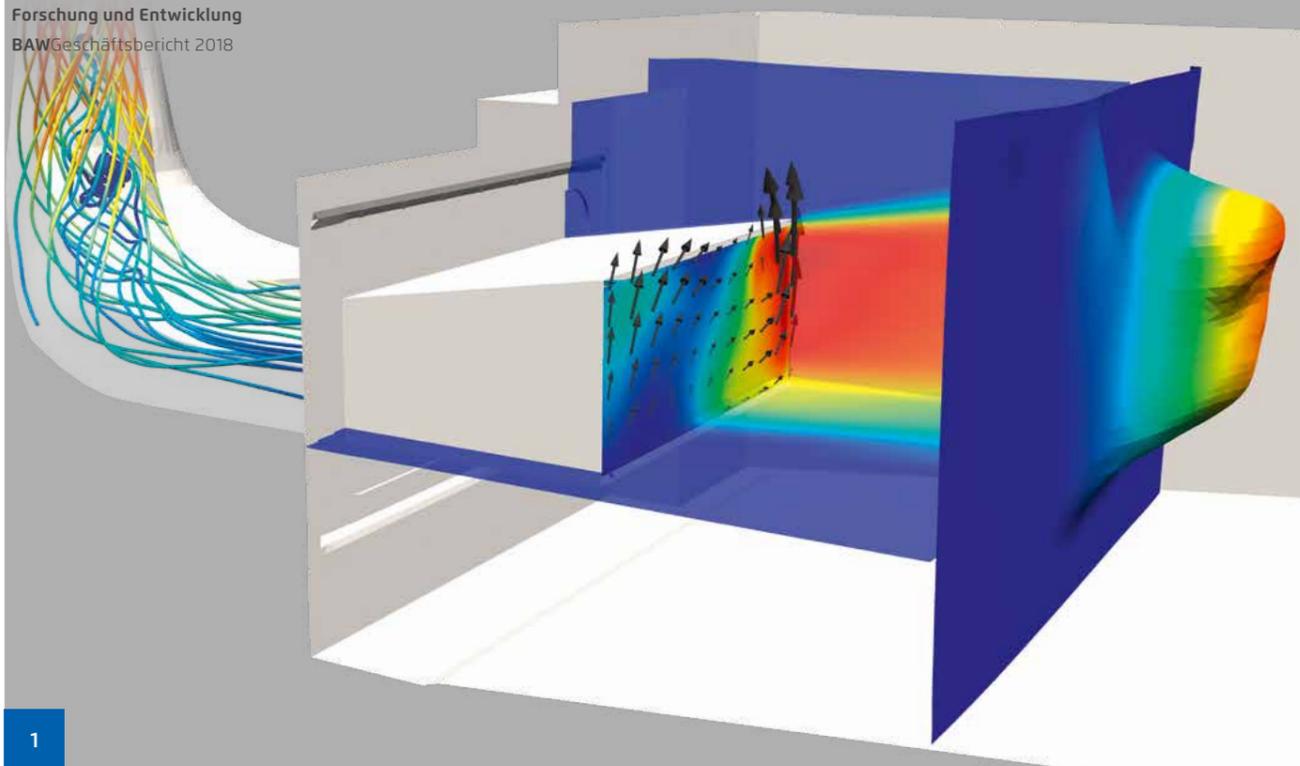
- 1: Tetrapoden unter dem Einfluss von Seegang an der Hörnumer Odde im Süden von Sylt
- 2: Gemessene flächenhafte Änderungen der Topographie im Zeitraum 2007 bis 2013 im jährlichen Mittel (blaue Bereiche = Erosion; rote Bereiche = Deposition)
- 3: Qualitatives Ausbreitungsmuster einer simulierten Sandvorspülung (dunkelbrauner Bereich) vor der Westküste von Sylt

Zur Validierung der morphologischen Aussagekraft des Modells findet ein Vergleich der Erosions- und Depositionsmuster von mittelfristigen Simulationen (Zeitraum ein Jahr) mit Messungen statt. Die starke Erosion an der Hörnumer Odde, die Schütthangbildung im Vortrapptief und eine Umlagerung von Material entlang der Amrumer Westküste in das Hörnumer Tidebecken hinein (Bild 2) werden vom Modell bereits gut abgebildet.

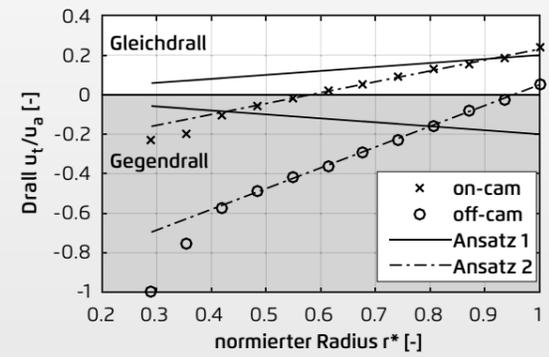
Darüber hinaus zeigen erste Simulationen die Verdriftung von aufgespültem Sediment entlang der Sylter Küste (Hörnum, Bild 3). Simuliert wurde eine reale Sandvorspülung aus dem Jahr 2017, bei der 400.000 m³ Sand vor Hörnum in das dortige Riffsystem eingebracht wurde. Im Modell ist ein Transport des eingebrachten Sediments hauptsächlich nach Süden entlang der Küste in das Vortrapptief zu erkennen. Von dort wird es mit der Tideströmung sowohl in das Ebbdelta als auch in das Tidebecken weiterbewegt. Dieses Modellergebnis stimmt mit den Erfahrungswerten aus der Region überein.

In einem nächsten Schritt werden Zukunftsszenarien für das Modellgebiet untersucht und die Auswirkungen eines erhöhten Meeresspiegels und Änderungen in der Topographie auf die Sedimenttransportdynamik ermittelt. Den Szenarien liegen die Überlegungen zugrunde, die das LKN.SH im Rahmen der Wattenmeerstrategie 2100 angestellt hat. Es werden je zwei Untersuchungen für die nahe (2050) und die ferne (2100) Zukunft mit Meeresspiegelanstiegen von 20 cm bis 80 cm durchgeführt. Mit Hinblick auf erwartete Änderungen der Topographie des Wattenmeeres wurden in allen Simulationen die heute bestehenden Wattflächen angehoben und das dafür notwendige Material aus dem Küstenvorfeld und den Ebbdeltas der Seegatten entnommen. Die Simulationen unterscheiden sich in der Stärke der Änderungen und sind im Rahmen dieser Systemstudie erforderlich, da noch nicht geklärt ist, ob die Wattflächen mit dem steigenden Meeresspiegel mitwachsen können.

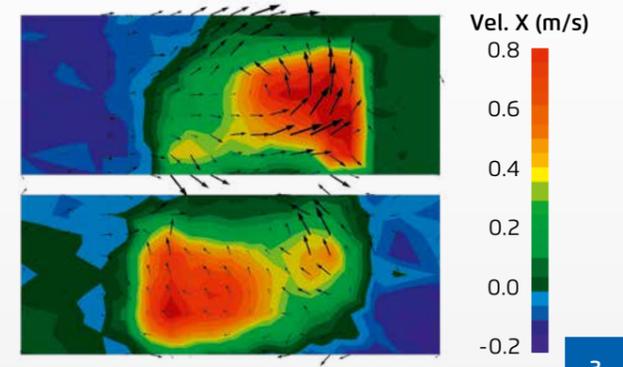
Zusätzliche Rechenergebnisse werden den Projektpartnern für weitere Studien und Untersuchungen zu Verfügung gestellt. Hierbei stehen insbesondere verschiedene Langzeitkennwerte sowohl der Hydrodynamik als auch der Morphodynamik im Monatsmittel für den Zeitraum 2010 bis 2016 im Vordergrund. Diese Daten sollen für eine Korrelationsanalyse mit biologischen Proben genutzt werden, um daraus Schlüsse auf die Auswirkungen des Klimawandels auf die Biotik in dem Untersuchungsgebiet ziehen zu können.



