

20

22

Geschäftsbericht der BAW





BAW Geschäftsbericht

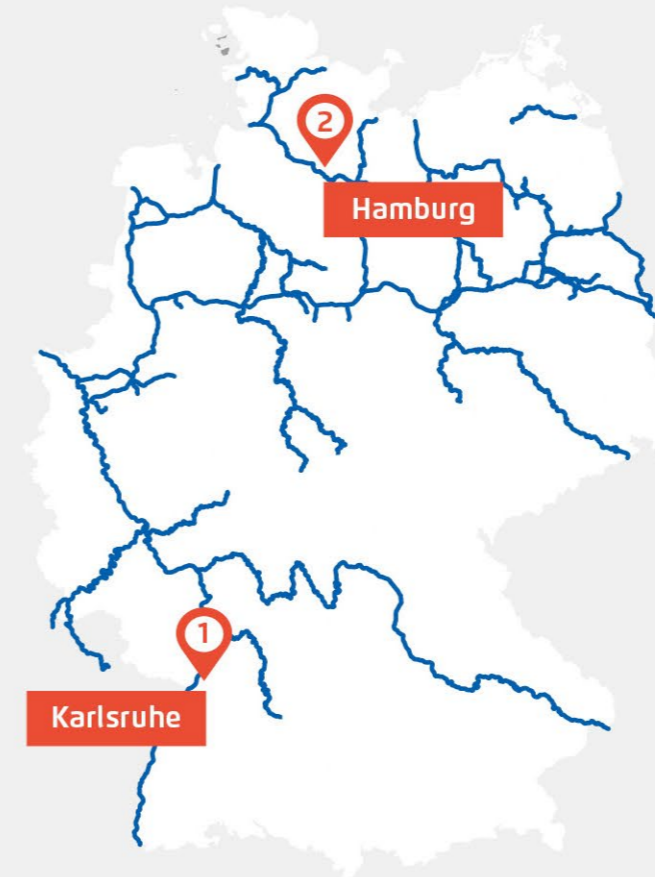
2022



# Organigramm 2022

 <p><b>Leiter</b> Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Christoph Heinzelmann Vertreter: Claus Kunz</p>		<p><b>Gleichstellungsbeauftragte</b> Dr.-Ing. Andrea Wahrheit-Lensing</p> <p><b>Datenschutzbeauftragter</b> Dr. Nurullah Akbulut</p>		
Abteilungen				
 <p><b>Abteilung Bautechnik</b> Claus Kunz</p>	 <p><b>Abteilung Geotechnik</b> Dr.-Ing. Jan Kayser</p>	 <p><b>Abteilung Wasserbau im Binnenbereich</b> Prof. Dr. Ing. Andreas Schmidt</p>	 <p><b>Abteilung Wasserbau im Küstenbereich</b> Holger Rahlf</p>	 <p><b>Abteilung Zentraler Service</b> 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 / BMDV Aufträge aktiv**  
+ 68 Aufträge, die in 2022 abgeschlossen wurden = 754

# 116

**FuE aktiv**  
+ 12 FuE, die in 2022 abgeschlossen wurden = 128

# 57

**Drittaufträge aktiv**  
+ 13 Drittaufträge, die in 2022 abgeschlossen wurden = 70

**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 Beachtung für die Klimaschutzvorteile der Binnenschifffahrt

Liebe Leserin, lieber Leser,

es ist verwunderlich, wie die politische Diskussion über klima- und umweltfreundliche Gütertransporte allzu sehr auf die Verkehrsverlagerung vom LKW auf die Bahn verengt wird. Dabei muss doch klar sein, dass die Bahn kurzfristig nicht in der Lage ist, zusätzliche Transporte in nennenswertem Umfang zu übernehmen. Und die Zeit drängt. Das derzeit geltende „Klimaschutzgesetz 2021“ fordert, dass der Verkehrssektor im Jahr 2030 nur noch 85 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> emittieren darf – ca. 50 Prozent weniger als im Jahr 1990, und dies bei weiter steigenden Verkehrszahlen. Zwar haben die Regierungsparteien kürzlich beschlossen, das Klimaschutzgesetz weiterzuentwickeln und künftig die Einhaltung der Klimaschutzziele sektorübergreifend zu überprüfen. Aber auch unter dieser Maßgabe muss der Verkehrssektor einen nennenswerten Beitrag leisten und seine Emissionen drastisch senken.

Die Binnenschifffahrtsstraßen sind der einzige Verkehrsträger, der bundesweit noch über freie Kapazitäten verfügt. Selbst der verkehrsreiche Niederrhein kann sofort weitere Verkehre aufnehmen. Und bezüglich Klimaschutz und Ressourcenschonung verfügt die Binnenschifffahrt gegenüber Bahn und LKW aus zwei Gründen über Vorteile:

1. Der Gütertransport mit dem Binnenschiff ist besonders energieeffizient. Der Grund hierfür ist der vergleichsweise kleine Strömungswiderstand der Schiffe.

Der  $c_w$ -Wert eines Schiffes beträgt nur 10 % des Wertes für einen LKW. Plakativer ausgedrückt: Würde ein LKW mit dem Widerstand eines Seeschiffs fahren, bräuchte ein 30-Tonner bei 90 km/h nur ca. vier Liter Diesel auf 100 km statt der üblichen 30 bis 40 Liter.

2. Binnenschiffe schonen Ressourcen durch ihre lange Betriebsdauer. Beträgt das Durchschnittsalter der Gütermotorschiffe heute ca. 65 Jahre, so beträgt dieses Alter für Dieselloks ca. 40 Jahre und für E-Loks ca. 21 Jahre. Für LKW sind es gar nur 8,5 Jahre. Dieser Vorteil ist mit dem Nachteil langer Erneuerungszyklen der Schiffsflotte verbunden. Auch wenn die Motoren in der Regel alle 20 bis 30 Jahre erneuert werden, handelt es sich vielfach um veraltete Technik ohne wirksame Abgasreinigung. Im Saldo überwiegen dennoch klar die Vorteile der Schifffahrt.

Trotz dieser Vorteile müssen auch in der Binnenschifffahrt alle Potenziale zur Verbesserung des Klimaschutzes geprüft und zielführend genutzt werden. Ein Handlungsstrang zielt darauf ab, den Treibstoffverbrauch und damit den Ausstoß von Klimagasen und Luftschadstoffen der Binnenschiffe zu senken. Hierzu leistet die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) als wissenschaftlicher Dienstleister und Ressortforschungseinrichtung des Bundes derzeit wichtige Grundlagenarbeiten.

Neben modernen Schiffsantrieben können Digitalisierung und Automatisierung in der Binnenschifffahrt zu weiteren Effizienzsteigerungen führen. Künftige Routing- und Reiseassistenzsysteme unterstützen die Schiffsführer bei der Optimierung ihrer Fahrweise und Beladung und fördern somit treibstoffsparende und emissionsmindernde Gütertransporte. Intelligente Managementsysteme an Schleusenketten ermöglichen darüber hinaus einen aufeinander abgestimmten Verkehrsfluss aller Teilnehmer. Erste Untersuchungen an dem stark befahrenen Wesel-Datteln-Kanal haben gezeigt, dass bereits leicht versetzte Startzeiten der Schiffe eine achtfache Verringerung der Gesamtwartzeit aller Schiffe an den sechs Schleusenanlagen bewirken können. Die zwanzigfache Reduktion erscheint möglich, wenn an allen Anlagen beide Kammern regelmäßig in Betrieb sind.

Um den Erfolg der skizzierten und weiterer Minderungsmaßnahmen bewerten zu können, müssen sowohl der Status quo der Binnenschiffsemissionen, als auch die Wirkung der Maßnahmen präzise erfasst bzw. abgeschätzt werden. Hierzu führt die BAW derzeit aufwändige Onboard-Messungen während des realen Schiffsbetriebs durch, um Treibstoffverbrauch, Betriebsparameter der Motoren, Emissionen sowie Strömungsverhältnisse zu ermitteln. Diese Daten dienen als

Eingangsgroßen für numerische Modellierungen, die je nach Fragestellung Klimagas- und Luftschadstoffemissionen für Detailanalysen oder für das gesamte Wasserstraßennetz liefern.

Perspektivisch ist die Güterverlagerung auf die Binnenschifffahrt an Bedingungen geknüpft: Sie wird gelingen, wenn das Wasserstraßennetz zuverlässig funktioniert und rechtzeitig an die Folgen des Klimawandels angepasst ist, die Schifffahrtstreibenden ausreichenden Schiffsraum bereitstellen und die Verloader die Wasserstraßen und Häfen in ihren Logistikketten konsequent berücksichtigen.

Das Motto muss lauten: Gemeinsam die Chancen der Binnenschifffahrt nutzen.

Eine interessante Lektüre wünscht Ihnen



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

Karlsruhe, im Mai 2023





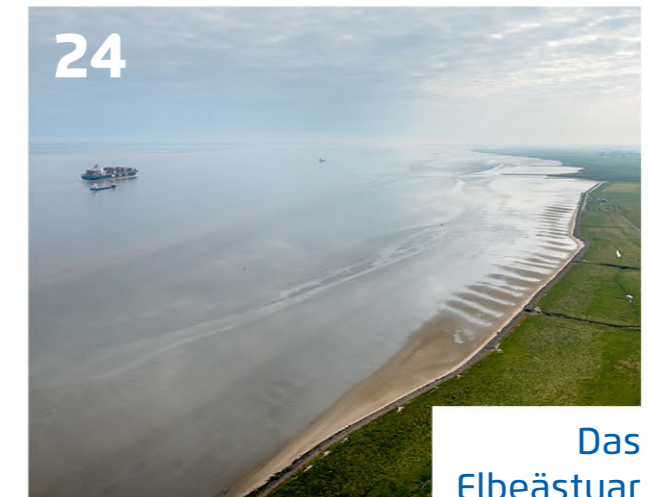
# Inhalt



Anpassungen an die Anforderungen durch die Schifffahrt



Hoher Reinvestitionsbedarf an Schleusen und Wehren



Herausforderungen in der Wissenschaftskommunikation

---

<b>6</b>	<b>Ressortforschung für den Verkehrswasserbau</b> Beitrag von Ministerialrätin Petra Löcker, Leiterin des Referats „Forschung und Innovation“ und Forschungsbeauftragte des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr
<b>8</b>	<b>Baumaßnahmen in der Oststrecke des Nord-Ostsee-Kanals (NOK)</b> Anpassungen an die Anforderungen durch die Schifffahrt
<b>16</b>	<b>Infrastrukturmaßnahmen am Neckar</b> Hoher Reinvestitionsbedarf an Schleusen und Wehren
<b>24</b>	<b>Das Elbeästuar</b> Herausforderungen in der Wissenschaftskommunikation

---

<b>32</b>	<b>Ausgewählte Forschungs- und Entwicklungsprojekte</b>
32	Ermittlung der Systemtragfähigkeit unter Berücksichtigung von Schädigungsgraden an Stahlwasserbauten
34	Einfluss von kalklösender Kohlensäure auf die Tragfähigkeit von Verpressankern
36	Binnenschiffemissionen: Modellierung und Messung unter realen Bedingungen
38	Simulation und Analyse der hydro- und morphologischen Entwicklung der Tideelbe (2013 bis 2018)

---

<b>40</b>	<b>Die Bundesanstalt für Wasserbau</b>
41	Das Jahr 2022
52	Wissensmanagement – aktiv gestaltet
54	Daten und Fakten
58	Anhang
63	Impressum





**ZUR PERSON:**

**Ministerialrätin Petra Löcker** ist Leiterin des Referats „Forschung und Innovation“ und Forschungsbeauftragte des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr

die Inhalte des Koalitionsvertrags angemessen zu berücksichtigen. Ebenso setzen aktuelle politische Rahmenbedingungen und Entwicklungen neue Akzente in der Forschung. Nicht zuletzt sind bei der Forschungsausrichtung die Strategien und Programme der Bundesregierung sowie bereits vorhandene und geplante Aktivitäten des BMDV einzubeziehen. Mit anderen Worten: Der strategische Ressortforschungsrahmen legt für die laufende Legislaturperiode die aus den großen fachpolitischen Aufgaben und Herausforderungen abgeleiteten mittelfristigen Schwerpunkte und Handlungsfelder für die Forschungsaktivitäten im Ressort fest.

**„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.“**

Ministerialrätin Petra Löcker

**Was sind die Herausforderungen für die Mobilität der Zukunft?**

Der Leitsatz des strategischen Ressortforschungsrahmens lautet: „Herausforderungen der Zukunft – Mobilität nachhaltig transformieren und die digitale Leistungsfähigkeit vorantreiben.“ Die Mobilität der Zukunft soll bedarfsgerecht und nutzerfreundlich für jeden, über alle Verkehrsträger hinweg vernetzt, klimaneutral, umwelt- und ressourcenfreundlich und zudem bezahlbar, wirtschaftlich, intelligent und effizient sein. Als gesetzliche Anforderung für den Mobilitätssektor liefern die ambitionierten Klimaschutzziele der Bundesregierung wichtige Vorgaben. Hinzu kommt die Stärkung der Resilienz der Verkehrs- und Datensysteme, die eine immer größer werdende Rolle spielt. Digitalisierung und Automatisierung bieten enorme Optimierungs- und Erweiterungspotenziale, die für die Mobilität der Zukunft gehoben werden können. Dabei ist es wichtig, dass forschungs- und innovationspolitisch systemisch und ganzheitlich sowie sektorenübergreifend gedacht und gehandelt wird.

**Was kann die BAW zur Umsetzung des Ressortforschungsrahmens beitragen?**

Als Ressortforschungseinrichtung auf dem Gebiet des Verkehrswasserbaus bearbeitet die BAW ein großes Spektrum an Forschungsthemen, die zur Umsetzung des Ressortforschungsrahmens beitragen. Im Fokus der BAW-Forschung stehen vor allem der Umgang mit der alternden Wasserstraßeninfrastruktur, die Anforderungen an Klimaschutz und Klimaanpassung, das Sedimentmanagement sowie die Vereinbarkeit von verkehrlicher Nutzung mit Natur- und Umweltschutz an den Wasserstraßen und die Entwicklung neuer Mobilitätskonzepte für den Gütertransport. Ein

konkretes Beispiel: Für die Binnenschifffahrt bieten Digitalisierung und Automatisierung enorme Potenziale und können sie sicherer, effizienter, sowie klima- und umweltfreundlicher machen. Die BAW untersucht beispielsweise, wie Treibstoffbedarf und Emissionen der Schiffe durch energieeffiziente Routenplanung reduziert, Staus vor den Schleusen vermieden und Schleusenfahrten beschleunigt und sicherer gemacht werden können.

**Mit dem BMDV-Expertenetzwerk verfügt das Ressort über einen innerhalb der Bundesregierung einzigartigen Forschungsverbund. Welche Beweggründe gab es für die Einrichtung des Netzwerks, und wie ist die BAW darin eingebunden?**

Es liegt auf der Hand, dass die großen Mobilitätsfragen nicht isoliert für einzelne Verkehrsträger, sondern nur verkehrsträgerübergreifend bewältigt werden können. Zu diesem Zweck wurde bereits im Jahr 2016 das BMDV-Expertenetzwerk eingerichtet, in dem sieben Ressortforschungseinrichtungen und Fachbehörden aus dem Geschäftsbereich des BMDV in einem Forschungsnetzwerk zusammengeschlossen sind. Ziel ist es, die Kompetenzen der beteiligten Einrichtungen auf eine breitere Basis zu stellen, sie intensiver miteinander zu vernetzen, Synergien zu erzielen, um so zügig anwendungsorientierte Antworten auf die zentralen Mobilitätsfragen zu generieren. In diesem Verbund spielte die BAW von Beginn an eine tragende Rolle. In der Startphase hat sie auf Leitungsebene an der Konzeption des Netzwerks und dessen thematischer Schwerpunktsetzung mitgewirkt. Seit Einrichtung des Netzwerks ist die BAW an einer Vielzahl von Forschungsprojekten beteiligt. Mit der Leitung eines der sechs Themenfelder hat sie zwischenzeitlich auch koordinierende Aufgaben übernommen. Fachlich bringt die BAW ihre ausgewiesene Expertise in die Netzwerkarbeit ein. 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.