1



2



3

1: Numerische Simulation des Turbinenversuchsstands
2: Drallverteilung über normiertem Turbinenradius
3: Geschwindigkeitsverteilung im Unterwasser. Oben on-cam-Betrieb, unten off-cam-Betrieb bei gleichem Durchfluss

Einflüsse auf die Strömung im Unterwasser von Wasserkraftanlagen und deren numerische Simulation

Seit Jahrhunderten erfüllen Stauanlagen wichtige Funktionen für den Verkehrsträger Wasserstraße, die regenerative Energieerzeugung und den Hochwasserschutz. Mit dem zunehmend wachsenden Umweltbewusstsein ist aber auch deren nachteilige Wirkung auf die Durchgängigkeit der Fließgewässer in den Fokus der Umweltpolitik gerückt.

So wurde in der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL 2000) das Ziel formuliert, für erheblich veränderte Fließgewässer ein sogenanntes „gutes ökologisches Potenzial“ zu erreichen. Mit der Novellierung des Wasserhaushaltsgesetzes im Jahr 2010 erhielt die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes den gesetzlichen Auftrag, an ihren Stauanlagen die Durchgängigkeit wiederherzustellen, soweit dies erforderlich ist, um die Bewirtschaftungsziele nach Maßgabe der Wasserrahmenrichtlinie zu erreichen. Dies betrifft ca. 250 Stauanlagen. Ein unabdingbarer Baustein zur Wiederherstellung der ökologischen Durchgängigkeit ist der Bau von funktionsfähigen Fischaufstiegsanlagen (FAA). Insbesondere an Standorten mit Wasserkraftanlagen besteht die Herausforderung darin, die Strömung aus der Fischaufstiegsanlage (Leitströmung) so zu gestalten, dass sie von Fischen in Konkurrenz zur Kraftwerksausströmung wahrgenommen werden kann und der Einstieg in die FAA für den Fisch damit auffindbar ist. Für die Bemessung der Leitströmung ist es somit

wichtig, die hydraulischen Verhältnisse im Kraftwerksunterwasser zu charakterisieren und Werkzeuge zur Prognose der Leitströmungsausbreitung zur Verfügung zu haben.

Das Forschungsprojekt zielte sowohl darauf ab, die betriebstechnischen und baulich-geometrischen Einflüsse auf die Strömung im Kraftwerksunterwasser zu identifizieren als auch die Möglichkeiten und Grenzen der Abbildung dieser Strömungsprozesse in einem dreidimensionalen hydrodynamisch-numerischen (3D-HN) Modell auszuloten (Bild 1). Für ersteres konnte mit dem Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU München (TUM) ein kompetenter Kooperationspartner gewonnen werden.

Um in den Untersuchungen zielgerichtet auf die Gegebenheiten der Wasserkraftanlagen an Bundeswasserstraßen einzugehen, ermittelte die TUM zu Beginn des Projekts in einer umfassenden Datenerhebung detaillierte Standortinformationen an 88 Anlagen. Dazu gehören sowohl baulich-geometrische Daten des Kraftwerks (Turbinen, Saugrohr, Unterwasser) als auch die Betriebsweise und die hydrologischen Verhältnisse am Standort.

Auf diesen Informationen aufbauend führte die TUM Modellversuche mit einer Kaplan-Halbspiralturbine, ein an Bundeswasserstraßen häufig anzutreffender Turbinentyp,

durch. Dabei wurden die Geschwindigkeitsverhältnisse im Unterwasser für verschiedene Betriebspunkte der Turbine (Teillast- bis Überlastbereich), veränderte Einstellungen des Leit- und Laufradzusammenhangs (sogenannter off-cam Betrieb) und verschiedene geometrische Ausprägungen des Unterwassers sowie des Saugrohres vermessen. Außerdem wurde die Drallverteilung im direkten Nachlauf der Turbine mit einer Conradsonde erfasst. Als Drall wird das Verhältnis Fließgeschwindigkeit in Turbinendreh- (u_t) zur Turbinenachsenrichtung (u_a) definiert.

Die Messungen bei verschiedenen Betriebspunkten zeigen einen Zusammenhang zwischen dem Drall in der Laufradabströmung und der Geschwindigkeitsverteilung am Saugrohraustritt. Ein hoher Drallanteil führt zu einer stark ungleichförmigen Ausströmung, deren Charakteristik davon abhängt, ob der Drall gleich oder entgegengesetzt der Turbinendrehrichtung ist. Durch eine Abweichung von der im Turbinenkennfeld vorgegebenen Kombination von Leit- und Laufradstellung (off-cam) kann die Charakteristik des Dralls verändert werden (Bild 2 und Bild 3). Dieser Zusammenhang ließe sich gezielt nutzen, um die Strömungsverhältnisse im Unterwasser zu beeinflussen. Das nicht optimale Verhältnis von Lauf- zu Leitradstellung führt allerdings auch zu Wirkungsgradeinbußen, die turbinenspezifisch zu beurteilen wären.

Saugrohrreinbauten, wie sie in den Anlagen an Bundeswasserstraßen häufig vorkommen (vertikale Trennwand und vertikale Trennwand mit horizontaler Saugrohrzunge), veränderten die Geschwindigkeitsverteilung und die Sekundärströmung im Unterwasser deutlicher als dies bei veränderten Steigungen der Unterwassersohle oder verschiedenen Ufergeometrien der Fall ist.

Messdaten der Geschwindigkeitsverteilung in einem Kraftwerksunterwasser lassen sich im Feld nicht in der

Güte, wie sie am Versuchsstand gewonnen wurden, erheben. Deshalb dienen die Messdaten gleichzeitig als Referenz für die 3D-HN-Strömungssimulation mit dem Open-Source-Verfahren OpenFOAM®. Im Hinblick auf das Ziel, numerische Modelle als Prognosewerkzeug an realen Anlagen zu verwenden, lag bei der numerischen Modellierung des Versuchsstandes der Fokus darauf, verschiedene Randbedingungsansätze zu evaluieren und weiterzuentwickeln, die die Laufradabströmung durch vereinfachende Annahmen abschätzen.

Im einfachsten hier untersuchten Ansatz wird die Laufradabströmung als drallbehaftete Geschwindigkeitsverteilung am Modelleinlassrand vorgegeben. Der Drall steigt dabei von Null in der Turbinenachse mit einer zu definierenden Steigung linear über den Radius an (Bild 2: Ansatz 1). Gestützt durch die Conradsondenmessung wird die Axialgeschwindigkeit als konstant angenommen und die Radialgeschwindigkeit vernachlässigt. Zwar mit einer gewissen Unschärfe behaftet, zeigen die Simulationen, dass durch eine geeignete Wahl der Drallsteigung eine der Messung ähnliche Strömungscharakteristik im Unterwasser erreicht werden kann. Mit der Weiterentwicklung dieses Ansatzes, bei der auch der Drall in der Turbinenachse frei gewählt werden kann (Bild 2: Ansatz 2), lassen sich deutlich realistischere Drallverhältnisse vorgeben, was zu einer verbesserten Übereinstimmung zwischen Messungen und Simulation im Unterwasser führt.

Vergleichsrechnungen des Unterwassers ohne Berücksichtigung des Saugrohrs, bei denen die im Versuchsstand gemessenen Geschwindigkeiten als Randbedingung definiert wurden, bilden die Strömung sehr gut ab. Folglich liegt die große Herausforderung in der adäquaten Modellierung der Saugrohrströmung und deren Einlassrandbedingung. Neben der Vereinfachung der in Realität hochturbulenter und instationären Strömungsverhältnisse am Saugrohereintritt hin zu einer stationären, parametrisierten Drallverteilung spielen auch anderer Faktoren eine Rolle, wie z. B. das Turbulenzmodell oder die räumliche Diskretisierung des Modells.

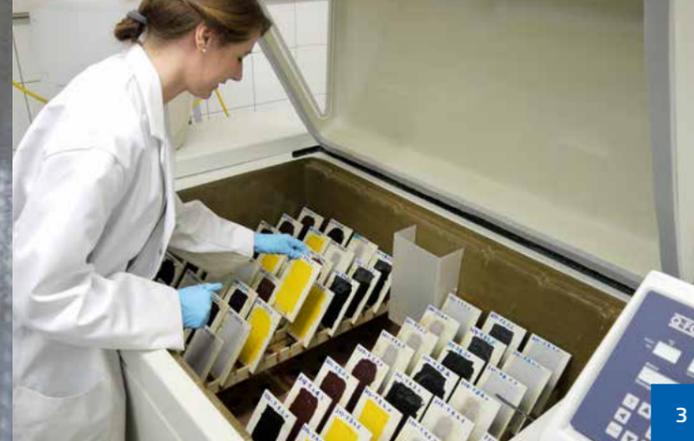
Eine Alternative zu den vorgestellten Ansätzen kann die Definition der Geschwindigkeitsverteilung in einem beliebigen Saugrohrquerschnitt sein, wenn es entweder gelingt, das Strömungsfeld an realen Anlagen im Saugrohr messtechnisch zu erfassen oder es unter Berücksichtigung seiner dreidimensionalen Charakteristik anhand von Messungen im Unterwasser kalibriert wird. Trotz einiger verbleibender Unsicherheiten sind numerische Modelle ein geeignetes Werkzeug, um Fragen im Kontext der Auffindbarkeit zu beantworten, unter der Voraussetzung, dass sie anhand geeigneter Messdaten kalibriert werden.



1



2



3

1: Die Leistungsfähigkeit von Reparatursystemen für Korrosionsschutzbeschichtungen ist maßgeblich auch von der Güte der Oberflächenvorbereitung abhängig.
2: Reparaturmaßnahmen am Korrosionsschutz
3: Reparierte Probeplatten während der Belastung in der Salzsprühnebelkammer

Smart Repair von Korrosionsschutzbeschichtungen

Im Bereich des Korrosionsschutzes auf Beschichtungsbasis steigt der Bedarf an einfachen Ausbesserungen von fehlerhaften bzw. schadhafte Stellen. Kosten- und Zeitersparnisse bei der Reparatur, aber auch Standsicherheitsgewinne der Bauwerke sind in diesem Zusammenhang häufige Argumente. Aus diesem Grund widmet sich die BAW in mehreren Untersuchungen der Bewertung der Einsatz- und Leistungsfähigkeit von Reparaturbeschichtungen.

Sogenanntes „Smart Repair“ von Korrosionsschutzbeschichtungen kann als kurzfristige Ausbesserungsmethode zu einer Verlängerung der Zeitspanne bis zur Grundinstandsetzung eines Bauwerks oder gar eines Ersatzneubaus führen. Die reine Leistungsfähigkeit des Ausbesserungsstoffes steht dabei genauso im Fokus der Untersuchungen wie die Komplexität der Applikation, aber auch die Kompatibilität bei verschiedenen Untergründen, deren Vorbereitungsqualitäten und die Kombination mit Altbeschichtungen. Dazu muss eine Systematik der methodischen Untersuchung erstellt werden, die es ermöglicht, langfristig reproduzierbare und realitätsadäquate Prüfbedingungen zu erzeugen.

Zur Prüfung der Anwendbarkeit bzw. der Funktionalität von Ausbesserungs- bzw. Reparaturprodukten im Stahlwasserbau und im Stahlhochbau werden Laboruntersuchungen durchgeführt. Dabei soll die Analyse von Aspekten der Handhabung genauso eine Rolle spielen wie die Einsatzfähigkeit und das Langzeitverhalten der untersuchten Ausbesserungsstoffe. Diese Untersuchungen

im Labor sind unabdingbar, um z. B. Extrembelastungen simulieren zu können. Nur wenn die Produkte an ihre Einsatzgrenzen gebracht werden, können Aussagen über das langfristige Verhalten am Bauwerk getroffen werden. Diese Untersuchungsmethoden sollen über die Projektlaufzeit zielführend angepasst bzw. erweitert werden. Im Folgenden soll das bisherige Prüfprogramm sowie die Annahmen, auf denen es aufbaut, vorgestellt werden:

- a) Reparaturen am Bauwerk sollten unter optimalen Umgebungsbedingungen, mindestens aber unter den vom Hersteller vorgegebenen Einsatzgrenzen, durchgeführt werden. Häufig stellen eine erhöhte relative Luftfeuchtigkeit und eine ungünstige Lufttemperatur hohe Beanspruchungen an das zu applizierende Reparatursystem dar (Bild 1). In einer Klimakammer wurden „ungünstige“ Umgebungsbedingungen bei der Applikation simuliert. Dabei sind sowohl Temperatur als auch relative Luftfeuchtigkeit bis in Grenzbereiche bzw. Extreme eingestellt worden. Im anschließenden Korrosionstest wurden die Auswirkungen dieser Applikationsbedingungen untersucht.
- b) In der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes ist eine große Anzahl an alten Stahlwasserbau- und Hochbauwerken vorhanden. Dennoch werden diese Bauwerke bei gegebener Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit weiter in Betrieb gehalten und ggf. zwischenzeitlich repariert. Dazu müssen die