**Kürzlich hat der Wissenschaftsrat die wissenschaftlichen Leistungen der BAW begutachtet. Als Forschungsbeauftragte des BMDV waren Sie an dem Evaluationsverfahren beteiligt. Was waren Ihre Eindrücke?**

Die BAW hat ihre Forschungsleistungen in den zehn letzten Jahren qualitativ und quantitativ enorm weiterentwickelt und ausgebaut und ist eine fachlich in hohem Maße anerkannte Ressortforschungseinrichtung. Ihre wissenschaftsbasierten Dienstleistungen erfolgen nach dem Stand von Wissenschaft und Technik, ihre apparative Ausstattung ist hervorragend, die BAW ist in zahlreiche nationale und internationale Forschungsnetzwerke eingebunden, und auch der Wissenstransfer in die Fachwelt und in die Gesellschaft wurde deutlich ausgebaut. Ohne den Ergebnissen des noch laufenden Evaluationsverfahrens vorgreifen zu können, gehe ich davon aus, dass der Wissenschaftsrat diese positiven Weiterentwicklungen ebenfalls wahrgenommen hat und in seinem Bewertungsbericht anerkennen wird.

# Ressortforschung für den Verkehrswasserbau

## Einbindung der BAW-Forschung in den strategischen Forschungsrahmen des BMDV

Ministerialrätin Petra Löcker

**Frau Löcker, als Leiterin des Referats „Forschung und Innovation“ sind Sie zugleich Forschungsbeauftragte des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV). Welche Funktionen sind mit dieser Beauftragung verbunden?**

Der Forschungsbeauftragten obliegt die Forschungsplanung und -koordination innerhalb des Ressorts. Sie ist Ansprechpartnerin nach innen und außen für die Koordinierung der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten, z. B. zur Unterstützung interministerieller Koordinierungsmaßnahmen. Hinzu kommt die Bearbeitung übergreifender innovationspolitischer Angelegenheiten auf europäischer und internationaler Ebene. Dies sind herausfordernde und zugleich spannende Aufgaben vor dem Hin-

tergrund der ständig wachsenden Vielfalt und Komplexität der Themen rund um die Mobilität der Zukunft und Digitalisierung. Ganz praktisch dient die Forschungskoordination dazu, Doppelforschung zu vermeiden, Synergien zu erschließen und einen Mehrfachnutzen zu generieren.

**Im Herbst letzten Jahres hat das BMDV seinen ab 2023 gültigen „Strategischen Rahmen der Ressortforschung“ veröffentlicht, der den bisherigen Ressortforschungsrahmen aus dem Jahr 2020 ablöst. Warum war diese Überarbeitung erforderlich, und was legt der Ressortforschungsrahmen fest?**

Die Überarbeitung des strategischen Ressortforschungsrahmens war erforderlich, um den neuen Ressortzuschnitt und



# Baumaßnahmen in der Oststrecke des NOK

## Anpassungen an die Anforderungen durch die Schifffahrt

Derzeit werden mehrere Baumaßnahmen in der Oststrecke des Nord-Ostsee-Kanals (NOK) durchgeführt, darunter Anpassungen in Form von Kanalverbreiterungen und Kurvenvergrößerungen oder der Ersatzneubau der Kleinen Schleuse in Kiel. Die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) wird durch die BAW in den vielfältigen Fragestellungen der unterschiedlichen Fachgebiete über alle Projektphasen hinweg gutachterlich beraten.



Der NOK durchquert auf knapp 100 km Deutschlands nördlichstes Bundesland Schleswig-Holstein und stellt für seegängige Schiffe eine Verbindung zwischen der Nordsee und der Ostsee dar. Die Wasserstandsschwankungen zwischen dem NOK und der Nordsee (Elbe) bzw. der Ostsee (Kieler Förde) werden durch Schleusenanlagen in Brunsbüttel und Kiel-Holtenau für die Schifffahrt ausgeglichen. Der NOK und die Kleinen Schleusen wurden im Jahr 1895 in Betrieb genommen. Der erste Ausbau des NOK erfolgte bereits von 1907 bis 1914. Weitere Anpassungs- und Sicherungsarbeiten fanden zwischen 1965 und 2001 statt, wobei auch die Weststrecke des NOK bereits auf eine Sohlbreite von 90 m erweitert wurde. Die Oststrecke bildet seit längerem das Nadelöhr für die Schifffahrt und wird nun angepasst, indem Kanalverbreiterungen auf mindestens 70 m und Kurvenvergrößerungen vorgenommen werden. Hierdurch müssen auch bestehende Bauwerke, wie die Levensauer Hochbrücke, angepasst werden. Zudem ist seit längerem die Kleine Schleuse in Kiel gesperrt, deren Ersatzneubau für eine uneingeschränkte Schifffahrt erforderlich ist.

Die Oststrecke (beginnend etwa auf Höhe der Stadt Rendsburg bis zur Kieler Förde) ist durch das östliche Hügelland gekennzeichnet, das durch jüngere eiszeitliche Ablagerungen entstanden ist. Die Weststrecke weist ein weniger profiliertes Gelände auf, basierend auf älteren eiszeitlichen Ablagerungen (Geest) und jungen Marschböden. Die Böden der Oststrecke, die während der letzten Vereisungsperiode abgelagert wurden, sind glazialtektonisch stark gestaucht und zeigen einen heterogenen Schichtaufbau. Geschiebemergel, sandig-kiesige Ablagerungen, schluffig-tonige Beckensedimente und organogene Bildungen sind auf engem Raum verzahnt.

Durch den Bau des NOK wurden die lokalen hydrogeologischen Verhältnisse deutlich verändert. Der Wasserstand der Scheitelhaltung des alten Eider-Kanals lag ca. 7 m oberhalb des heutigen NOK-Wasserstandes, sodass durch den Bau eine erhebliche Absenkung des Grundwasserspiegels erfolgte. Das großräumige Grundwassergefälle folgt zudem der Morphologie, wobei der NOK als Vorfluter fungiert. Eine besondere Herausforderung stellt der zukünftig zu erwartende Meeresspiegelanstieg in der Ostsee dar. In den Planungen der Kleinen Schleuse Kiel geht man dabei von einem Anstieg um 2,35 m bis zum Jahr 2130 aus.

### Ersatzneubau der Kleinen Schleuse Kiel – bau- und geotechnische Aspekte

Die bestehende Kleine Schleuse wurde von 1887 bis 1895 als monolithische Mauerwerksschleuse errichtet. 2012 wurde die BAW beauftragt, das Bauwerk für eine Instandsetzung zur weiteren Nutzung für 50 Jahre zu begutachten. Im Zuge dieser Zustandsbewertung wurden derart massive Schäden (Bild 1) und grundsätzliche Tragsicherheitsdefizite festgestellt, dass die BAW eine Außerbetriebnahme der Schleusenkammern empfehlen musste. Als Sicherungsmaßnahme wurden Fangedämme vor den Schleusentoren errichtet und diese sowie die Schleusenkammern selbst mit Sand verfüllt.

Auf Basis einer Machbarkeitsstudie wurde von einer Grundinstandsetzung Abstand genommen; man entschied sich für einen Ersatzneubau. Die neue Doppelkammerschleuse soll an gleicher Stelle als Stahlbeton-U-Rahmen (Bild 2) mit einer Nutzlänge von 155 m, einer Nutzbreite von 24 m und Nutztiefe von 8,5 m für eine Nutzungsdauer von 100 Jahren erstellt werden. Der prognostizierte Meeresspiegelanstieg wird dabei u. a.

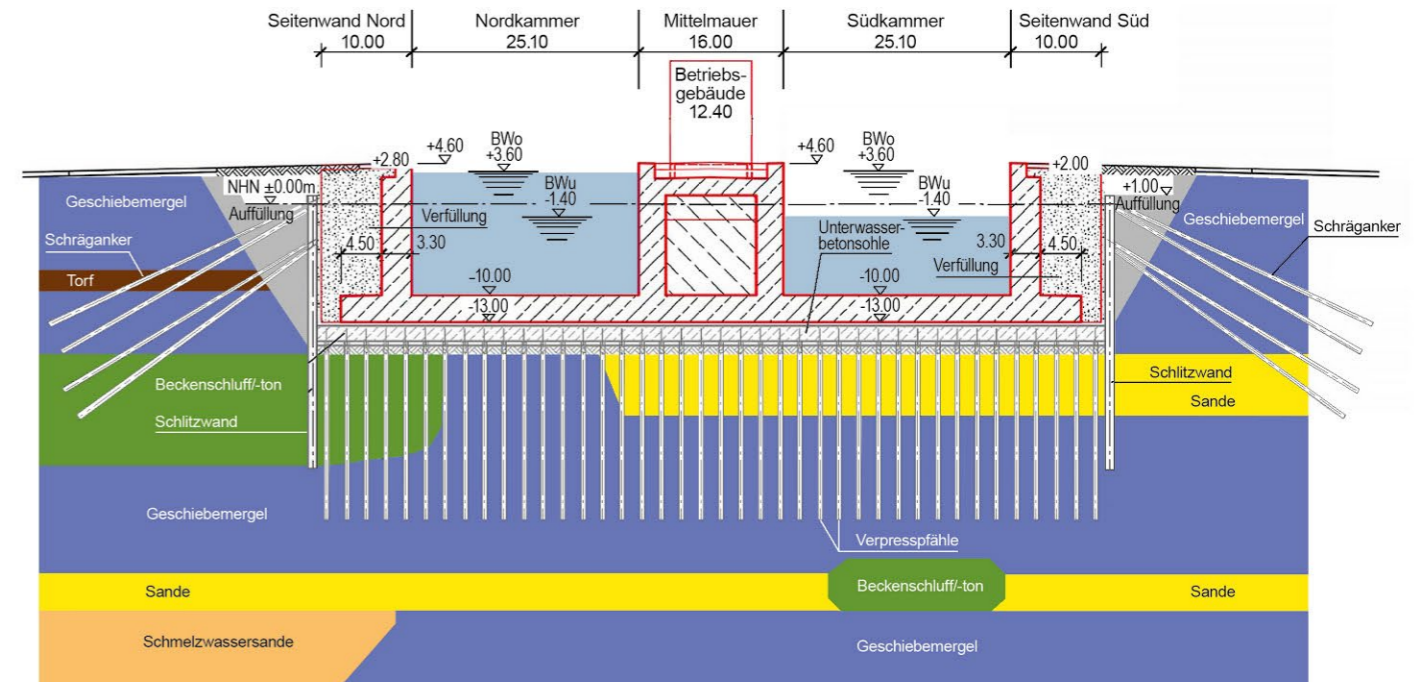


Bild 2: Geplante Schleusenkammer mit Baugrund

durch eine Ausbaureserve bautechnisch berücksichtigt. Die Herleitung der Vorgehensweise erfolgte in enger Abstimmung mit der WSV. Im Rahmen eines BAW-Kolloquiums wurde diese der Fachöffentlichkeit vorgestellt und eingehend diskutiert.

Für den Ersatzneubau der Kleinen Schleuse Kiel soll zunächst eine Baugrube um das bestehende Bauwerk hergestellt werden. In dieser Baugrube wird dann die bestehende Schleuse abgebrochen und das neue Schleusenbauwerk errichtet. Um die Standsicherheit der Baugrube mit einer Tiefe von ca. 18 m sicherzustellen, sind große Horizontalkräfte abzutragen, was üblicherweise über sogenannte Verpressanker erfolgt. Im Fall der Kleinen Schleuse stoßen konventionelle Ankersysteme jedoch an ihre Grenzen. Daher soll das innovative System der Staffelancker zum Einsatz kommen, bei dem größere Lasten über eine geringere Anzahl von Ankern abgetragen werden können. Um das Potenzial dieser Bauform zu untersuchen, wurden vergleichende Ankerprüfungen an Staffel- und konventionellen Verpressankern in verschiedenen Bodenarten durchgeführt. Diese Untersuchungen gliedern sich in ein Forschungsprojekt der BAW ein, bei dem die dominierenden Einflussfaktoren auf die Tragfähigkeit von Rückverankerungen wissenschaftlich herausgearbeitet werden sollen.

Für die Planung der Baugrube und Gründung erfolgte ein umfangreiches Baugrunderkundungsprogramm. In diesem Zuge wurden auch Grundwassermessstellen errichtet, um u. a. maßnahmenbedingte Auswirkungen

auf bestehende Grundwassernutzungen sowie laufende Altlasten-Sanierungsmaßnahmen gutachterlich zu bewerten. An gewonnenen Bodenproben führte das geotechnische Labor umfangreiche Versuche durch, um zuverlässige Bemessungsgrundlagen zu erhalten. Hierbei hervorzuheben sind Triaxial- und Kompressionsversuche, sowie Untersuchungen zum undrännierten Verhalten vom Geschiebemergel. Letzteres erfolgte in Kooperation mit der Hochschule hs21 in Buxtehude. Eine ca. 3 m mächtige Torfschicht stellt eine Herausforderung für die Geotechnik dar, da die geotechnische Bewertung von Torf komplex und wissenschaftlich wenig belegt ist. Daher wurden an den Torfproben umfangreiche Triaxial- und Rahmenscherversuche zur Herleitung verlässlicher Grundlagen durchgeführt. Zum Ansatz des Wandreibungswinkels an Baugrubenwänden konnte, durch die Einbeziehung aktueller Forschungsergebnisse der Ruhr-Universität Bochum, die Planung auch dahingehend optimiert werden.