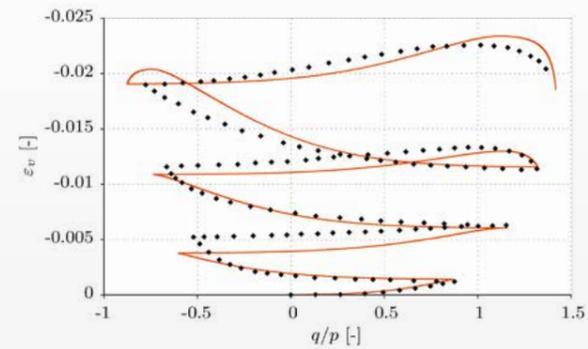
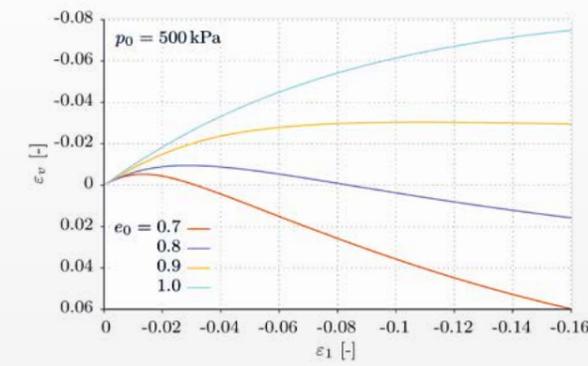
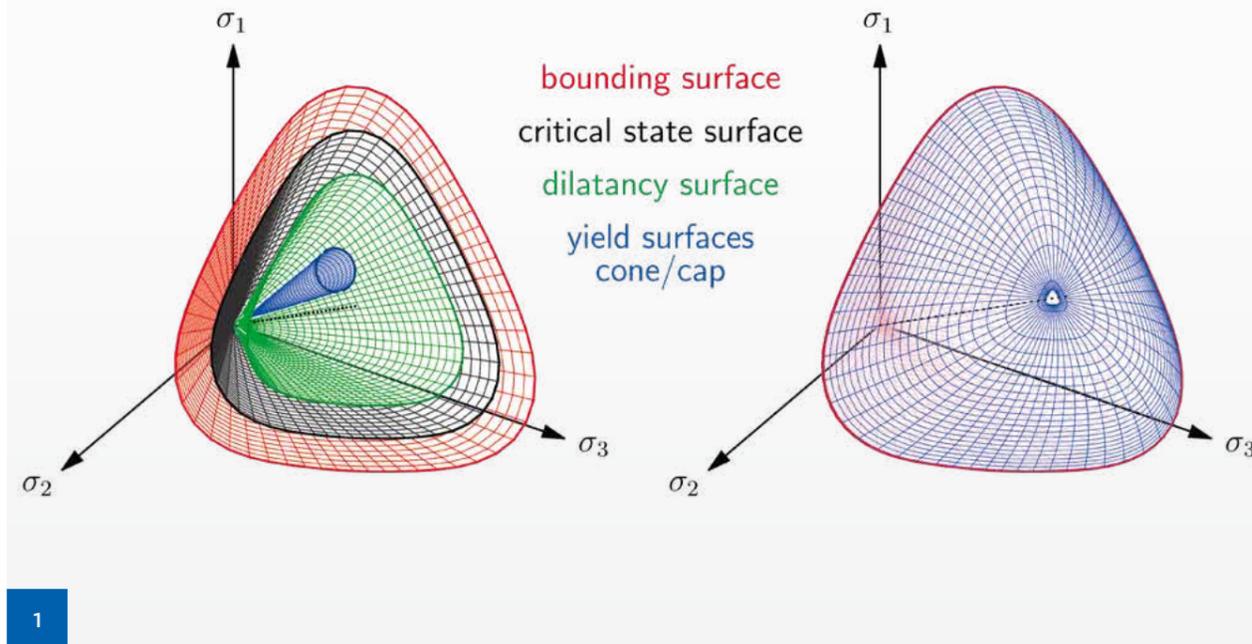
neuartigen Reparatursysteme in den Übergangsbereichen mit der Altbeschichtung kompatibel sein. Aus Bauwerken mit entsprechend alten Beschichtungssystemen wurden Probenplatten extrahiert, welche eine künstliche Verletzung bis zum Substrat erhielten. Nach der Vorbewitterung wurde eine Reparatur an der Verletzung durchgeführt. Anschließend wurden die „reparierten“ Proben nochmals belastet, sodass danach die Leistungsfähigkeit der Reparatursysteme überprüft werden konnte.

- c) Sowohl an Land als auch an der Küste und auf hoher See sind Korrosionsschutzbeschichtungen einer Vielzahl von äußeren Einflüssen ausgesetzt. Neben den beständigen Wetterbedingungen durch Wind, Welle, Gischt, Eis und Sonneneinstrahlung sowie biologischen Beeinflussungen besteht das Risiko einer Beschädigung bereits während der Bauphase durch Installationsprozesse oder während des Betriebes durch Treibgut. Ein Reparatursystem muss daher auf ein breites Spektrum an Schädigungsmustern anwendbar sein. Probenplatten wurden mit verschiedenen Methoden beschädigt. Die Proben wurden danach Vorbewittert, sodass ein Korrosionsprozess einsetzen konnte. Anschließend wurden diese Verletzungen mit den Reparatursystemen versiegelt. Eine darauf folgende Nachbewitterung ließ Rückschlüsse auf die Leistungsfähigkeit der Reparatursysteme zu.
- d) Beim Einsatz vor Ort am Bauwerk kann eine Reparatur oft nicht mit der gleichen Qualitätsgüte ausgeführt werden wie während der Erstbeschichtung im Werk. Neben den vorherrschenden ungünstigen Umgebungsbedingungen ist vor allem die Beschränkung an möglichem Werkzeug zur Applikation charakteristisch. Strom- oder Druckluftversorgung für elektrisch-pneumatische Geräte sind nicht an jeder Baustelle verfügbar, sodass

manchmal lediglich manuelle Werkzeuge benutzt werden können (Bild 2). Das verwendete Reparatursystem sollte mit möglichst vielen verschiedenen manuellen Werkzeugen appliziert werden können, ohne seine Leistungsfähigkeit einzubüßen. Vorbelastete Probenplatten wurden mit Reparatursystemen unter zu Hilfenahme verschiedener Werkzeuge ausgebessert. Dabei wurde sowohl die Handhabbarkeit als auch eine möglichst saubere Verarbeitung evaluiert. Anschließend wurden die Proben nochmals bewittert, um eine Analyse der Leistungsfähigkeit durchführen zu können.

- e) Um eine möglichst saubere und funktionstüchtige Applikation des Ausbesserungssystems zu gewährleisten, ist es von Bedeutung, eine möglichst gute Oberflächenvorbereitung durchzuführen. Jedoch kann „vor Ort“ nicht immer auf elektrische Werkzeuge z. B. Schleifgeräte zurückgegriffen werden, sodass auch einfachere Methoden wie die Handentrostung mit einer Drahtbürste oder einfaches Abwischen mit Reinigerflüssigkeiten zum Einsatz kommen. An korrosionsvorbelasteten Probenplatten wurden verschiedene Methoden der Oberflächenvorbereitung geprüft. Anschließend wurden die Reparatursysteme unter vergleichbaren Bedingungen aufgetragen. Eine weitere Bewitterungsphase im Anschluss ließ eine Analyse der Leistungsfähigkeit bzw. Sensibilität auf unterschiedliche Vorbereitungsgrade der Systeme zu.

Die Auswahl der verschiedenen bisherigen Versuchsansätze beruht auf Erfahrungen, welche bei Anwendungstests im Feld gemacht wurden. Die Fragestellungen zielen auf denkbar ungünstige Bedingungen bei der Applikation der Ausbesserungsstoffe, aber auch während deren Lebensdauer am Bauwerk ab. Im Labor lassen sich entsprechende Szenarien zielgenau simulieren (Bild 3). Die Versuchsansätze haben gezeigt, dass die Entwicklung von spezifischen Untersuchungen von Reparaturprodukten über die Portierung von bereits genormten Verfahren zur Korrosionsschutzvalidierung hinausgeht. Die besonderen Anforderungen an Ausbesserungsstoffe gegenüber herkömmlichen Erstbeschichtungsprodukten bedürfen demnach angepasster Verfahren zur Leistungsvalidierung. Im Rahmen der o. g. Untersuchungen der BAW wurde ein erster Schritt in diese Richtung unternommen. Weitere Versuche sollen die Grundlage für ein späteres Prüfzenario sein, mit dem Ausbesserungsstoffe für Korrosionsschutzbeschichtungen schnell und sicher für geeignete Anwendungsbereiche auf Tauglichkeit geprüft werden können.



Modellierung der Verformung nichtbindiger Böden unter zyklischer Belastungseinwirkung von Schleusenbauwerken

Schiffahrtsschleusen erfahren im Betrieb eine erhebliche Anzahl an Lastwechseln, die sowohl auf das Bauwerk als auch auf den umgebenden Baugrund einwirken. Nichtbindige Böden zeigen infolge zyklischer Belastung eine bedeutende Akkumulation plastischer Verformungen. Dies kann sowohl in Laborexperimenten als auch bei Setzungsmessungen wechselbeanspruchter Bauwerke beobachtet werden. Insbesondere bei hohen Schleusen und Sparbecken, die in der Regel sehr große Lastamplituden aufweisen, werden beachtliche Langzeitsetzungen verzeichnet. Sind diese Verformungen nicht schon in der Planungsphase bekannt und die Bauwerke dementsprechend bemessen, können sie insbesondere bei Auftreten in Form von Differenzsetzungen zu erheblichen Bauwerksschäden führen (z. B. Risse, Schäden an Fugenbändern, Schiefstellung von Bauwerksblöcken).

Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung eines Stoffgesetzes, das es erlaubt, die infolge zyklischer Belastung auftretenden Langzeitsetzungen von Schleusenbauwerken hinreichend genau zu berechnen. So können Bauwerksschäden vermieden und einzelne Bauteile wirtschaftlicher bemessen werden. Derzeit verfügbare Stoffmodelle sind dafür nur eingeschränkt nutzbar, da sie das

Bodenverhalten entweder unzulänglich erfassen oder aufgrund ihrer Komplexität nicht für die geotechnische Praxis geeignet sind. In einem Finite-Elemente-Programm (z. B. PLAXIS, Abaqus) implementiert, soll das Rechenmodell in der Lage sein, das Bodenverhalten entlang sowohl elementarer als auch zusammengesetzter Spannungspfade abzubilden. Letztere umfassen neben komplexen Bauprozessen auch Belastungsszenarien mit einer gewissen Anzahl an Lastzyklen, die mit akzeptablem Rechenaufwand und ohne rein empirische Ansätze erfasst werden sollen. Es soll ein Stoffmodell für baupraktische Anwendungen einschließlich einer umfassenden Dokumentation der Funktionsweise und Einsatzgrenzen bereitgestellt werden.

Zur Entwicklung des Stoffgesetzes kamen vorrangig numerische Methoden zum Einsatz. Ein Elementversuchsprogramm (constitutive driver) diente zur Erarbeitung und Verifizierung des Modells. Dabei wird die Qualität des Materialmodells durch einen Abgleich von Simulationsergebnissen mit in der Literatur dokumentierten Laborversuchen (z. B. ödometrische/isotrope Kompressionsversuche, drainierte/undrainierte Triaxialversuche) bewertet. Mittels systematischer Nachrechnung von Spannungspfaden

werden die Möglichkeiten und Grenzen des Stoffmodells aufgezeigt. Nach der Überführung des Stoffgesetzes in eine Routine für die Anwendung in einer FEM-Software können Randwertprobleme gelöst und im Sinne einer Validierung mit In-situ-Langzeitmessungen verglichen werden.

Als Ausgangspunkt diente ein elastoplastisches Stoffgesetz, ein sogenanntes Bounding-Surface-Modell (Manzari und Dafalias 1997), welches durch konstitutive Änderungen den Bedürfnissen praktischer Anwendungen angenähert wurde. Die Struktur des Materialmodells besteht aus den in Bild 1 dargestellten Komponenten: den Modellflächen der Bounding Surface Plasticity (bounding, critical state und dilatancy surface), einer konischen, kinematisch verfestigenden Fließfläche (yield surface: cone/Konus, links), sowie einer zusätzlich implementierten kappenartigen, isotrop verfestigenden Fließfläche (cap/Kappe, rechts). Die grundlegende Idee des Modells besteht darin, Bodeneigenschaften wie Steifigkeit oder Dilatanz mit dem Abstand zwischen aktuellem Spannungspunkt und einer Modellfläche zu korrelieren. Dabei sind die Eigenschaften des Bodens jeweils mit einer bestimmten Modellfläche verknüpft. So nimmt beispielsweise die Schubsteifigkeit des Bodens mit Annäherung an die bounding surface sukzessive ab, bis der Peak und damit der Übergang von Verfestigung zu Entfestigung erreicht ist.

Ein klarer Vorteil des Modellkonzepts ist die zustandsabhängige Formulierung: bei der Bestimmung des Bodenverhaltens wird nicht nur die aktuelle Spannung, sondern auch die Lagerungsdichte berücksichtigt. So können unterschiedliche Initialspannungszustände und Ausgangsdichten (ausgedrückt durch die Porenzahl e) eines Bodens mit nur einem Parametersatz simuliert werden (Bild 2). Die Gestalt der Modellflächen ist angelehnt an die Geometrie der Spannungsgrenzbedingung nach Matsuoka-Nakai. So wird, im Gegensatz zu Mohr-Coulomb, der Einfluss der mitt-

1: Darstellung der Modellflächen im Spannungsraum: zugrunde liegendes Bounding Surface Modell (links) und zusätzliche kappenförmige Fließfläche (rechts)
2: Volumetrisches Verformungsverhalten (Dilatanz) bei triaxialer Kompression eines Bodens unterschiedlicher Ausgangsdichten ($e_0 = 0,7$ bis $1,0$)
3: Niederzyklischer Triaxialversuch: Experiment (♦) und Simulation (—)

leren Hauptspannung auf die Scherfestigkeit berücksichtigt (Ausnutzung von Tragreserven bei ebenen und dreidimensionalen Standsicherheitsberechnungen). Darüber hinaus erlaubt die kinematische Verfestigung des Konus die Akkumulation von Verformungen (bzw. Porenwasserdrücken) bei zyklischer Scherung. Die zusätzlich implementierte Kappe ermöglicht plastische (irreversible) Deformationen entlang ödometrischer Spannungspfade und damit einen Steifigkeitsunterschied zwischen (Erst-)Belastung und Entlastung. Sie wurde mit einem belastungs- bzw. dehnungsrichtungsabhängigen Verfestigungsmechanismus versehen, um das Zusammenwirken der Fließflächen zu optimieren. Alternative Modellierungsansätze für die Dilatanzformulierung und für Verfestigungsmechanismen des Konus wurden im Hinblick auf eine bessere Abbildung experimenteller Daten untersucht und in das neue Modell integriert.

In einem früheren Stadium des Projektes wurde die Bedeutung der erhöhten Steifigkeit bei kleinen Dehnungen herausgearbeitet, die zur Entwicklung der Small-Strain-Erweiterung des Hardening-Soil-Modells geführt hat (Benz 2007). Ein ähnlicher Mechanismus sorgt auch im neuen Bounding-Surface-basierten Modell durch Anpassung der plastischen Steifigkeit für die Berücksichtigung des graduellen Steifigkeitsabfalls mit zunehmender Scherdehnung. Analog wird das Akkumulationsverhalten des Bodens bei fortschreitender zyklischer Scherung beeinflusst, um zyklische Phänomene wie den Shakedown (Akkumulationsrückgang mit zunehmender Zyklenanzahl) abbilden zu können. Dies erlaubt die wirklichkeitsnahe Abbildung einer begrenzten Anzahl von Lastwechseln (Bild 3). Die Implementierung eines Algorithmus zum Überspringen und zur Extrapolation von Zyklen zur Bewältigung hoher Zyklenanzahlen für die Prognose von Langzeitsetzungen wurde ansatzweise getestet.