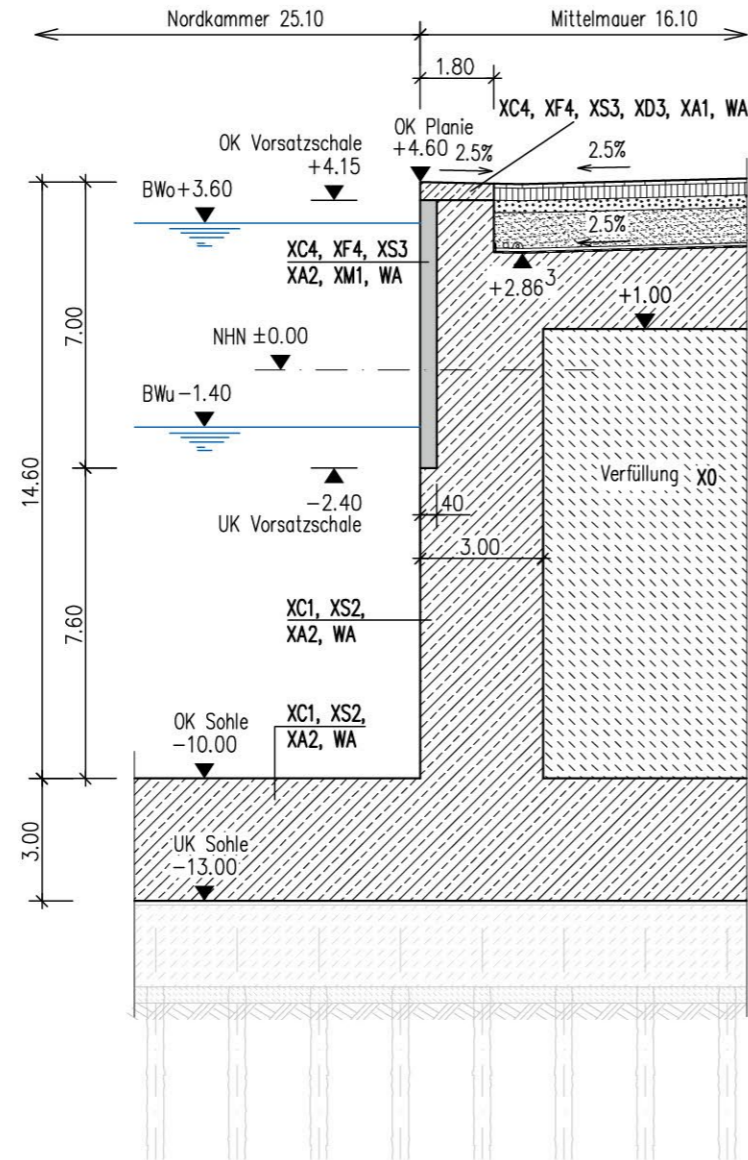
Im Schutz der Baugrube erfolgt die Erstellung des eigentlichen Schleusenbauwerks in Massivbauweise. Hierbei steht die Planung aufgrund der Exposition des Bauwerks, einer hohen Sulfat- und Chloridbelastung des Fördewassers sowie der Frost- und Frost-Tausalzbelastung in der Wasserwechselzone und der Planie vor besonderen Herausforderungen. Aktuelle Erkenntnisse über die Rissituation in Verkehrswasserbauwerken deuten auf eine erhöhte Korrosionsgefährdung der Bewehrung im Rissbereich intensiv exponierter Bauteile hin, da dort die Bedingungen für die Selbstheilung von



Bild 1: Schadensbeispiel Außenwand, massive Klüfte durch Überlastung im Altmauerwerk



Bild 3:  
Schleusenkammer Mittelmauer  
mit Vorsatzschale in der Wasserwechselzone



### Ersatzneubau der Kleinen Schleuse Kiel – Füllvorgang der Schleuse

Durch den prognostizierten Meeresspiegelanstieg über die Nutzungsdauer von 100 Jahren ergeben sich auch Änderungen im Salzgehalt der Kieler Förde. Erhöhte Wasserspiegeldifferenzen zwischen dem NOK und der Kieler Förde sowie stärkere Dichtedifferenzen durch die Veränderung der Salzgehalte können die hydraulischen Prozesse bei der Schleusenfüllung und -entleerung maßgeblich beeinflussen. Die BAW wurde daher beauftragt, diese Einflüsse auf den Schleusenbetrieb zu untersuchen.

Für die Untersuchungen wurden neue, hausintern entwickelte Methoden für die Simulation des Schleusenfüllvorgangs mit beweglichem Schiff und Dichteströmung eingesetzt. Insbesondere die Modellierung der Fluid-Struktur-Interaktion zwischen Schiff und Strömung bei großer Hubhöhe und vergleichsweise wenig Wasser unter dem Kiel des Schiffes stellt mit den aktuellen Methoden der numerischen Strömungsmechanik eine große Herausforderung dar. Durch die notwendige Berücksichtigung der Dichteströmung innerhalb der Kammer sowie der bewegten Schütze (Bild 4) erhöht sich die Komplexität der Simulationen zusätzlich. Die Untersuchungen erforderten vertieftes Expertenwissen und erhebliche Rechenressourcen.

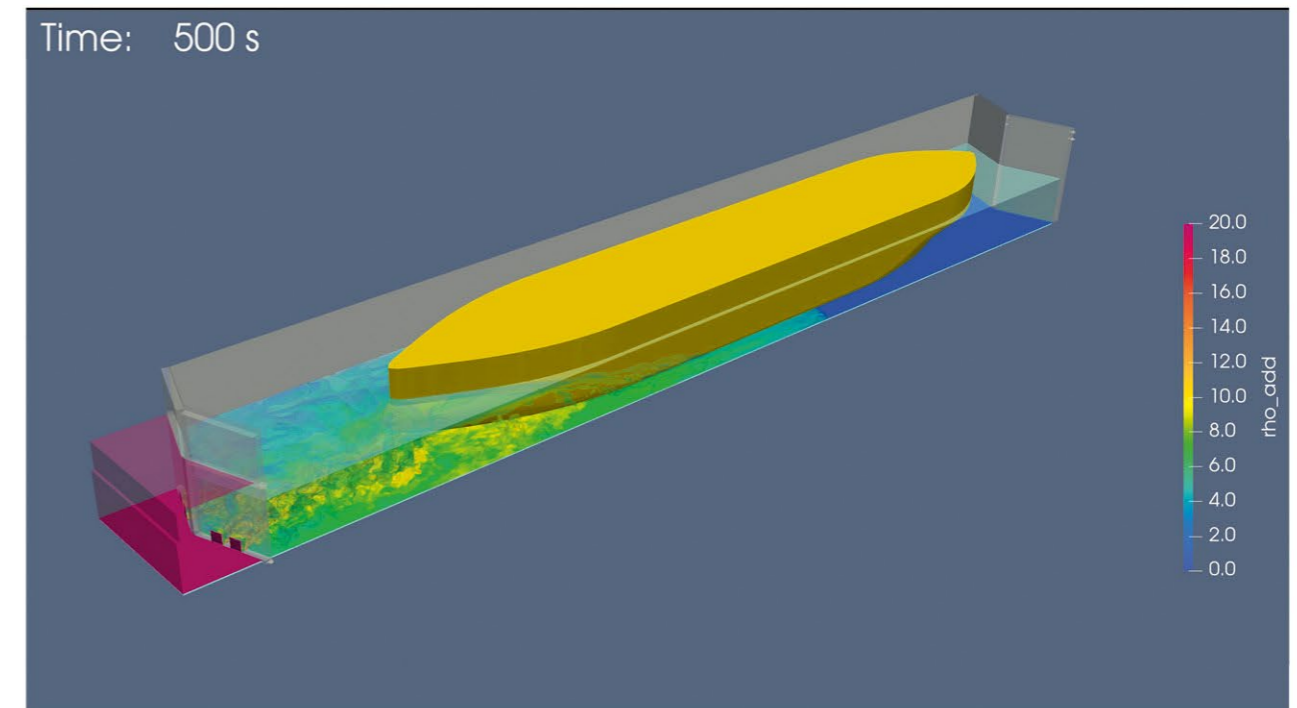
Die Ergebnisse zeigen, dass Dichtedifferenzen an den Schleusen zu einer erheblichen Erhöhung der Schiffs-

kräfte führen können. Bei kleinen Wasserspiegeldifferenzen, wie sie in näherer Zukunft wahrscheinlich sind, bewegen sich die zu erwartenden Schiffskräfte noch im Rahmen der zulässigen Grenzen. Bei größeren Wasserspiegel- und gleichzeitig auftretenden Dichtedifferenzen werden jedoch betriebliche Abhilfemaßnahmen erforderlich sein, wie z. B. Leerschleusen in Richtung des NOKs, um den Salzgehalt an den der Förde anzunähern. Daher wurde empfohlen, an den Schleusenhäuptern zusätzliche Messeinrichtungen für den Salzgehalt vorzusehen. Die künftige Steuerung der Schleusenfüllung kann so in Abhängigkeit vom Salzgehalt Sonderprogramme für bestimmte Betriebszustände auswählen.

### Ausbau der Oststrecke – Anpassungen in der Strecke

Beim Ausbau der Oststrecke sollen die Sohlbreite des Trapezprofils von 44 m auf 70 m einseitig verbreitert und Böschungen mit Neigungen von 1:2 bis 1:3 hergestellt werden. Lediglich die Wasserwechselzone bis Normalhöhen null -2,2 m wird planmäßig mit einem Deckwerk aus losen Wasserbausteinen gesichert. Unterhalb wird nur bei den lokal vorkommenden, erosionsempfindlichen Schmelzwassersanden ein Deckwerk aufgebaut. Für einen filterstabilen Aufbau empfahl die BAW wegen der Verockerungs- und Versinterungsgefahr bei geotextilen Filtern einen mehrstufigen Mineralkornfilter. Grundlage für die Dimensionierung des Deckwerks waren umfassende, maßstäbliche hydraulische Schiffsversuche von der BAW.

Bild 4:  
3D-CFD-Simulation des Schleusenfüllvorgangs mit beweglichem Schiff und Dichteströmung. Salzwasser (rot)



Rissen nicht ausreichend gegeben sind. Da künftig mit einer eventuell nicht durchgängigen Verfügbarkeit von Flugasche zu rechnen ist, kann zudem nicht sicher mit dem Einsatz dieses Zusatzstoffes zur Gewährleistung des erforderlichen Chlorideindringwiderstandes im ungerissenen Beton geplant werden. Das stellt die Betontechnologie bei diesem anspruchsvollen Bauprojekt vor kaum lösbare Herausforderungen. Zur Gewährleistung der angestrebten Dauerhaftigkeit von 100 Jahren hat die BAW deshalb empfohlen, den Bereich der Wasserwechselzone in Form einer ca. 40 cm dicken Vorsatzschale herzustellen (Bild 3).

Um den gleichzeitigen Anforderungen aus Chloridbelastung und Frostbeanspruchung im Bereich der Vorsatzschale gerecht zu werden, soll eine nichtrostende Bewehrung im oberflächennahen Bereich sowie für die Verankerung mit dem Kernbeton in Kombination mit einem frost-tausalzbeständigen Beton ohne erhöhte Anforderungen an den Chlorideindringwiderstand eingesetzt werden. Der hinter der Vorsatzschale liegende massive Bauwerksteil lässt sich mit einem umweltverträglicheren Beton auf

Basis eines hüttensandreichen Zementes mit niedriger Hydratationswärmeentwicklung ausführen. Gegenüber der Verwendung eines kathodischen Korrosionsschutzes (KKS) bietet die Variante mit nichtrostender Bewehrung eine erheblich höhere Robustheit des Bauwerkes ohne kontinuierlichen Unterhaltungsaufwand.

Parallel zur laufenden Entwurfsplanung wird das Projekt durch Untersuchungen und Forschungsprojekte der BAW unterstützt. Ein Forschungsvorhaben befasst sich mit der Erarbeitung von theoretischen Ansätzen, Methoden und Verfahren zur Prognose und Beurteilung der Korrosionsgefährdung von Bewehrung in Rissen und Verbundebenen von Wasserbauwerken. Die Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr in Hamburg betrachtet die gewählte Bauweise hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit. Gemeinsam mit der Bauhaus-Universität Weimar wird die dort zur Bewertung der Alkali-Kieselsäure-Reaktivität von Gesteinskörnungen unter Berücksichtigung der Einwirkungen und der Betonzusammensetzung entwickelte Performance-Prüfung gezielt für Belastungen unter Meer- und Brackwasser weiterentwickelt und optimiert.



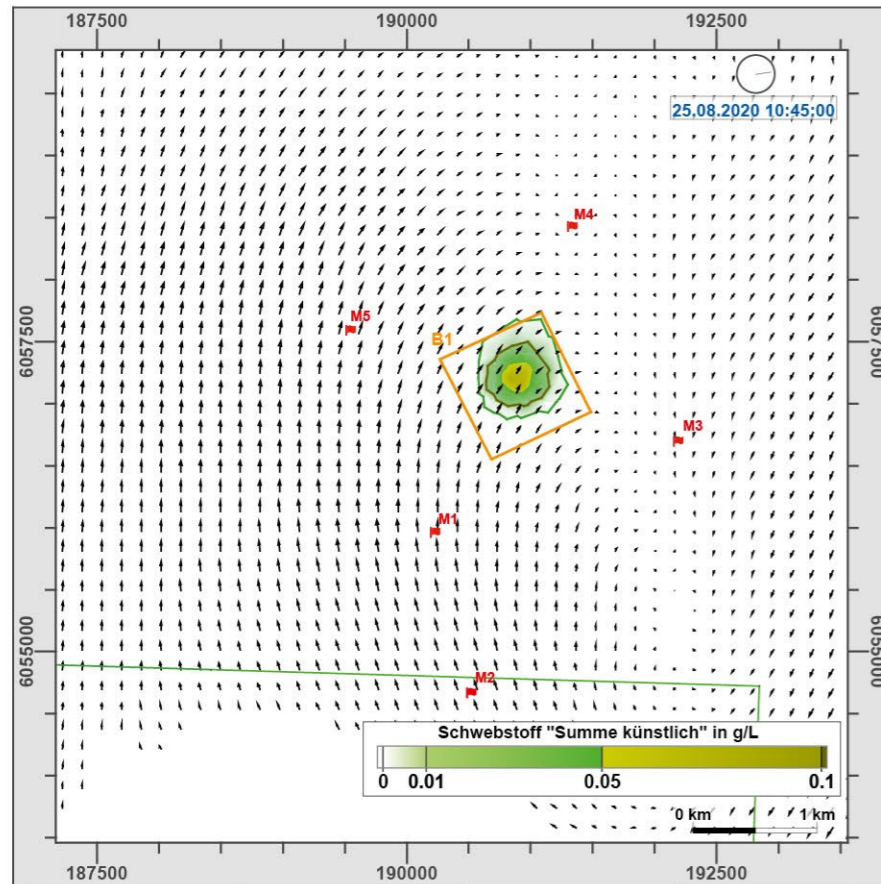


Bild 5:  
Simulation der erzeugten  
Trübungswolke. Tiefe: 10 m,  
45 Minuten nach Beginn der  
Verbringung

die Aussage der Messungen darüber ab. Mit der quasi-operationellen Begleitung geht die BAW einen wichtigen Schritt in Richtung einer operationellen Beratung für ein nachhaltiges und wirtschaftliches Sedimentmanagement an den Seehafenzufahrten von Nord- und Ostsee.