Um die Etablierung des Materialmodells in der Ingenieurspraxis zu erleichtern, wurde ein Optimierungsalgorithmus erarbeitet und erprobt, der allgemein verwendete bodenmechanische Kenngrößen (z. B. Reibungswinkel, Dilatanzwinkel) in modellinterne Parameter konvertiert. Dem Open Source Gedanken folgend, soll die als benutzerdefiniertes Materialmodell (UDSM/UMAT) implementierte Routine zur Lösung von Randwertproblemen mittels FEM zudem frei verfügbar sein.

Literaturverzeichnis:

Benz, T. (2007): Small-strain stiffness of soils and its numerical consequences. Dissertation. Stuttgart: Universität Stuttgart.
Manzari, M. T.; Dafalias, Y. F. (1997): A critical state two-surface plasticity model for sands. In: Géotechnique 47(2), S. 255-272.

Die Bundesanstalt für Wasserbau

- Das Jahr 2018
- Wissenschaftstandem – Begleitung
des wissenschaftlichen Nachwuchses
- Daten und Fakten
- Anhang

Das Jahr 2018

Januar

Morphologische Untersuchungen für Isar-Schüttkegel



Die Isar trägt erhebliche Sedimentmengen in die Donau, aus der staugeregelten Donau kommt hingegen kaum Geschiebe. In der Folge bildet sich unterhalb der Einmündung der Isar in der Donau ein großer und sehr dynamischer Schüttkegel mit Einschränkungen der Fahrrinne. Bei den Planungen zum Donauausbau Straubing-Vilshofen stellt dieser Abschnitt daher eine besondere Herausforderung dar. Um mit den numerischen Modellierungen eine verbesserte Prognosesicherheit zu erlangen, wurde ein gegenständliches Modell im Maßstab 1 : 30 in der BAW errichtet. Das Geschiebe aus Sand, Kies und Steinen wird im Modell durch eine spezielle Mischung aus Kunststoffgranulaten nachgebildet. Das Bild zeigt das Modell nach einem Isar-Hochwasser, bei dem große Sedimentmengen auf den Schüttkegel transportiert wurden. Um vorhandene Infrastruktur nachnutzen zu können, wurde das Modell spiegelverkehrt aufgebaut.

JAN

FEB

MRZ

März

BMVI-Expertennetzwerk

Am 13. und 14. März fand das Netzwerktreffen des BMVI-Expertennetzwerks in der BAW in Karlsruhe statt. Sieben Ressortforschungseinrichtungen und Fachbehörden des BMVI forschen in diesem Verbund gemeinsam an verkehrsträgerübergreifenden Lösungen für die drängenden Verkehrsfragen der Zukunft.



Das Jahr 2018



Mai Neuer Leiter des Referats Massivbau

„Ich habe nach einer Stelle gesucht, die an der Grenze zwischen Wissenschaft und Praxis liegt und ein breites Aufgabenspektrum bietet.“
Zum 1. Mai übernahm Dr.-Ing. Christoph Stephan als Nachfolger von Rainer Ehmann die Leitung des Referats Massivbau in der BAW.

APR |

Juni Neuer Leiter des Referats Geotechnik Küste

„Zukünftig werden wir uns voraussichtlich auch mit der Frage der Weiternutzung der Gründungssysteme der in Betrieb befindlichen Windparks über die ursprünglich geplante Betriebsdauer hinaus befassen.“
Dipl.-Ing. Uwe Tzschach ist seit 1. Juni Leiter des Referats Geotechnik Küste bei der BAW am Standort Hamburg.



MAI |

Juni 1. Tagung des BMVI-Expertennetzwerks



Im Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) in Berlin fand am 14. Juni die Tagung „Verkehr und Infrastruktur 2018“ des BMVI-Expertennetzwerks statt.
Prof. Dr. Christoph Heinzlmann im Rahmen seiner Begrüßungsrede: „Ich halte es für außerordentlich wichtig, dass unsere Arbeiten nicht im Elfenbeinturm der Wissenschaft stattfinden, sondern frühzeitig kommuniziert und diskutiert werden. Auf diese Weise bekommen wir schon früh Feedback von Seiten der späteren Nutzer und können bei Bedarf nachsteuern.“

JUN |

JUL |

AUG |

Mai BAW auf der KIT-Karrieremesse



BAW-Messestand vom 15. bis 17. Mai auf der KIT-Karrieremesse.
Auch im Jahr 2018 hat die BAW die jährliche Karrieremesse des Karlsruher Institut für Technologie (KIT) genutzt, um sich als attraktiver Arbeitgeber bei Studenten und Absolventen vorzustellen.

August Landesverkehrsminister Winfried Hermann



Besuch von Landesverkehrsminister Winfried Hermann am 29. August in der BAW in Karlsruhe.
Neben Themen rund um den Neckar stand die Besichtigung von Versuchseinrichtungen auf dem Programm, so z. B. unsere Modelluntersuchungen zur Abladeoptimierung am Mittelrhein, die Naturversuche zur technisch-biologischen Ufersicherung bei Worms am Rhein und die Einsatzmöglichkeiten des Schiffsführungssimulators für fahrdynamische Untersuchungen.

Das Jahr 2018



September

Die BAW auf der Weltleitmesse SMM

SMM 2018 (Schiffbau-Maschine-Meerestechnik) vom 4. bis 7. September in den Hamburger Messehallen. Höhepunkte waren u. a. Gespräche mit den Bundestagsabgeordneten Claudia Müller (Bündnis 90/Die Grünen) sowie Oliver Grundmann (CDU).

September

Baugrundtagung 2018 in Stuttgart

Baugrundtagung am 27./28. September in Stuttgart: Die alle zwei Jahre stattfindende Veranstaltung widmet sich neuen Entwicklungen sowie aktuellen Herausforderungen und Problemstellungen auf dem Gebiet der Geotechnik. Erstmals war die BAW nicht allein durch Fachvorträge vertreten, sondern auch mit einem Stand auf der begleitenden Fachausstellung.



November

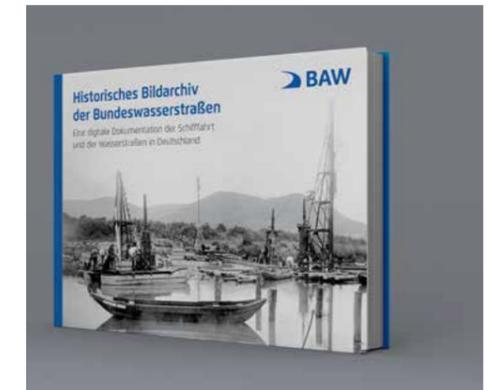
Festkolloquium „70 Jahre BAW“

Mit einem Festkolloquium am 14. und 15. November hat die BAW ihr 70-jähriges Jubiläum in Karlsruhe gefeiert. 230 Gäste aus Verwaltung, Wissenschaft und Unternehmen nahmen teil. Im Mittelpunkt der Veranstaltung: Eine Standortbestimmung für den Verkehrswasserbau in Deutschland: Woher kommen wir, wo stehen wir heute und wohin gehen wir?

November

Historischer Bilderschatz der Wasserstraßen

Seit dem Jahr 2010 baut die BAW das „Historische Bildarchiv der Bundeswasserstraßen“ auf. Bereits über 16.000 Bilder stehen dort in digitaler Form bereit und können über das Portal izw.baw.de kostenlos abgerufen werden. Eine Auswahl von 450 dieser Bilder ist in einem Bildband erschienen, den die BAW aus Anlass ihres 70-jährigen Jubiläums herausgebracht hat.