#### Ausbau der Oststrecke – Ersatzneubau der Levensauer Hochbrücke

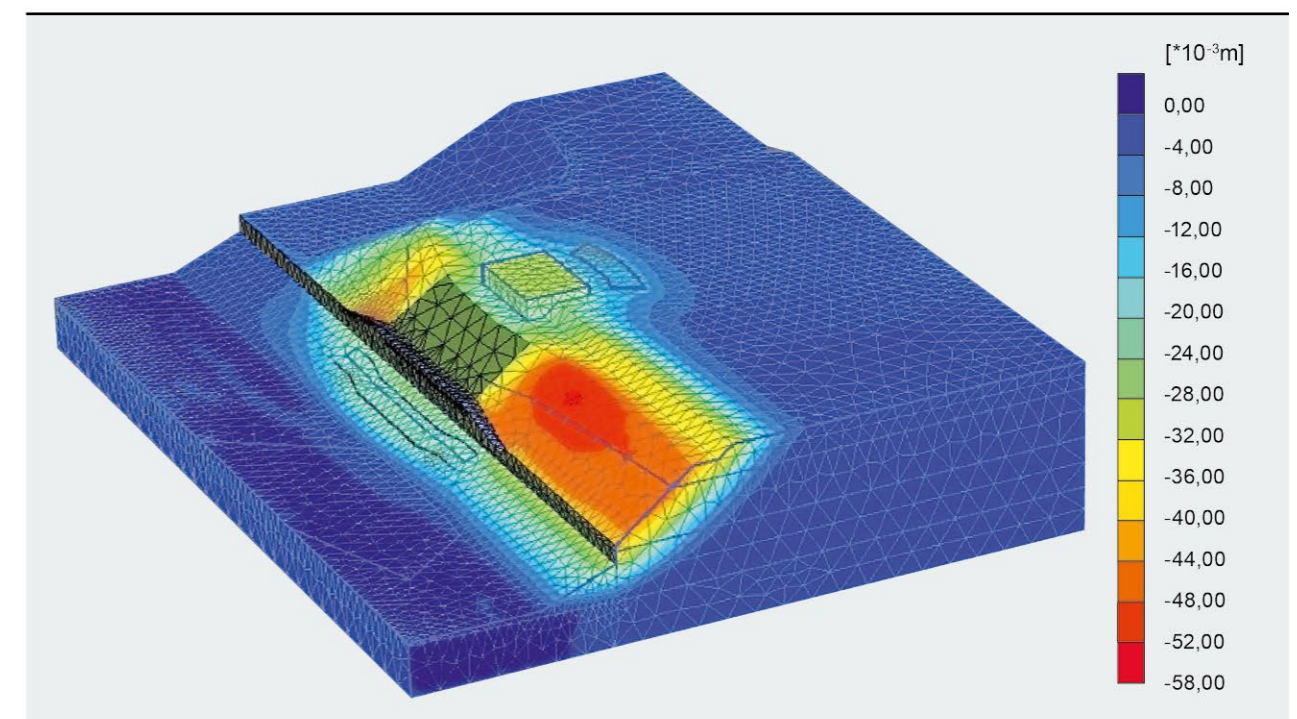
Durch den Ausbau der Oststrecke müssen auch Bauwerke wie die Levensauer Hochbrücke (Titelbild) verändert werden. Die kombinierte Fußgänger-, Straßen- und Eisenbahnhochbrücke wurde 1894 erbaut und bildet die engste Stelle im gesamten Streckenverlauf des NOKs. Eine Besonderheit ist, dass die Widerlager ein bedeutsames Winterquartier für verschiedene bedrohte Fledermausarten sind. Derzeit erfolgt der Ersatzneubau. Ein Abrücken aus der bestehenden Trasse war aufgrund der setzungsempfindlichen Widerlager der benachbarten Brücke der Bundesstraße nicht möglich, weshalb der Ersatzneubau quasi an gleicher Stelle erfolgt. Als Entscheidungsgrundlage dienten umfassende Verformungsbetrachtungen des anstehenden Bodens im Labor der BAW und im Feld. Um kritische Zustände und auftretende Verformungen zu untersuchen, wurden auch numerische Simulationen durchgeführt (Bild 6).

Aus architektonischen und landschaftsprägenden Aspekten ist ein stahlbaulicher Brückenbogen vorgesehen. Die Widerlagerkräfte des Bogens werden über tiefreichende Gründungstöpfe mit einem Durchmesser von 9 m in den Untergrund abgetragen. Da das auf der Südseite befind-

liche Bestandswiderlager aus Artenschutzgründen für die Fledermäuse erhalten wird, ist hier besonders auf die Sicherung gegen unverträgliche Verformungen zu achten. Hierfür wurden bereits Verankerungen und vorgesetzte, aufgelöste Bohrpfehlwände hergestellt. Damit das bislang aus den steilen Böschungen in den NOK abfließende Grundwasser keinen schädlichen Aufstau hinter den neuen Uferwänden verursacht, wurden passive Entwässerungsmöglichkeiten aufgezeigt und bewertet.

Der Korrosionsschutz der Stahlkonstruktion der Levensauer Hochbrücke soll langlebig und farbeständig sein. Gerade der rote Farbton stellt eine große Herausforderung an die Langzeitstabilität dar, da UV-Strahlung bei vielen Polymeren und Kunststoffen zum Kreiden oder Ausbleichen führt. Daher prüft die BAW ausgewählte Brückenbeschichtungen auf ihre Farbtonbeständigkeit. Im Korrosionsschutzlabor der BAW werden Beschichtungsstoffproben im beschleunigten Prüfverfahren einer künstlichen Bewitterung ausgesetzt und anschließend untersucht. Parallel werden in Feldversuchen weitere Proben in Karlsruhe und an der alten Levensauer Hochbrücke für mindestens zwei Jahre in der natürlichen Bewitterung ausgelagert. Dabei untersucht die BAW die Wirkung einer zusätzlichen UV-Schutz-Deckbeschichtung, die in Kombination mit etablierten Korrosionsschutzbeschichtungen aufgebracht wurde. Zusätzlich werden Deckbeschichtungen nach den neuen Vorgaben (Blatt 100) der Bundesanstalt für Straßenwesen untersucht. Diese Neuentwicklungen sollen zukünftig eine längere Schutzdauer bei verminderter Schadstoffemission ermöglichen und zugleich die Farbtonbeständigkeit erhöhen.

Bild 6:  
Numerisches 3D-Modell, Verformungen durch den Ausbau



Im Zuge der bereits stattgefundenen Bauarbeiten kam es lokal zu einer größeren Böschungsrutschung oberhalb des Betriebsweges. Die Ursachenermittlung und Erarbeitung des Sanierungskonzeptes erfolgte in enger Abstimmung zwischen der BAW, dem Baugrundgutachter und weiteren Beteiligten.

#### Ausbau der Oststrecke – Monitoring der Baggergutverbringung

Der beim Ausbau der Oststrecke gebaggerte Boden wird zum Teil in der Ostsee auf eine Ablagerungsfläche nördlich des Stollergrundes (Kieler Bucht) verbracht. Da dieser Teil eines Schutzgebietes ist, darf dort ein festgelegter Grenzwert der Trübung des Gewässers nicht überschritten werden. Die Einhaltung wird durch ein umfangreiches Monitoring sichergestellt, wobei das Verbringen des Baggergutes sowohl durch Messungen an sechs Stationen um die Ablagerungsfläche herum, als auch durch numerische Simulation begleitet wird. Die Stationen messen neben der Trübung auch die Wassertemperatur, den Salz-, Sauerstoff- und Chlorophyllgehalt, die Strömungsgeschwindigkeit und den Seegang. Um das Geschehen auch zwischen den einzelnen Messstationen zu verfolgen, wird durch das Ostseemodell der BAW eine kontinuierliche Simulation der aktuellen Hydrodynamik sowie des Schwebstofftransportes durchgeführt. Das numerische Modell wird durch aktuelle Randwerte alle fünf Tage auf den aktuellen Zustand

nachgeführt. So lassen sich zeitnah fachliche Aussagen zu eventuellen Auffälligkeiten machen, um den Träger des Vorhabens bei der Bauüberwachung maßgeblich zu unterstützen.

Das Ostseemodell wurde für den quasi-operationellen Betrieb ertüchtigt. Das beinhaltet z. B. den automatisierten Abruf gemessener Wasserstände und die Berücksichtigung der aktuellen Meteorologie. Für künftige Betrachtungen ist vorgesehen, alle notwendigen Eingangsdaten tagesaktuell direkt von der WSV-Datenbank für das Monitoring von Nassbaggerarbeiten (MoNa) abzurufen. Anhand der Messdaten wurde das Modellsystem erfolgreich validiert, sodass die entstehenden Trübungswolken zuverlässig nachverfolgt werden können (Bild 5). Nach der Verbringung einer Schute liegt das Zentrum der Trübungswolke nach 45 Minuten tiefer als 10 m unter dem Wasserspiegel und das freigesetzte Material ist über einen größeren Bereich verteilt. In der Folge sinkt die Trübungswolke weiter ab, bis das Material nach sechs bis acht Stunden aus der Wassersäule verschwunden ist.

Durch das Messnetz wird frühzeitig erkannt, ob der Trübungsgrenzwert möglicherweise überschritten werden könnte, um dann den Bauablauf entsprechend anzupassen. Die operationelle Simulation untermauert die Messungen zeitnah mit flächendeckenden Informationen über das Trübungsgeschehen und sichert



# Infrastrukturmaßnahmen am Neckar

## Hoher Reinvestitionsbedarf an Schleusen und Wehren

Am Neckar sind umfangreiche Grundinstandsetzungen an den massiven Wasserbauwerken notwendig. Bei der Umsetzung der anspruchsvollen und komplexen Planungs- und Baumaßnahmen wirkt die BAW beratend mit und erarbeitet im Rahmen von bau- und geotechnischen Gutachten, Laboruntersuchungen und Analysen wesentliche Planungsgrundlagen.





## Einführung

Der Neckar wurde von 1921 bis 1968 in mehreren Etappen zu einer 203 km langen Bundeswasserstraße mit 27 Staustufen ausgebaut. Das Betriebsalter der vorhandenen, sehr vielgestaltigen Bausubstanz, die überwiegend aus Doppelschleusen, mehrfeldrigen Wehren sowie Kraftwerken besteht, liegt zwischen 50 und annähernd 100 Jahren. Es sind erhebliche Maßnahmen zur Grundinstandsetzung der Wasserbauwerke notwendig, damit Gütertransporte und ein geordneter Wasserabfluss langfristig sichergestellt sind. Im Rahmen der Planungsarbeiten, die durch das Wasserstraßen-Neubauamt (WNA) Heidelberg und die beauftragten Ingenieurbüros durchgeführt werden, sind umfangreiche statische Berechnungen und Untersuchungen zur vorhandenen Standsicherheit und zur Gewährleistung einer ausreichenden Dauerhaftigkeit erforderlich. Dabei wirken die verschiedenen Referate der BAW sowohl beratend als auch bei der Erarbeitung der Planungsgrundlagen (Baugrund- und geohydraulische Gutachten, hydraulische und Betonuntersuchungen etc.) sowie mittels ergänzender statischer Analysen mit.

## Standsicherheit der Bestandsbauwerke

Die Schleusenammern am Neckar bestehen größtenteils aus Gewichtsstützwänden, die im Sohlbereich mit durchlässigen Betonplatten befestigt bzw. ausgesteift sind. Teilweise wurden fuß- oder rückseitig schwach bewehrte Sporne und Vouten zur Tragwerksoptimierung angeordnet. Die statische Bemessung zur Bauzeit erfolgte nach dem damaligen Regelwerk für Beton bzw. Stahlbeton auf der Basis des globalen Sicherheitskonzeptes. Wesentliche Einwirkungen auf die Bauwerke sind neben Erddruck und Eigengewicht vor allem Wasser- und Grundwasserdruck. Letzterer ist bei der statischen Bemessung meist ergebnisrelevant, sodass der qualifizierten Ermittlung der entsprechenden Bemessungswasserstände eine besondere Bedeutung zukommt.

Bei der Bewertung der Standsicherheit der bestehenden Wasserbauwerke ergeben sich besondere Anforderungen aus der Vorgabe, dass gemäß Bundeswasserstraßengesetz alle Anlagen den heute geltenden „allgemein anerkannten Regeln der Technik“ und damit weitgehend dem eingeführten Normenwerk entsprechen müssen. Für Nachrechnungen im Bestand ist das BAW Merkblatt „Bewertung der Tragfähigkeit bestehender massiver Wasserbauwerke (TbW)“ zu verwenden. Es enthält an die speziellen Tragwerksbedingungen der Wasserbauwerke angepasste Vorgaben und Empfehlungen und ermöglicht so die Mobilisierung rechnerischer Sicherheitsreserven. In der Abteilung Bautechnik wurde für die Mittelmauer der alten Schleuse Feudenheim die Restnutzungsdauer ermittelt und die Standsicherheit der bestehenden linken Schleusenammer Kochendorf begutachtet und bestätigt. Trotzdem musste auch im vergangenen Jahr 2022 im Rahmen der Instandsetzungsplanung mit den ingenieurpraktischen Methoden der TbW-Stufen A bzw. B vereinzelt festgestellt werden, dass bei einigen Bauwerken keine ausreichenden rechnerischen Tragfähigkeiten nachweisbar waren. Defizite ergeben sich vor allem aus der stark vereinfachten, statischen Modellbildung und dem sehr konservativen Ansatz für die Bemessungswerte des im Bauteilinneren wirkenden Riss- und Porenwasserdrucks nach geltender Norm. Um aufwändige Tragwerksverstärkungen zu vermeiden, können im Zuge einer gutachterlichen Betrachtung (TbW-Stufe C) mittels teilweise nicht standardisierter, wissenschaftlicher Verfahren und Methoden Sicherheitsreserven herausgearbeitet werden. So wurde im Referat Massivbau der BAW beispielsweise für die rechte Kammer der Schleuse Pleidelsheim mit den dort zunächst festgestellten Defiziten eine aufwändige, aber auch realitätsnähere statische Modellierung (Bild 1) mit genaueren Lastansätzen vorgenommen und damit eine entsprechende Verringerung der Sicherheitsdefizite erreicht.

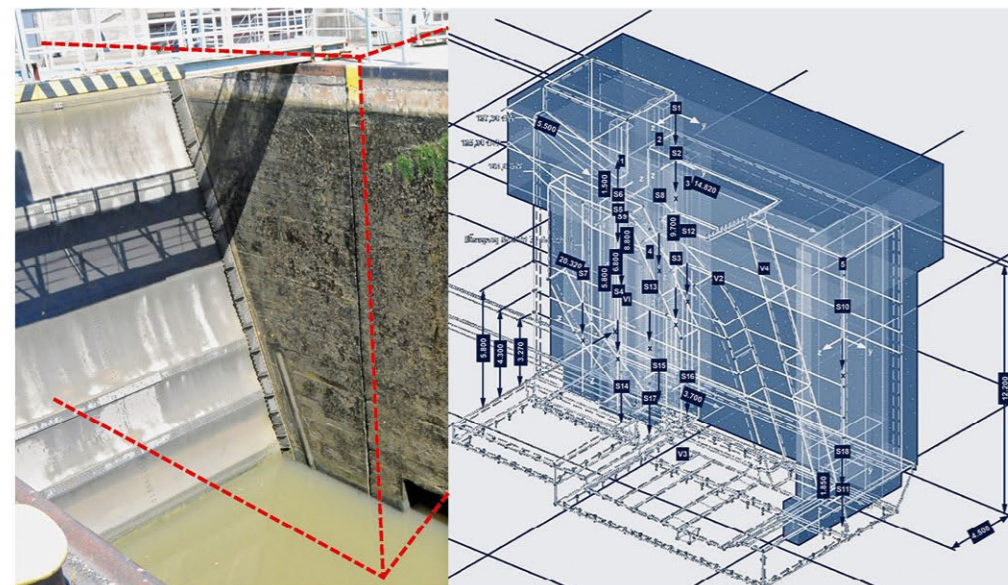


Bild 1:  
Linkes Unterhaupt  
der Schleuse Pleidels-  
heim und statisches  
3D-FE-Teilmodell

Gemäß TbW besteht ferner die Möglichkeit, bei Sicherheitsdefiziten mit entsprechenden Kompensationsmaßnahmen eine weitere Nutzung des Bauwerks zu gewährleisten. Zu diesen kompensierenden Maßnahmen gehört u. a. der Einsatz von Monitoringsystemen. Ein solches System wurde an der Staustufe Hessigheim erforderlich. Durch die vorliegende Baugrundsituation ist hier eine Gefährdung durch Gründungsversagen wesentlich höher als bei den anderen Anlagen. Irreversible Verformungen mit entsprechenden Schäden sind bereits vorhanden. Insgesamt ist die Anlage mit einem erhöhten technischen Risiko versehen. Die BAW empfahl deshalb eine automatisierte, messtechnische Erfassung der vorhandenen Verformungsverläufe in engen Zeittakten an für die Tragwerksverformungen repräsentativen Objektpunkten, die das zuständige Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt umgesetzt hat. Mit einem automatischen Tachymeter werden Lage und Höhe der angeordneten Objektpunkte im 30-Minuten-Takt erfasst und per Web-Browser über eine gesicherte Internet-Verbindung weitergeleitet (Bild 2). Bei Auffälligkeiten wird die BAW konsultiert und geprüft, wie beobachtete Grenzwertüberschreitungen zu bewerten und welche Maßnahmen gegebenenfalls einzuleiten sind.

## Betoninstandsetzungsmaßnahmen an den Neckarschleusen

Aufgrund der langjährigen Beanspruchungen besteht insbesondere für die in Stampfbetonbauweise errichteten Schleusen nach Nutzungsdauern von bis zu 100 Jahren vielfach Instandsetzungsbedarf der Massivbauteile. Neben dem Beton der wasserseitigen Kammerwände weisen auch die Blockfugen und Plattformen häufig Schäden auf.

Als Instandsetzungsmaßnahme haben sich verankerte Stahlbetonvorsatzschalen gemäß der „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen – Wasserbau“ (ZTV-WLB 219) vielfach bewährt. Die Maßnahmen schließen in der Regel eine Fugeninstandsetzung sowie die Erneuerung der Schleusenausrüstung ein, sodass eine Verlängerung der Nutzungsdauer um weitere 70 bis 100 Jahre erreicht werden kann. Auch Verstärkungsmaßnahmen aus statischen Erfordernissen lassen sich in der Regel gut integrieren. Voraussetzung ist der flächige Abtrag des geschädigten Betons in der entsprechenden Schalenstärke. Für den Verbund zum Altbeton müssen Anker gesetzt werden, die Bewehrung wird zweilagig eingebaut sowie

Bild 2:  
Verlauf der Höhenänderungen an drei Objektpunkten der automatischen Tachymetermessungen der Schleusen-  
anlage Hessigheim und Vergleich mit händischen Messwerten (rot) aus der regulären Bauwerksüberwachung

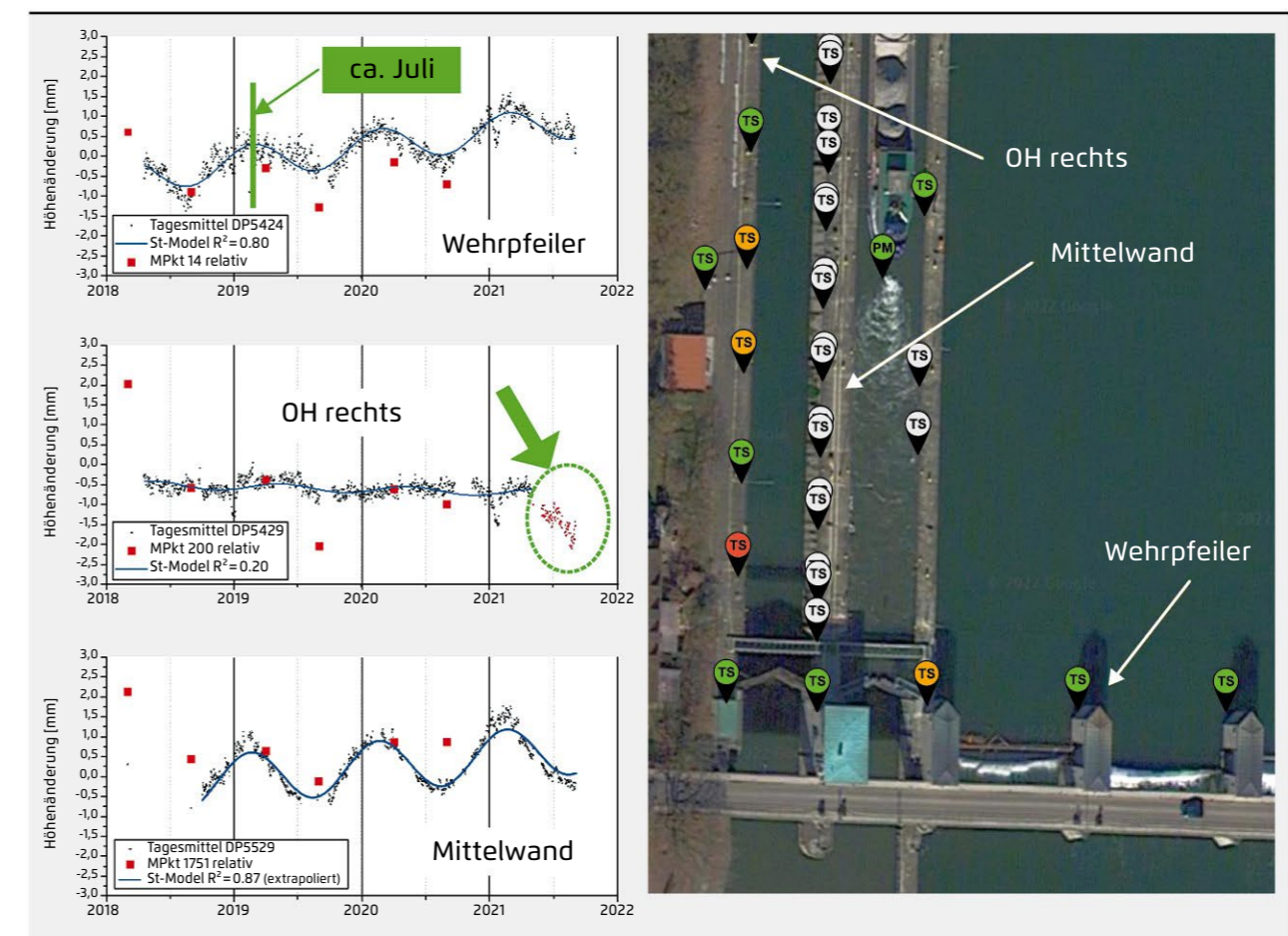






Bild 3: Betonage der Betonvorsatzschale an der Schleuse Schwabenheim (Juli 2022)

Einbauteile und Fugenkonstruktionen integriert. Die Anforderungen an den Beton ergeben sich aus typischen Beanspruchungen, wie z. B. Schiffsanfahrt und -reibung sowie Frostangriff bei hoher Wassersättigung.

Auch bei der 2022 ausgeführten Betoninstandsetzung der rechten Kammer der Schleuse Schwabenheim entschied man sich für eine neue Stahlbetonvorsatzschale einschließlich Erneuerung der Plattform. Ziel war es, den alten, zum Teil durch eine Alkali-Kieselsäure-Reaktion geschädigten Wandbeton, dauerhaft zu schützen und abzudichten. Zudem waren die Ausrüstungsteile (Poller, Leitern und Kantenschutz) zu erneuern, wobei erstmalig am Neckar auch zwei Schwimmpoller eingebaut wurden. Um rechnerische Standsicherheitsdefizite zu beheben, mussten vorab bis in die Gründung reichende Vertikalanker eingebaut werden.

Während der gesamten Planungs- und Ausführungsphase erfolgte eine fachliche Beratung und Begleitung durch das Referat Baustoffe der BAW. Bereits bei der Konzeption der Betone waren besondere baustoffliche und betontechnologische Aspekte zu berücksichtigen. So musste u. a. ein stabiles Sedimentationsverhalten des Frischbetons sichergestellt werden, da der Beton je Block in einer Betonage über die gesamte Kammerhöhe von zwölf Metern eingebaut wurde. Entsprechende Prüfungen erfolgten sowohl im Vorfeld (Eignungs- und Kontrollprüfungen) als auch baubegleitend im Baustofflabor der BAW.

Auch das Betonierkonzept ist hervorzuheben. Je Einbaustelle (gegenüberliegende Kammerwände eines Blocks) wurden in gleichmäßigen Abständen Betoneinfüllrohre und Rüttelgassen vorgesehen, die mit Flaschenrüttlern in gleicher Anzahl bestückt wurden. So war es mit entsprechendem Personaleinsatz möglich, die Betonage eines kompletten Blocks an einem Tag zu realisieren. Wie in Bild 3 dargestellt, erfolgte der Einbau gleichzeitig an den gegenüberliegenden Einbaustellen, sodass der Schalungsdruck auf die Aussteifungskonstruktion des Schalwagens stets gleichmäßig war. Die bereits fertige Betonvorsatzschale (links im Bild) zeigt, dass durch die Verwendung von wasserabführenden Schalungsbahnen eine sehr dichte und hochwertige Betonoberfläche realisiert wurde. Es empfiehlt sich, dieses Betonierkonzept auch für weitere Betoninstandsetzungsmaßnahmen am Neckar zu adaptieren.

#### Geohydraulische Untersuchungen an den Neckarschleusen

Das Referat Grundwasser führte im Auftrag des WNA Heidelberg umfangreiche Untersuchungen zu grundwasserhydraulischen Fragestellungen für die geplanten Grundinstandsetzungen und Kammerv Verlängerungen der Neckarschleusen Kochendorf und Pleidelsheim durch. Die beiden Schleusenanlagen bestehen jeweils aus zwei nebeneinander angeordneten Schleusenkammern. Die Grundinstandsetzung einer Kammer soll bei laufendem

## „Maßnahmen zur Grundinstandsetzung von Wasserbauwerken gewährleisten eine normgerechte Standsicherheit und Dauerhaftigkeit gemäß den heutigen Anforderungen und sind damit eine nachhaltige Alternative zum Neubau.“

Schiffahrtsbetrieb der anderen Kammer erfolgen. Beide Schleusenanlagen befinden sich in einem Seitenkanal, der unmittelbar oberhalb der zugehörigen Wehranlage vom Neckar abzweigt und unterhalb der Schleusen wieder in den Neckar einmündet. Die Schleusenanlagen sind im Festgestein gegründet und seitlich der Schleusenkammern stehen Lockergesteinsschichten oder Auffüllungen an.

Die Auswertungen der Grundwasser- und Oberflächenwasserstandsmessungen ergaben eine starke Korrelation zwischen den Neckarwasserständen im Unterwasser der Schleusen und den Grundwasserständen im seitlich anstehenden Lockergestein sowie im unterlagernden Festgestein. Basierend darauf wurden als Grundlage für die erforderlichen Standsicherheitsberechnungen charakteristische Grundwasserdruckbeanspruchungen für Betriebszustände, Bau- und Revisionszustände mit Trockenlegung der Kammersohlen und außergewöhnliche Zustände (z. B. Leckagen in der Kanaldichtung im oberen Vorhafen) ermittelt. Für die Prognose der charakteristischen Grundwasserstände (differenziert nach unterlagerndem Festgestein und seitlich anstehendem

Lockergestein) waren viele Faktoren zu berücksichtigen: die maßgebenden Hochwasserstände im Unterwasser der Schleusen und ggf. im Seitenkanal, die Differenzen zwischen Kammerwasserstand und Grundwasserstand unterhalb und seitlich der Schleusenkammern sowie die unterschiedlichen Bau-, Revisions- und Betriebszustände (z. B. eine Schleusenkammer trocken gelegt, die andere auf Oberwasserstand bei maßgebendem Neckarhochwasser).

Die durchgeführten Untersuchungen ergaben, dass bei Trockenlegung der Schleusenkammern keine ausreichende Sicherheit gegen ein Aufschwimmen der Kammersohlen gewährleistet ist. Auf Grundlage numerischer Berechnungen mittels dreidimensionaler Grundwasserströmungsmodelle (Bild 4) wurden Grundwasserentspannungsanlagen zur Sicherung der Schleusensohlen gegen Aufschwimmen konzipiert, die dafür erforderlichen Entspannungsbrunnen dimensioniert und die bauzeitlichen Wasserhaltungen ausgelegt. Zusätzlich wurden auf Grundlage mehrerer Detailmodelle die Grundwasserbeanspruchungen von Bauteilen und Baugrund ermittelt sowie geeignete Maßnahmen zur Reduzierung der Grundwassereinwirkungen konzipiert.

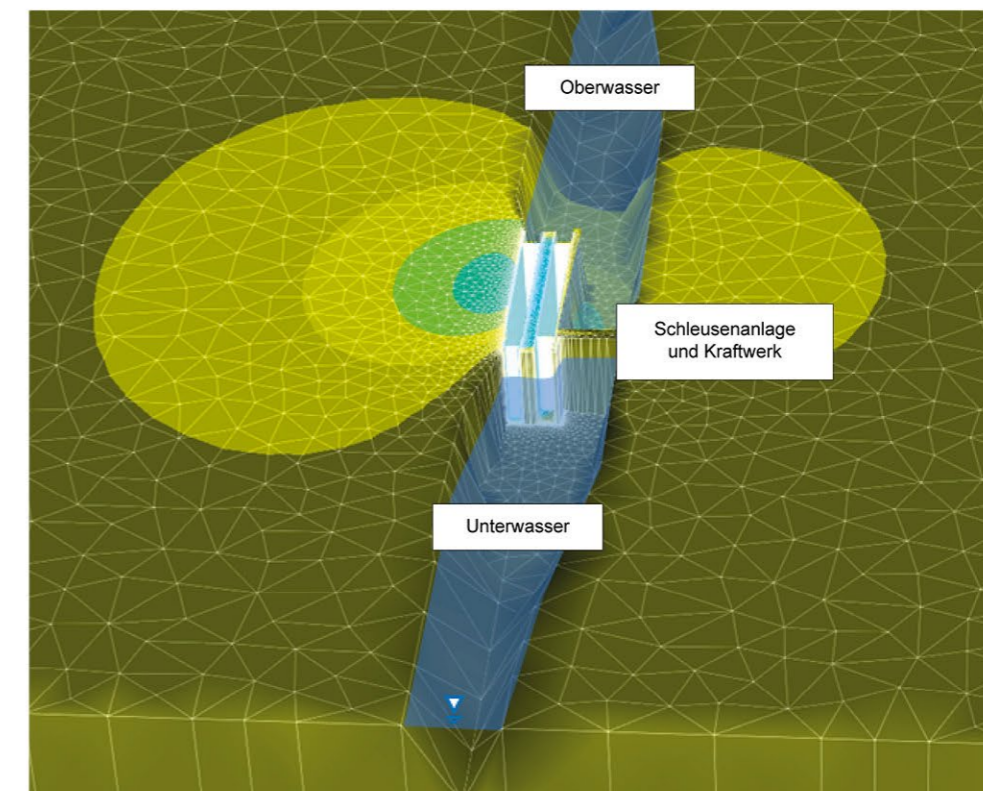


Bild 4: Ausschnitt eines Grundwassermodells für die Staustufe Kochendorf für die Dimensionierung der Grundwasserentspannungsanlage zur Sicherung der Schleusensole gegen Aufschwimmen



### Baugrunduntersuchungen zum Neubau des Wehres Wieblingen

Das WNA Heidelberg plant den Ersatzneubau des Wehres Wieblingen (Bild 5). Das zur Staustufe Wieblingen gehörende Wehr besteht aus sechs Wehrfeldern und liegt bei Neckarkilometer 22,386 in Heidelberg. Der Neubau ist unmittelbar vor dem bestehenden Wehr im Oberwasser geplant. Für den Wehrneubau erstellte das Referat Erdbau und Uferschutz der BAW im Oktober 2017 ein Baugrundgutachten. Mittlerweile wurde die Planung des Wehrneubaus um eine Betriebsbrücke, ein Betriebsgebäude, einen Kranstandort sowie die Bestandsbegutachtung der Schwergewichtsmauer im Unterwasser ergänzt, wofür weitere Baugrunderkundungen erforderlich waren. Die Erkundungsarbeiten wurden in den ersten Monaten des Jahres 2022 beendet und die gewonnenen Bodenproben im geotechnischen Labor der BAW untersucht. Das Baugrundgutachten für diese ergänzenden Maßnahmen konnte im Dezember 2022 fertiggestellt werden. Bereits während der Bearbeitung des Gutachtens erfolgte eine enge Beratung des WNA Heidelberg und der Planungsbüros durch die BAW zu den einzelnen Bauvorhaben.

Das Wehr Wieblingen liegt im Oberrheingraben westlich des Odenwaldes im zentralen Bereich des sogenannten „Neckarschwemmfächers“. Dabei handelt es sich um eine nach dem Austritt des Neckars aus dem Odenwald in das Rheintal erfolgte Ablagerung von 350–380 m mächtigen Schichten des Quartärs aus Kiesen, Sanden und Schluffen.