SEP

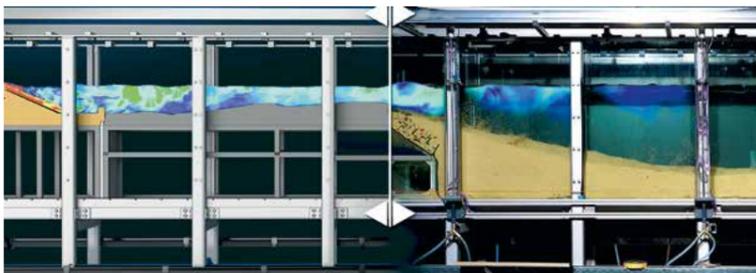
OKT

NOV

DEZ

Oktober

Instandsetzung der Wehranlage Geesthacht

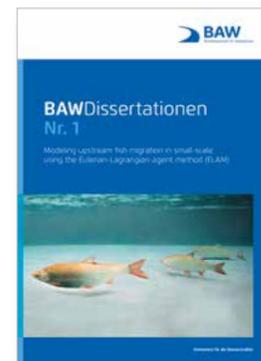


Instandsetzung der Wehranlage Geesthacht – Untersuchungen zum Kolkprozess und hydraulische Dimensionierung eines neuen Tosbeckens. Das Bild zeigt beispielhaft die verwendeten Untersuchungsmethoden. (links: Darstellung der Geschwindigkeitsverteilung aus numerischer Berechnung; rechts: Untersuchung der Kolkform im gegenständlichen Modell)

Oktober

Neue Publikationsreihe BAWDissertationen

In dieser Reihe werden ab sofort Doktorarbeiten, die im Rahmen von wissenschaftlichen Kooperationen der BAW mit Universitäten entstanden sind, als Erst- oder Zweitveröffentlichung publiziert.



Oktober

Abladeoptimierung Mittelrhein

Die BAW unterstützt das WSA Duisburg-Rhein als Träger des Vorhabens „Abladeoptimierung Mittelrhein“ referats- und abteilungsübergreifend. Im Referat Flussbau werden potenzielle Maßnahmen zur Verbesserung der Fahrrinntiefe mit verschiedenen numerischen und gegenständlichen Modellen untersucht, die vom Referat Schifffahrt fahrdynamisch beurteilt werden. Ein Baugrundgutachten für die notwendige Felsbearbeitung in der oberen Gebirgsstrecke zwischen Bingen und St. Goar wird vom Referat Erdbau und Uferschutz erstellt.



Dezember

Neubau der ATAIR

Das im Bau befindliche Schiff für das BSH, entwickelt im Referat Schiffstechnik der BAW, ist als Forschungsschiff ein fahrendes wissenschaftliches Labor und übernimmt Aufgaben unter anderem in der Geologie, der Ozeanographie und in der Entwicklung und Prüfung von technischen Schiffsausrüstungen.

Wissenschaftstandem – Begleitung des wissenschaftlichen Nachwuchses

Die BAW rechnet auch in den kommenden Jahren mit einer äußerst herausfordernden Konkurrenzsituation für Arbeitgeber bei der Gewinnung von qualifizierten Fachkräften. Als Schlüssel für eine erfolgreiche Personalgewinnung hat sich für die BAW die frühzeitige Präsenz in den relevanten Studiengängen erwiesen. Neben der Personalentwicklung für die eigenen Beschäftigten müssen deshalb, im Sinne einer langfristig ausgerichteten Nachwuchsgewinnungsstrategie, die Qualifizierung und die Entwicklung des wissenschaftlichen Nachwuchses für den Verkehrswasserbau in Deutschland aktiv unterstützt werden.



Die BAW setzt bei der organisatorischen und fachlichen Umsetzung ihres Entwicklungsprogramms auf die fundierte fachwissenschaftliche Begleitung ihres Wissenschaftsnachwuchses. Hierzu wurde nach Empfehlung des Wissenschaftsrats und Beratung mit dem wissenschaftlichen Beirat der BAW das Wissenschaftstandem im Jahr 2018 etabliert.

Die Forschungslandschaft in Deutschland setzt seit mehreren Jahren auf individualisierte Programme zur fachlichen Begleitung ihres wissenschaftlichen Nachwuchses. Der zentrale Baustein dieser Programme bildet dabei die Zusammenarbeit von erfahrenen Experten und jüngeren Nachwuchswissenschaftlern. Diese beiden Parteien bereichern sich im Optimalfall fachlich gegenseitig: Die Jungwissenschaftler bringen neue Methoden und Technologien in die Arbeit mit ein, die den aktuellen Stand der Wissenschaft und Technik gewährleisten und gleichzeitig einen Beitrag zum hohen Forschungsstand der BAW leisten. Die begleitenden Fachexperten hingegen bleiben am Puls der Zeit und unterstützen die Jungwissenschaftler bei der praktischen und wissenschaftlichen Umsetzung ihrer Ideen und Methoden in die Praxis. Die damit verbundene hohe Qualität der Forschungs- und Arbeitsergebnisse bildet die direkte Verbindung zur fachlichen Qualifizierung der Beschäftigten – dem Wissenschaftstandem der BAW.

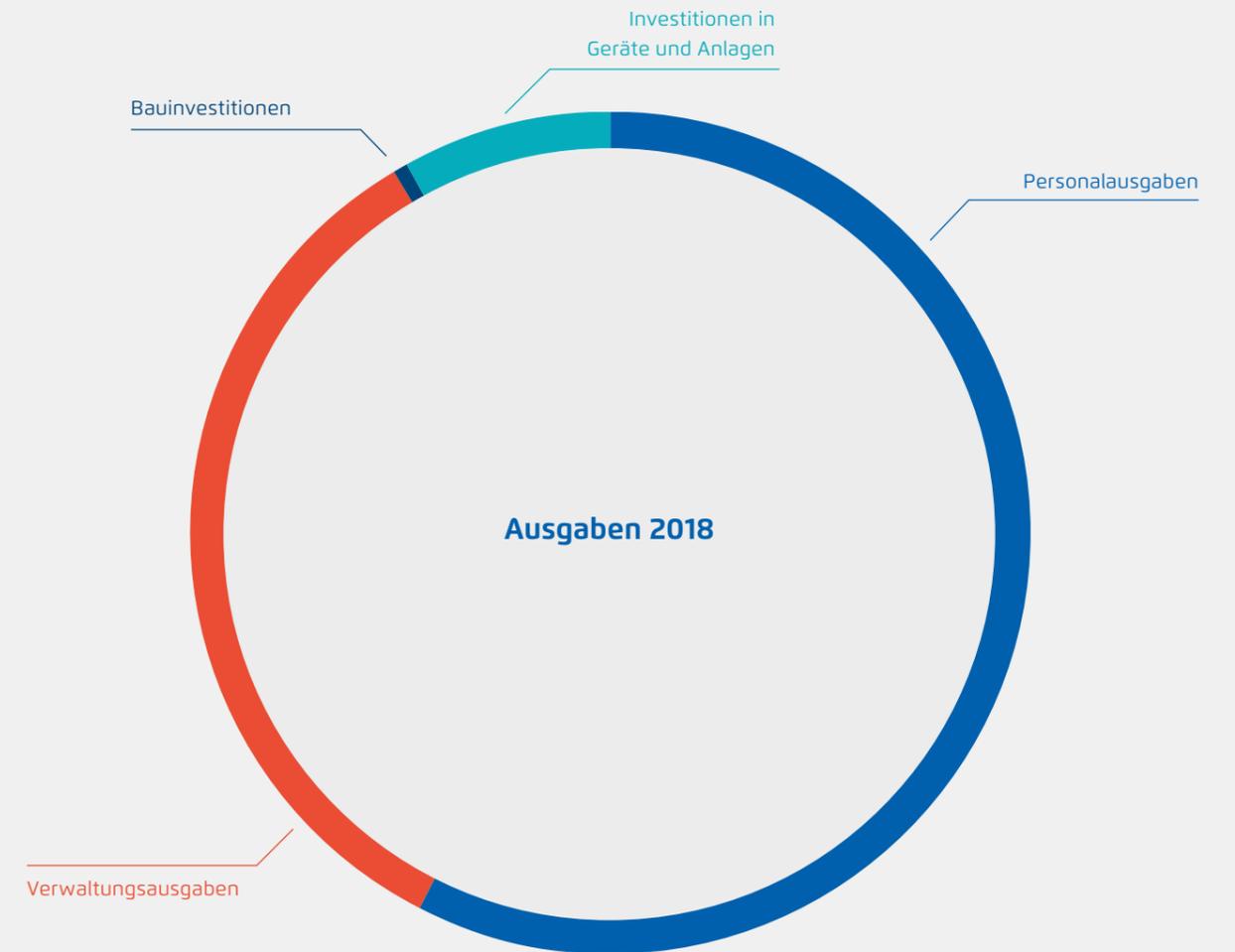
Das Wissenschaftstandem der BAW zeichnet sich durch einen qualitätsgesicherten Nutzen für alle Beteiligten aus. Es stärkt die interdisziplinäre und hierarchieübergreifende Vernetzung der Wissenschaftler sowie eine nachhaltige fachliche Einbindung in die Scientific Community des Verkehrswasserbaus.