Bild 5: Wehr Wieblingen, Bestand



Besonders im „Heidelberger Loch“ ist darin sehr viel grobes Material aus dem Odenwald (Buntsandstein, Rotliegendes und kristallines Grundgebirge) enthalten. Häufig sind darin linsenartig Schluffe eingelagert.

Aus diesem geologischen Aufbau leiten sich für den Wehrstandort folgende geotechnische Randbedingungen ab:

- eine wegen der unregelmäßigen Schichtanordnung anisotrope Durchlässigkeit des Untergrundes,
- größere Einzelsteine und Blöcke, die das Einbringen des Baugrubenverbaus behindern,
- unregelmäßig verteilte, bindige Linsen, die bei der Festlegung von Bemessungskennwerten für geotechnische Bauelemente wie Pfähle und Anker zu berücksichtigen sind.

Das Bauwerk wird nach derzeitiger Planung in acht Teilbaugruben errichtet, die u. a. mit einer kombinierten Spundwand gesichert werden sollen. Aufgrund der Steine und Blöcke im Untergrund ist für das Einbringen des Verbaus ein Bodenaustausch mit überschrittenen Vorbohrungen vorgesehen.

### Hydraulische Untersuchungen zum Ersatzneubau der Wehranlage Wieblingen

Die bestehende Wehranlage Wieblingen wurde in den 1920er Jahren errichtet und in den Jahren 2006 und 2010 teilweise saniert. Unterschiedliche Wehrfeldbreiten, Wehrschwelenhöhen, Verschlusshöhen sowie Verschlussstypen

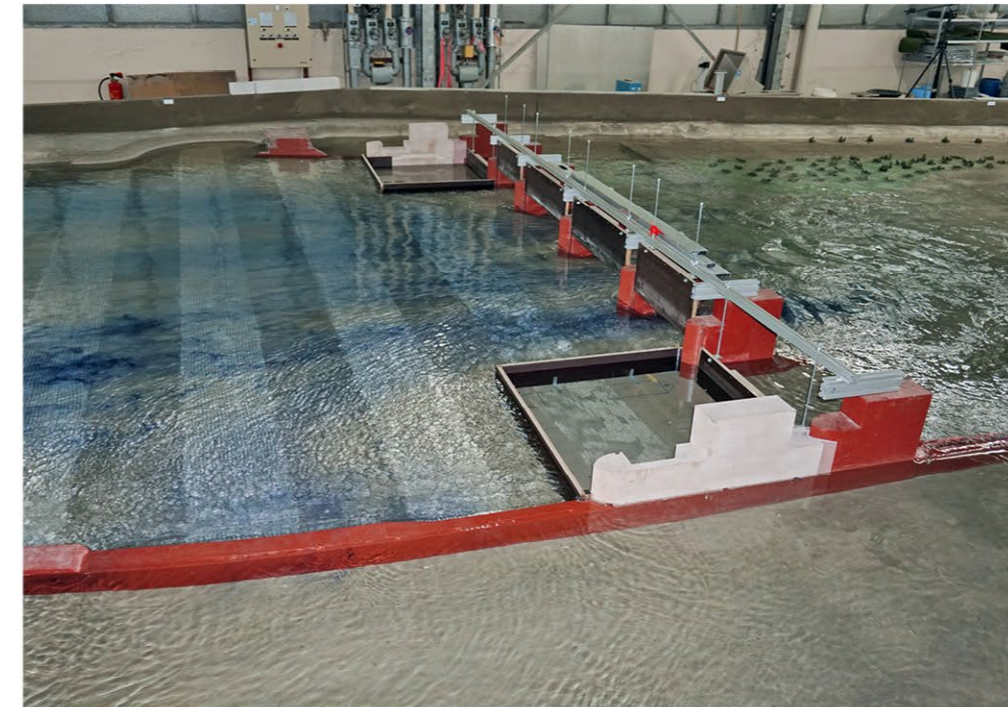


Bild 6: Untersuchung einer Bauphase der geplanten Wehranlage Wieblingen im gegenständlichen Modell, Maßstab 1:30

sind eine Besonderheit dieser Wehranlage und führen zu einem nicht unerheblichen Unterhaltungsaufwand. Der Ersatzneubau ermöglicht eine Vereinheitlichung der Wehrfeldbreiten und Verschlusshöhen, wobei Drucksegmente, teils mit Aufsatzklappe, zum Einsatz kommen sollen. Das Referat Wasserbauwerke der BAW wurde mit der hydraulischen Untersuchung und Begutachtung des Ersatzneubaus beauftragt.

Die Untersuchungen werden sowohl mit einem gegenständlichen Modell (Bild 6) als auch mit numerischen Modellen durchgeführt. Dabei kommt für Fragestellungen im Nahfeldbereich der Wehranlage ein gegenständliches Modell im Maßstab 1:30 sowie ein 3D-hydrodynamisch-numerisches Modell zur Anwendung. Aussagen zu den Wasserspiegellagen im Bereich der Heidelberger Altstadt werden mit einem 1D-hydrodynamisch-numerischen Flussmodell getroffen. Die hydraulischen Randbedingungen zu Beginn der Untersuchungen waren schwierig: Unmittelbar unterstrom der Wehranlage befand sich ein etwa neun Meter tiefer Kolk – eine durch strudelndes Geröll entstandene Vertiefung im Flussbett, die die Standsicherheit der Wehranlage aufgrund der rückschreitenden Erosion gefährdete. Um einer weiteren Vergrößerung des Kolkes entgegenzuwirken, wurde dieser teilweise verfüllt und mit einer Sohlsicherung befestigt. Zudem haben die Vegetationsinseln im Unterwasser, die in den 1980er Jahren als Naturschutzgebiet ausgewiesen wurden, einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf die Wasserspiegellagen. Sowohl die Trennmauer zum Schifffahrtskanal, welche ab einem 5-jährlichen Hochwasserereignis überströmt wird, als auch der Abfluss über das Kraftwerk Schwabenheim, beeinflussen die Anströmbedingungen

im Oberwasser. Neben den Untersuchungen zu n- und (n-1)-Fällen der bestehenden und geplanten Wehranlage liegt das Augenmerk auf den Wasserspiegellagen, die sich in den einzelnen Bauphasen bei Hochwasser im Bereich der Heidelberger Altstadt ergeben. Beim Neubau der Wehranlage wird eine zweifeldrige Bauweise bevorzugt. Das führt zwar zu einer Verringerung des abflusswirksamen Fließquerschnitts, verkürzt aber auch die Bauzeit und verringert so die Wahrscheinlichkeit, dass ein extremes Hochwasserereignis während der Baumaßnahme auftritt. Die Untersuchungen zeigen, dass durch gezielte Maßnahmen, wie beispielsweise die Optimierung der Baugrubenumschließung oder der Teilabbruch der Trennmauer, der Aufstau reduziert werden kann.

### Ausblick

Instandsetzungs- und Anpassungsmaßnahmen an den Massivbauwerken der Bundeswasserstraße Neckar finden seit vielen Jahren statt. Aufgrund der Altersstruktur und der steigenden Anforderungen an den Bauwerksbestand werden die notwendigen Eingriffe zunehmend umfangreicher und stellen hohe Anforderungen an die WSV. Im komplexen Planungsprozess sind Standsicherheitsfragen einschließlich der Erarbeitung bzw. Bereitstellung der erforderlichen materialtechnischen und hydraulischen Berechnungsgrundlagen von besonderer Bedeutung. Die verschiedenen Referate der BAW waren von Beginn an als Berater und Gutachter in diesen Prozess eingebunden und werden auch in den kommenden Jahren bei der Vorbereitung und Ausführung dieser wichtigen Infrastrukturmaßnahmen mitwirken.



# Das Elbeästuar

## Herausforderungen in der Wissenschaftskommunikation

Die Gutachten der BAW zu wasserstraßenbezogenen Ausbauwirkungen basieren auf dem Stand von Wissenschaft und Forschung. Obwohl bislang in den amtlich angeordneten Beweissicherungsverfahren die Prognosen der BAW ausnahmslos bestätigt wurden, werden immer wieder Zweifel an der Belastbarkeit der BAW-Prognosen in der Öffentlichkeit diskutiert. Hier kann eine gezielte Wissenschaftskommunikation helfen.



Die fortschreitende Industrialisierung seit dem 19. Jahrhundert und die damit verbundene weltweite Vernetzung der Warenströme haben dazu geführt, dass die ehemals naturbelassenen Tideflüsse als Seehafenzufahrt immer wieder den Anforderungen der Seehäfen und des Seeschiffverkehrs angepasst wurden. Der Seehafen Hamburg konnte sich dadurch zum wichtigsten Umschlagsplatz für die deutschen Wirtschaftsgüter entwickeln, aber auch andere Hafenstandorte haben sich wirtschaftlich gut entwickeln können. Gleichzeitig stieg an den Tideflüssen das Sicherheitsbedürfnis der Bevölkerung vor schweren Überflutungen, sodass der Küstenschutz ebenfalls stark in das ursprüngliche Natursystem Tidefluss eingreifen musste.

Die Folgen des beschriebenen, vom Menschen über die letzten Jahrzehnte initiierten Handelns haben sich in dem Natursystem Tidefluss aus naturschutzfachlicher Sicht sehr nachteilig ausgewirkt, auch wenn das auf den ersten Blick gar nicht vermutet werden könnte (Bilder 1 und 2).

Die vorhabenbedingten Änderungen in den Tidewasserständen, Schiffswellen, Strömungen, Salzgehalten und der Morphodynamik unterlagen in der Vergangenheit, verstärkt durch die diversen Nutzungskonflikte, immer komplexeren Auflagen. Rein technisch erscheinen die Anforderungen für Anlagen an der Wasserstraße beherrschbar und sind letztlich eine Frage des Kapitaleinsatzes im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung. Flora und Fauna hatten in der Vergangenheit dabei – vereinfacht ausgedrückt – oftmals das Nachsehen.

Neben dieser allgemeinen Feststellung, die wohl übereinstimmend anerkannt ist, gestaltet sich die quantitative Zuordnung der beobachteten Veränderungen im Ästuar zu einzelnen (Bau-)Maßnahmen schon wesentlich schwieriger. Das liegt daran, dass die Naturzustände immer ein Resultat vielfältiger und gleichzeitiger Veränderungen in den zahlreichen Randbedingungen eines Lebensraums darstellen, die sich im Einzelnen gegenseitig beeinflussen und überlagern sowie kurz-, mittel- oder langfristig wirken.

Bild 1: Grauerort



Bild 2: Haseldorfer Marsch

### Gutachterliche Begleitung auf dem Stand von Wissenschaft und Forschung

Die Bundesanstalt für Wasserbau hat in den vergangenen Jahrzehnten viele Ausbauprojekte an den Ästuaren fachgutachterlich begleitet. Die Prognosen zu maßnahmenbezogenen Wirkungen waren dabei Grundlage für alle weiterführenden (Umwelt-)Gutachten nach europäischer und nationaler Gesetzgebung, woraus sich die besondere Verantwortung der Gutachterin BAW ableiten lässt. Um dieser Verantwortung gerecht zu werden, setzt die BAW erhebliche Ressourcen für die ständige Weiterentwicklung der Prognosewerkzeuge ein, beispielsweise die wasserbauliche Systemanalyse. Die BAW betreibt eigene Forschung zu ästuarspezifischen Themen und kooperiert national wie international mit einer Vielzahl von Forschungsinstituten und Universitäten, um jederzeit nach dem Stand der Wissenschaft und Forschung beraten und begutachten zu können. Dennoch stehen die maßnahmenbezogenen Wirkungprognosen der BAW immer wieder in der Kritik und werden in der öffentlichen Wahrnehmung im Vergleich zu den tatsächlich beobachteten Veränderungen nach einer Baumaßnahme als unzutreffend bezeichnet, obwohl sich das bislang objektiv aus zahlreichen Beweissicherungsmaßnahmen nicht bestätigt hat. Im Falle der jüngsten Elbvertiefung ist die Zeit seit Fertigstellung (2022) noch viel zu kurz, um aus den amtlich angeordneten Beweissicherungsmessungen zweifelsfreie Schlüsse zu den Maß-

nahmenwirkungen, beispielsweise auf die Wasserstandsentwicklung in der Unterelbe, ziehen zu können.

Trotzdem nimmt die BAW die Kritik oder Skepsis der Elbnäher zur Glaubwürdigkeit der BAW-Prognosen sehr ernst und analysiert die beobachteten Veränderungen der abiotischen Systemparameter in den Tideflüssen, um daraus Erkenntnisse zur Ursache und Wirkung der beobachteten Veränderungen ableiten zu können. Zu beachten ist in diesem Zusammenhang unter anderem die unmittelbar nach dem Ausbau aufgetretene, außergewöhnliche Sturmflutsituation im Januar und Februar 2022, die sich nach einer Pressemitteilung des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) vom 01.11.2022 so darstellt (Zitat): „Im Winterhalbjahr 2021/22 gab es mit 16 Sturmfluten an der deutschen Nordseeküste drei Mal so viele Sturmfluten wie im langjährigen Mittel. Die Sturmfluten traten gehäuft in Ketten auf, wobei auf eine Sturmflut innerhalb von 48 Stunden die nächste folgte. Vom 30. Januar bis 7. Februar ereigneten sich sechs Sturmfluten, davon zwei schwere. Kurz danach folgte vom 17. bis 22. Februar mit sieben Sturmfluten die längste Sturmflutkette seit 1990. Verursacht hatten sie mehrere aufeinanderfolgende starke Sturmtiefs mit orkanartigem Wind aus nordwestlicher Richtung. Zusätzlich führten in der Nacht zum 19. Februar starke Sturmböen zu einer sehr schweren Sturmflut in Hamburg, wie es sie im langjährigen Mittel nur einmal in fünf Jahren gibt.“



Nachweislich kommt es in so einem Falle zu großen natürlichen Sedimentumlagerungen im Elbmündungsbereich. Die damit verbundenen Topografieänderungen wirken sich sensibel und nachhaltig auf die Wasserstands-, Strömungs- und Sedimenttransportgrößen des Elbeästuars aus und können sogar die Wirkung einer Fahrrinnenanpassung in diesem Bereich deutlich übersteigen. Hinzu kommt, dass die Elbmündung ohnehin der Bereich der Deutschen Bucht ist, in dem die größten natürlichen Sedimentumlagerungen durch die Tideströ-

mung und Seegang zu verzeichnen sind. Der östliche Bereich der Medemrinne hat sich beispielsweise in den letzten Jahrzehnten um mehrere Kilometer nach Norden verschwenkt und mit dem Klotzenloch vereint.

Im Rahmen der Planungen zur jüngsten Fahrrinnenanpassung der Elbe wurde diese für die Unterhaltung der Fahrrinne ungünstige Entwicklung im Elbmündungsgebiet erkannt und bei der Konzeption des ausbaubegleitenden Strombaus berücksichtigt. Zur Verringerung

der Ausbauwirkungen wurden daher mehrere Strombauelemente durch die Träger des Vorhabens, die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) und die Hamburg Port Authority (HPA), errichtet – unter anderem in einem morphodynamisch relativ stabilen Abschnitt der Medemrinne oder auf dem Neufelder Watt. Die tidedämpfende Wirkung dieser überwiegend weichen Strombaumaßnahmen (d. h. in ihrer Form veränderbare und nur teilweise befestigte Sandkörper) muss aufgrund einer behördlichen Auflage zur Planfeststellung allerdings jederzeit nachweisbar sein. Das ist nur mit einem erheblichen Aufwand an Datenerhebung (beispielsweise durch topographische Vermessungen der Elbmündung), einer anschließenden Datenaufbereitung und -analyse sowie durch den Einsatz hydrodynamisch-numerischer Simulationsmodelle möglich. Die BAW unterstützt durch ein modellbasiertes Monitoring die Erfüllung dieser Auflagen und betreibt deswegen für die WSV ein hochgradig automatisiertes, operationelles Modell der Deutschen Bucht mit den jeweils aktuell verfügbaren meteorologischen, hydrologischen und topographischen Daten. Dabei kommen auch tägliche Vorhersagedaten des Deutschen Wetterdienstes und des Bundesamts für Seeschifffahrt und Hydrographie zum Einsatz (Bild 3). Es steht also täglich ein Ergebnisdatensatz zur Verfügung, der anlassbezogen tiefergehend analysiert werden kann, um daraus die Wirkung der Fahrrinnenanpassung, die tidedämpfende Wirkung des integrierten Strombaus oder die Wirkung sonstiger natürlicher Effekte herauszufiltern. Eine Darstellung der bisherigen Ergebnisse oder tiefergehende Erläuterungen zum Vorgehen würden den Umfang dieses Beitrages sprengen. Die bisherigen Erkenntnisse können aber so zusammengefasst werden: Es besteht bislang kein Anlass, an den Prognosewerten der ursprünglichen Grundlagengutachten zur Fahrrinnenanpassung oder der Wirkung des integrierten Strombaus zu zweifeln. Diese Erkenntnisse sollen allerdings nicht darüber hinwegtäuschen, dass sich ansonsten – wohl gemerkt aus anderen, teils weit in der Vergangenheit liegenden Gründen – aus naturschutzfachlicher Sicht ungünstige Verhältnisse in der Elbe eingestellt haben.

Um auch zukünftig einen hohen Qualitätsstandard in der wasserbaulichen Systemanalyse und Begutachtung leisten zu können, werden die bei der BAW vorhandenen Analyse- und Prognosewerkzeuge ständig weiterentwickelt und neueste wissenschaftliche Erkenntnisse eingepflegt. Ein Beispiel dafür ist das aktuell vom Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (KFKI)

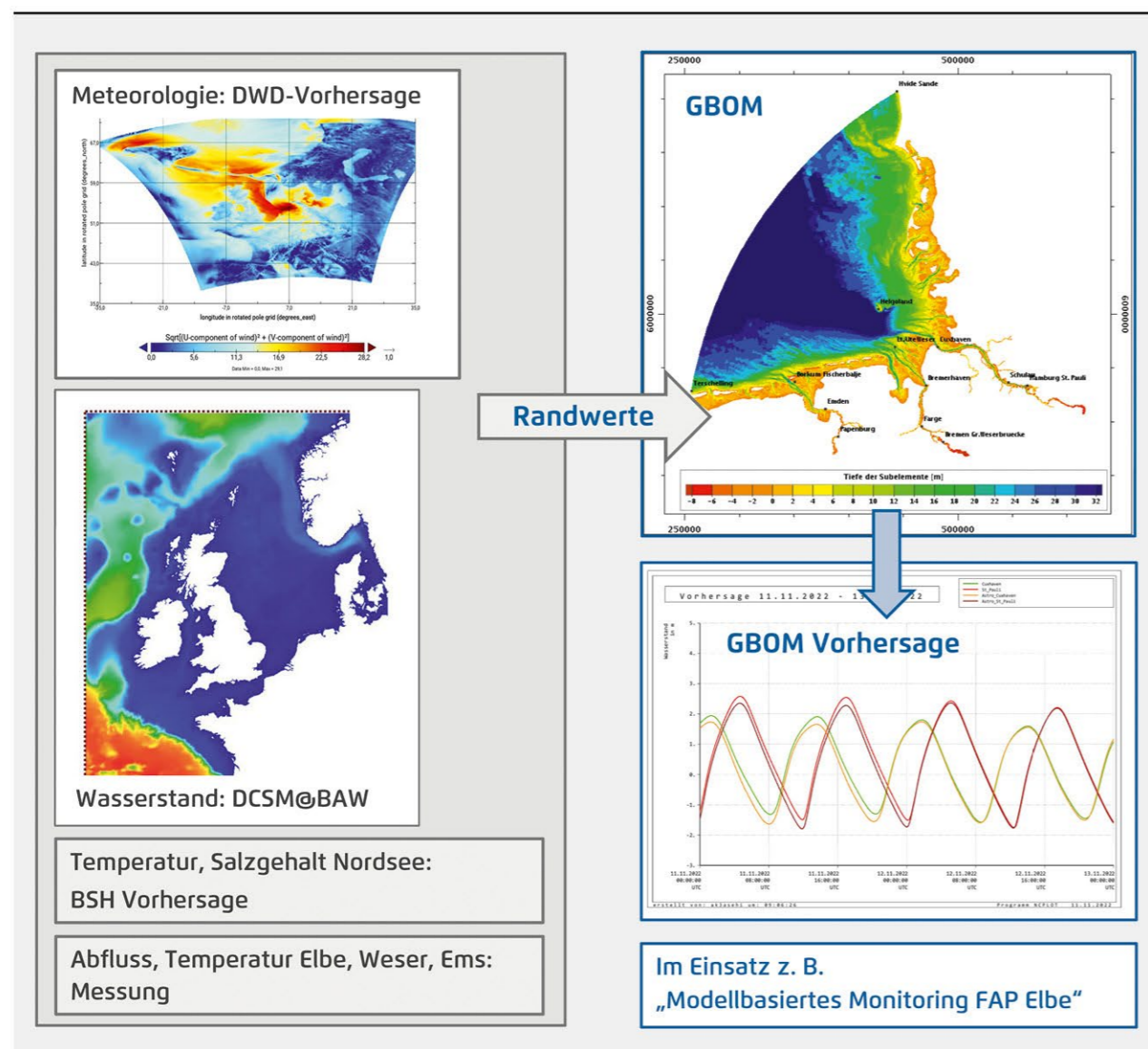
für die Zeit vom 1.11.2022 bis 31.10.2025 als Verbund geförderte Forschungs- und Entwicklungsvorhaben ELMOD, das im aktuellen Geschäftsbericht ebenfalls näher erläutert wird (BMBF-Förderkennzeichen 03F0928A-C). Das erfolgreiche Einwerben von Drittmitteln im Wettbewerb unterstreicht das hohe Engagement der BAW als Ressortforschungseinrichtung. In praxisorientierten Kooperationen mit universitären und außeruniversitären Forschungsverbänden wird nicht nur die Beratungskompetenz der BAW gestärkt, sondern auch der Stand der Wissenschaft mitgeprägt. Dies wird auch in dem Ergebnisbericht des Wissenschaftsrats zur jüngsten Evaluierung der BAW bescheinigt.

### Umgang mit der öffentlichen Wahrnehmung

Am 24. Januar 2022 wurde mit der Freigabe der 2. Stufe der neunten Fahrrinnenanpassung der Elbe durch die Träger des Vorhabens (die HPA und die Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt, GDWS) bekannt gegeben, dass nun das Vorhabenziel, 13,5 m tiefgehenden Containerschiffen eine tideunabhängige Erreichbarkeit des Hamburger Hafens zu ermöglichen, erreicht war. Doch noch im selben Jahr musste die GDWS Tiefgangsrestriktionen für große Containerschiffe aussprechen, weil ein starker Sedimenteintrieb zu Mindertiefen in der Fahrrinne führte. Die Ursachen der hohen Unterhaltungsaufwendungen liegen jedoch nicht allein in der Fahrrinnenanpassung, sondern auch in natürlichen Sedimentumlagerungen, wie am Beispiel der Sturmfluten im Winterhalbjahr 2021/22 schon erläutert (siehe auch Weilbeer et al. 2021 in „Die Küste“, Heft 89). Da die Elbvertiefung bereits im Vorfeld kontrovers diskutiert wurde und schon immer eine hohe mediale Aufmerksamkeit hatte, war die nun folgende Berichterstattung mit ihren plakativen Schlagzeilen vorhersehbar. Seriöse Quellen berichteten von „Problemen nach der Elbvertiefung“, andere wiederum erklärten die Elbvertiefung für „gescheitert“.

Diese Meinungsäußerungen sind von der BAW als neutrale Gutachterin an sich nicht zu kommentieren, denn sie sind ein Teil des Spiegelbilds der öffentlichen Wahrnehmung. Allerdings stellt sich die Frage, ob nicht auch eine neutrale Gutachterin die Komfortzone verlassen sollte, wenn vermehrt unwahre Behauptungen in den Medien zu vernehmen sind, die die Kompetenz der Ressortforschungseinrichtung BAW anzweifeln. Denn das kann bei Lesern, Zuschauern und Zuhörern Unsicherheit auslösen und ist einer faktenbasierten Diskussion nicht zuträglich.

Bild 3:  
Hochautomatisierte tägliche Vorhersage relevanter Gewässerparameter durch die BAW mit dem operationellen Modell der Deutschen Bucht (GBOM)





Für die BAW ergibt sich daraus eine logische Schlussfolgerung: Das bei der BAW und anderen Institutionen umfangreich vorhandene Fachwissen zu den Verhältnissen und beobachteten Veränderungen in den Lebensräumen der Tideflüsse muss für die Anrainer und die von ungünstigen Veränderungen Betroffenen in verständlicher Form aufbereitet werden. So kann die objektive Beurteilungsfähigkeit der Betroffenen gestärkt und ein durch Fakten begründetes Vertrauen in die Kompetenz der beteiligten Fachbehörden oder der neutralen Gutachter aufgebaut werden. Gleichzeitig sollten Lösungswege aufgezeigt werden, wie der ökologische Zustand des Lebensraums für alle Beteiligten verbessert werden kann. An der Elbe gab es dazu in den vergangenen Jahren bereits einige Dialogprozesse, in denen sich auch die BAW engagiert hat und die nun weitergeführt

werden sollten. Die BAW ist bei der jüngsten Evaluierung durch den Wissenschaftsrat aufgefordert worden, mehr Veröffentlichungen in der Wissenschaftswelt zu platzieren. Das ist für die Anerkennung der wissenschaftlichen Leistungen der BAW in der Wissenschaftswelt zwar hilfreich; den Stakeholdern an der Elbe wäre aber mehr dadurch gedient, wenn darüber hinaus die ohnehin schon sehr komplexen Zusammenhänge in einem Ästuar in allgemeinverständlichen Formaten präsentiert werden. Ein Beispiel dafür ist das Format „Poster“, über das die BAW komplexe Sachverhalte visualisiert und einen ersten Zugang vermittelt ([www.baw.de](http://www.baw.de) unter Publikationen/Poster). Hier wird sich die BAW in Zukunft noch mehr als bisher engagieren und den Prozess der Wissenschaftskommunikation auch auf die Bedürfnisse der Betroffenen vor Ort abstimmen.

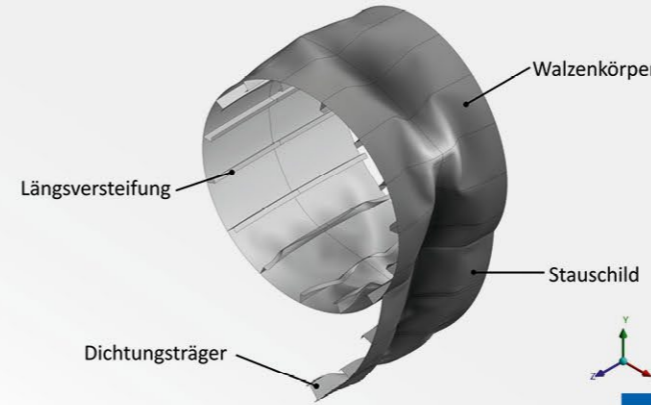
**„Das bei der BAW und anderen Institutionen umfangreich vorhandene Fachwissen zu den Verhältnissen und beobachteten Veränderungen in den Lebensräumen der Tideflüsse muss für die Anrainer und die von ungünstigen Veränderungen Betroffenen in verständlicher Form aufbereitet werden.“**



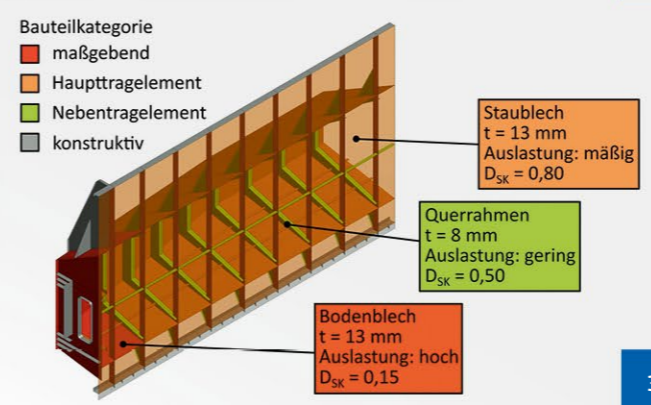




1



2



3

- 1: 100 Jahre alter Wehrverschluss mit defekter Seitendichtung und Bewuchs
- 2: Kollapsaffine Verformung eines Wehrwalzensegments mit ideal-elastischem Werkstoffverhalten
- 3: Exemplarische Darstellung einer Gefahrenkarte für ein Kastenschütz

## Ermittlung der Systemtragfähigkeit unter Berücksichtigung von Schädigungsgraden an Stahlwasserbauten

Die Bundeswasserstraßen sind wichtiger Bestandteil der Verkehrsinfrastruktur in Deutschland. Für deren Betrieb sind unter anderem Wehr- und Schleusenanlagen erforderlich, durch die der Wasserstand geregelt und der Schiffsverkehr ermöglicht wird. Hierfür stehen in den Anlagen Verschlüsse aus Stahl zur Verfügung, die den Erfordernissen entsprechend bedient werden. Auf diese Weise ermöglichen Wehrverschlüsse beispielsweise eine geregelte Fahrrinntiefe sowie einen kontrollierten Hochwasserabfluss. Der zuverlässige Betrieb der Schleusentore wiederum ist für den störungsfreien Schiffsverkehr erforderlich. Aufgrund des hohen Alters vieler dieser Stahlwasserbauten sind umfangreiche Instandsetzungsmaßnahmen notwendig (Bild 1), damit die Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs sowie der Hochwasserschutz auch in Zukunft gewährleistet sein wird. Zur Identifikation des Instandsetzungsumfangs sind Kenngrößen erforderlich, die den aktuellen Zustand der Bauwerke umfassend beschreiben. Neben der qualitativen Beschreibung der Schäden an einem Bauwerk ist die Bewertung der Auswirkungen der Schäden auf die Sicherheit des Bauwerks entscheidend, damit die am stärksten betroffenen Bauwerke für eine Instandsetzung identifiziert werden können und gegebenenfalls den Vorrang erhalten.