Daten & Fakten

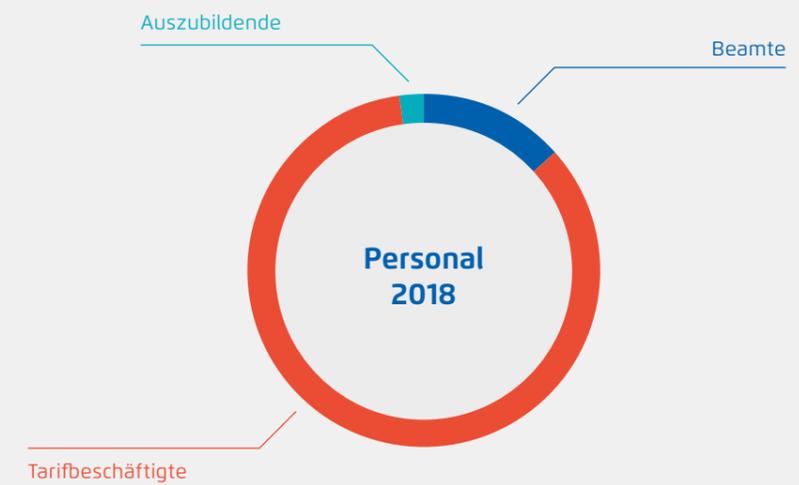
Ausgaben und Einnahmen

	2016	2017	2018
Personalausgaben	23.799.864 €	27.297.053 €	28.403.744 €
Verwaltungsausgaben	17.588.224 €	17.700.927 €	16.755.804 €
Bauinvestitionen	801.107 €	743.721 €	245.202 €
Investitionen in Geräte und Anlagen	2.799.367 €	5.717.005 €	3.915.283 €
Gesamtausgaben	46.968.526 €	51.458.706 €	49.320.033 €
Einnahmen aus Drittmittelprojekten	1.980.507 €	2.602.323 €	2.217.645 €



Personal

	2016	2017	2018
Beamte	59	60	59
Tarifbeschäftigte*	357	364	372
Auszubildende	14	10	9
Beschäftigte gesamt	430	434	440
*davon befristet Beschäftigte (ohne Auszubildende)	90	93	98



Daten & Fakten



280
TÄTIGKEITEN IN AUSSCHÜSSEN



12
LEHRAUFTRÄGE



17
KOLLOQUIEN & AUSSPRACHETAGE



4
PROMOTIONEN

Schulze, Lydia
Development of an application-oriented approach for the numerical modelling of two-phase flows in hydraulic engineering

Gisen, David
Modeling upstream fish migration in small-scale using the Eulerian-Lagrangian-agent method (ELAM)

Holzwarth, Ingrid
Implications of direct anthropogenic pressures on dissolved oxygen dynamics in a well-mixed estuary

Rudnick, Sebastian
Hydrological modelling of a catchment supported by the discharge of treated wastewater – a comparison of two model concepts



150
VERÖFFENTLICHUNGEN
UND VORTRÄGE



113
FORSCHUNGSVORHABEN
IN 2018 BEENDET: 13
AKTIV: 100

Veranstaltungen 2018

	Anzahl	Teilnehmer
Kolloquien	12	1.539
Aussprachetage	5	284
Insgesamt	17	1.823

Anhang

BAWonline – mit den digitalen Angeboten der BAW haben Sie Zugriff auf das geballte Wissen rund um den Verkehrswasserbau der letzten Jahrzehnte bis heute. www.baw.de



Veranstaltungen

Weitere Informationen finden Sie unter



[www.baw.de/DE/service_wissen/veranstaltungen/
veranstaltungen.html](http://www.baw.de/DE/service_wissen/veranstaltungen/veranstaltungen.html)

Veröffentlichungen & Vorträge

Weitere Informationen finden Sie unter



[www.baw.de/DE/service_wissen/publikationen/
publikationen.html](http://www.baw.de/DE/service_wissen/publikationen/publikationen.html)

Mitarbeit in Ausschüssen

Weitere Informationen finden Sie unter



www.baw.de/DE/die_baw/netzwerk/ausschuesse_arbeitsgruppen/ausschuesse_arbeitsgruppen.html

Forschung und Entwicklung

Weitere Informationen finden Sie unter



www.baw.de/DE/service_wissen/forschung_entwicklung/forschung_entwicklung.html

Aktuelle Kooperationspartner

Weitere Informationen finden Sie unter



www.baw.de/DE/die_baw/netzwerk/kooperationspartner/kooperationspartner.html

Social Media Kanäle

Weitere Informationen finden Sie unter



www.baw.de/DE/presse/social_media/social_media.html

Impressum

Herausgeber (im Eigenverlag):
Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)
Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe
Postfach 21 02 53, 76152 Karlsruhe
Telefon: +49 (0) 721 9726-0
Telefax: +49 (0) 721 9726-4540
E-Mail: info@baw.de, www.baw.de



Creative Commons BY 4.0
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Soweit nicht anders angegeben, liegen alle Bildrechte bei der BAW. Übersetzung, Nachdruck oder sonstige Vervielfältigung – auch auszugsweise – ist nur mit Genehmigung des Herausgebers gestattet.

ISSN 2190-9156
Karlsruhe · Mai 2019

Fotonachweis:

Seite 10: http://www.wsa-duisburg-rhein.wsv.de/Bauprojekte/Abladeoptimierung_Mittelrhein/index.html, aufgerufen am 06. Febr. 2019
Seite 15: Uwe Seher (ib kauppert)
Seite 43 oben: BMVI/Deckbar
Seite 52: Floral Deco/Shutterstock.com
Seite 53 unten: iStock.com/Tomml
Seite 54 oben: hxdbzxy/Shutterstock.com, unten: iStock.com/mediaphotos
Seite 55 unten: Bloomicon/Shutterstock.com