Ein Neubau gilt als sicher, wenn die Tragfähigkeit auf Grundlage der aktuellen Normung rechnerisch nachgewiesen werden kann. Für bestehende Stahlwasserbauten enthält das BAW Merkblatt „Bewertung der Tragfähigkeit bestehender Verschlüsse im Stahlwasserbau (TbVS)“ ergänzende Hinweise für z. B. den Umgang mit gealtertem Stahl oder Tragfähigkeitsdefiziten. Die Sicherheit des Bauwerks wird grundsätzlich über die Tragfähigkeitsnachweise der einzelnen Bauteile und die Einhaltung konstruktiver Regeln gewährleistet. Darüber hinaus ergeben sich zwischen den Bauteilen in Abhängigkeit von der konstruktiven Durchbildung Möglichkeiten zur Lastumlagerung, die die Tragfähigkeit des gesamten Tragsystems bestimmen. Je mehr Möglichkeiten zur Lastumlagerung bestehen, desto robuster ist das Tragwerk gegenüber lokalen Schäden und daraus resultierenden Tragfähigkeitsdefiziten. In robusten Bauwerken bleibt somit die Systemtragfähigkeit des Tragwerks trotz lokal begrenzter Beschädigungen erhalten. Ziel des Forschungsprojekts ist die Entwicklung einer Methodik zur Ermittlung der Systemtragfähigkeit und einer darauf aufbauenden Kenngröße für eine tragfähigkeitsbezogene Bewertung des Bauwerkszustands. Durch die Ermittlung der Systemtragfähigkeit lassen sich die Bereiche eines Bauwerks identifizieren, die besonders wichtig für die Tragfähigkeit des Bauwerks sind. Die Kenngröße ergänzt die bisherige Schadensbewertung anhand von Schadensklas-

sen durch eine bauwerksübergreifend vergleichbare Aussage über den Grad der Schädigung eines Bauwerks. Im Rahmen einer Bauwerksinspektion wird durch dieses Wissen die Entscheidungsfindung hinsichtlich des Inspektionsumfangs und der Schadensbewertung erleichtert. Das Forschungsprojekt konnte im Jahr 2022 abgeschlossen werden. Die Ergebnisse liegen als Forschungsbericht vor und werden für anschließende Veröffentlichungen weiter aufbereitet.

Die entwickelte Methodik geht von den normativen Einzelnachweisen an den Bauteilen aus und sieht gem. TbVS eine darauf aufbauende, schrittweise Steigerung der Modellkomplexität vor. Auf diese Weise entsteht ein plausibilisiertes Berechnungsmodell für eine realitätsnahe Einschätzung der Systemtragfähigkeit und deren Auswirkung auf die Beanspruchbarkeit des Tragwerks. In einer Variantenstudie werden dann die maßgebenden Parameter und der Schädigungseinfluss auf die Systemtragfähigkeit ermittelt. Die Systemtragfähigkeit wird mithilfe der Finite-Element-Methode bestimmt, in der neben geometrischer und materieller Nichtlinearität auch geometrische und strukturelle Imperfektionen berücksichtigt werden. Als Vergleichsgröße für die Beanspruchbarkeit dient die Traglast. Die Traglast errechnet sich aus dem Faktor, um den die tatsächlich vorhandene Belastung im Grenzzustand der Tragfähigkeit gesteigert werden kann. Besonders zusammengesetzte, schalenartige Tragwerke mit Längsversteifungen, wie das von einer Wehrwalze mit Stauschild, stellen aufgrund ihres komplexen Beulverhaltens eine Herausforderung für die numerische Simulation dar (Bild 2). Ausgehend von den gewonnenen Erkenntnissen über das Tragwerk werden die Auswirkungen von Schäden durch die gezielte Abänderung der Berechnungsmodelle untersucht. Als Kenngröße dient der Schädigungsgrad  $D$ , der sich aus dem

Vergleich zwischen den Traglastreserven im schadenfreien und im tatsächlichen Zustand errechnet. Je größer die Auswirkung des Schadens auf die Traglastreserve ist, desto höher fällt der Schädigungsgrad aus.

Der Schädigungsgrad eignet sich je nach Fragestellung als Kenngröße für die Bewertung und Klassifizierung einzelner Schäden ( $D_{SK}$ ), für die Zustandsbewertung ganzer Tragwerke ( $D_Z$ ) sowie für die Robustheitsbewertung zur Untersuchung der Auswirkungen von Bauteilausfällen ( $D_{RB}$ ). Durch den Bezug zur Traglastreserve ist der Schädigungsgrad  $D_{SK}$  im Rahmen einer Schadensklassifizierung ein quantitatives Maß für die Auswirkungen eines Schadens und erlaubt somit eine tragfähigkeitsbezogene, nachvollziehbare Bewertung des Schadens. Auf Bauwerkebene berücksichtigt der Schädigungsgrad  $D_Z$  die Systemtragwirkung des Gesamttragwerks. Dadurch werden u. a. die Wechselwirkungen zwischen mehreren Bauteilschäden erfasst. Im Rahmen einer Robustheitsuntersuchung ermöglicht der Schädigungsgrad  $D_{RB}$  schließlich eine Kategorisierung von Bauteilen nach deren Bedeutung für das Tragsystem. Ergänzt durch weitere Ergebnisse aus der Bauwerksanalyse entsteht eine Gefahrenkarte, die ein umfassendes Bild über den Zustand des Bauwerks und die Bedeutung einzelner Bauteile abbildet (Bild 3). Dadurch lassen sich Bauwerksinspektionen auf die für die Systemtragfähigkeit bedeutenden Bauteile fokussieren und zielgerechter planen. Durch die Bereitstellung der entwickelten Methodik zur Ermittlung der Systemtragfähigkeit und der Berechnung des Schädigungsgrads können beauftragte Dritte aussagekräftige und vergleichbare Bewertungen von Bestandsbauwerken liefern.

Die im Rahmen des Forschungsprojekts durchgeführten Untersuchungen an jeweils einem beispielhaften stab-, platten- und schalenbasierten Tragwerk verdeutlichen die Spannbreite der Auswirkungen, die vergleichbare Schadensbilder in Abhängigkeit vom Tragsystem haben können. Im Hinblick auf die Zustandsbewertung von Bauwerken leitet sich daraus die Notwendigkeit einer systematischen Unterscheidung der Bauteile eines Tragwerks hinsichtlich ihrer Tragreserven und Bauteilkategorie ab. Darüber hinaus ermöglicht der Schädigungsgrad als quantitative Kenngröße eine differenzierte Reihung der Bauwerke mit Bezug zu ihrer Schadenstoleranz und Robustheit, wodurch die Entscheidungsfindung bei der Planung von bauwerksübergreifenden Instandsetzungsstrategien erleichtert wird.





1



2



3

## Einfluss von kalklösender Kohlensäure auf die Tragfähigkeit von Verpressankern

Im Zuge von Baugrunderkundungen werden bei den Bauvorhaben und -maßnahmen der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) ortsabhängig immer wieder erhöhte Werte an kalklösender Kohlensäure im Grundwasser festgestellt. Resultierend erfolgt nach DIN 4030 die Einstufung als betonangreifendes Wasser. Bei den Bauvorhaben kommen oftmals Verpressanker und Kleinverpresspfähle, die aus Zementstein beziehungsweise Beton bestehen, zum Einsatz. Beispiele hierfür sind Auftriebssicherungen von Schleusen- und Wehrsohlen, Rückverankerungen von Ufereinfassungen oder auch temporäre Baugrubensicherungen. Die Kraftübertragung der auf Zug lastabtragenden geotechnischen Elemente erfolgt über die Mantelfläche des Verpresskörpers in den Baugrund.

Der chemische Angriff durch die kalklösende Kohlensäure wirkt lösend und erfolgt in einem zweistufigen Prozess, bei dem die calcitischen Bestandteile der Bindemittelmatrix mit dem freien, überschüssigen Kohlenstoffdioxid des Wassers reagieren. Zunächst bildet überschüssiges Calciumhydroxid in der Bindemittelmatrix mit der freien Kohlensäure Calciumcarbonat. Diese Reaktion wird als Carbonatisierung bezeichnet, wobei sich das Material verfestigt. Im weiteren Verlauf wird das gebildete und schwer lösliche Calciumcarbonat in wasserlösliches Calciumhydrogencarbonat umgewandelt. Mit fortschreitender Zeit dringt die Reaktions-

front, die zeitlich versetzt läuft, tiefer in den Verpresskörper ein. Dieser lösende Angriff führt zu einer Veränderung in der Kontaktzone Boden-Zementstein/Beton, infolgedessen die Tragfähigkeit der Verpressanker beziehungsweise Kleinverpresspfähle abnehmen kann.

Bei Existenz von erhöhten Werten an kalklösender Kohlensäure ( $\text{CO}_2 > 15 \text{ mg/l}$ ) ist das Vorgehen bei der Verwendung von Verpressankern durch die DIN TS 18537 in Verbindung mit der DIN EN 1537 geregelt. Eine Zuordnung der Grenzwerte erfolgt nach DIN 4030, bei der die Angriffsgrade in die drei Expositionsklassen schwach angreifend (XA1), stark angreifend (XA2) und sehr stark angreifend (XA3) unterteilt werden. Weiterhin wird nach der Verwendungszeit zwischen temporärer (< 2 Jahre) und dauerhafter (> 2 Jahre) Nutzung unterschieden. In Abhängigkeit des Angriffsgrades und der Nutzungsdauer ist der Einsatz von Verpressankern durch einen Betonsachverständigen, der die zeitabhängige Abminderung der Tragfähigkeit beurteilen muss, zu bestätigen. Aufgrund einer nicht ausreichenden Datenlage ergeben sich Schwierigkeiten, die tatsächlichen Auswirkungen des chemischen Angriffs auf den Zementstein bzw. Beton bezüglich der Tragfähigkeitsveränderung zu bewerten. Als Konsequenz müssen alternative Konstruktionen (z. B. Stahlrammprofile) verwendet werden. Zumeist sind diese Umplanungen mit Kostensteigerungen, höheren

Lärmbelastigungen, größeren Erschütterungen und längeren Bauzeiten verbunden.

Im Rahmen eines in drei Teile gegliederten Gesamtvorhabens wird in diesem Teilprojekt die Grenztragfähigkeit der geotechnischen Elemente unter der Einwirkung eines chemischen Angriffs untersucht:

- Einwirkungen von chemischen Substanzen aus dem Grundwasser,
- Widerstand des Zementsteins bzw. Betons gegenüber dem chemischen Angriff,
- Veränderung des Tragverhaltens aufgrund der Veränderung der Bindemittelmatrix.

Hierbei werden sowohl großmaßstäbliche Laborversuche (Bild 1) wie auch in-situ-Versuche (Bild 2) durchgeführt. Die Gliederung in Teilprojekte ermöglicht eine gesamtheitliche Betrachtung mit entsprechender Fachexpertise.

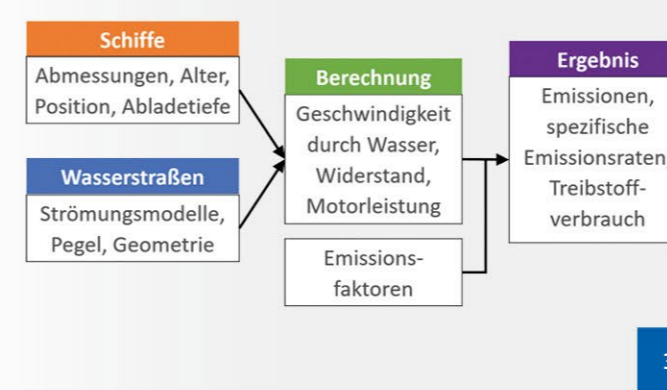
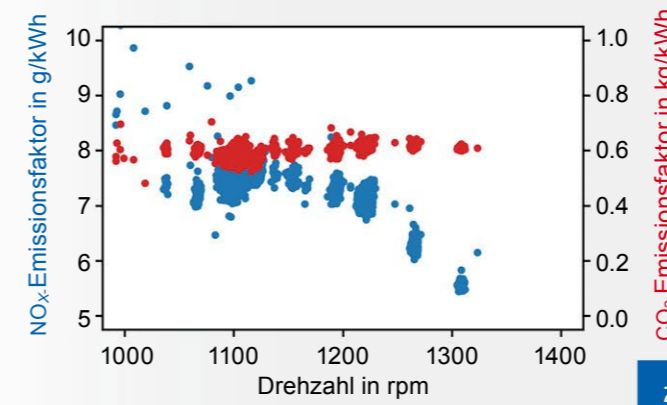
Ein Ziel des Forschungs- und Entwicklungsprojektes (FuE-Projekt) ist die Untersuchung der Änderung der Tragfähigkeit von Verpressankern infolge des kalklösenden Kohlensäureangriffs unter möglichst realistischen Randbedingungen. Bisher wurden nur wenige Versuchsreihen durchgeführt, die aufgrund ihrer unterschiedlichen Randbedingungen, wie Herstellung und Verpresskörperdimensionen, nicht vergleichbar sind. Die Ergebnisse dieser durchgeführten Versuchsreihen weisen eine Abnahme der Tragfähigkeit in den ersten Monaten auf, die mit fortschreitender Dauer des chemischen Angriffs verlangsamt wird. Die Tragfähigkeitsverluste liegen nach einer Dauer von rund zwölf Monaten bei 20 bis 80 Prozent. Im Zuge der aktuellen Untersuchungen sollen diese Ergebnisse verifiziert und gewonnene Erkenntnisse für die Bau-praxis genutzt werden.

- 1: Versuchsstand für Langzeituntersuchungen hinsichtlich der Tragfähigkeitsentwicklung von großmaßstäblichen Modellankern unter dem Einfluss von kalklösender Kohlensäure  
2: Ankerzugversuch an einem Forschungsanker an der Schleusanlage Gleesen (Dortmund-Ems-Kanal)  
3: Übersicht laufender Baumaßnahmen der WSV mit einem chemischen Angriff durch kalklösende Kohlensäure im Grundwasser

Begleitend zu betroffenen Baumaßnahmen (Bild 3) konnten an den Schleusen Gleesen und Bevergern (beide Dortmund-Ems-Kanal) wiederholte Prüfungen an Verpressankern durchgeführt werden. Das Wasser aus naheliegenden Grundwassermessstellen wurde labortechnisch analysiert und hinsichtlich des Angriffsgrades mit XA1 bis XA2 eingestuft. Die Litzenanker in Bevergern wurden 2011 und 2018 jeweils bis zum Bruch geprüft. Die Einstabanker in Gleesen wurden von 2017 bis 2021 jährlich nach gleichbleibendem Prüfschema belastet. Bei allen wiederholten Prüfungen zeigen die erreichten Belastungsstufen sowie die Entwicklungen des Kriechmaßes keine Anhaltspunkte, dass die Tragfähigkeit aufgrund des lösenden Angriffs der kalklösenden Kohlensäure reduziert wird.

Für die Modellanker, die einen Durchmesser von rund neun Zentimetern und eine Höhe von 40 Zentimetern besitzen, stehen nach einer Entwicklungsphase seit Ende 2020 insgesamt sieben Großcontainer für die Untersuchungen zur Verfügung. Seit November 2020 laufen verschiedene Langzeituntersuchungen mit einem Angriffsgrad von XA3. Wichtige Aspekte bei den Großversuchen sind die Verpressung der Ankerkörper, ein direkter chemischer Angriff und eine durchgehende, gleichbleibende Bodenspannung. Die bisherigen Versuche an großmaßstäblich hergestellten Modellankern wurden in einem Mittel- bis Grobsand durchgeführt. Nach drei-, sechs- sowie zwölfmonatiger Einwirkung von Wasser mit kalklösender Kohlensäure erfolgte die Ankerprüfung zur Bestimmung des Herausziehwidestands sowie anschließenden Folgeuntersuchungen am Zementstein. Als Referenzwerte dienen die Ergebnisse von Ausziehversuchen an sieben Tage alten Verpressankern ohne chemischen Angriff. Bei der bisherigen Lagerungsdauer von bis zu zwölf Monaten wurden keine signifikanten Tragfähigkeitsverluste bis zum Bruchversagen ermittelt. Unterschiede gegenüber den Nullversuchen ergeben sich aber sowohl bei den Durchmessern als auch bei der Oberflächenbeschaffenheit der Verpresskörper. Der Durchmesser nimmt in Relation zu den Nullversuchen im oberen Bereich über die Zeit bis maximal 0,1 mm zu. Im Gegensatz dazu ist im unteren Bereich eine Verringerung des Durchmessers bis maximal 0,4 mm zu erkennen, welche auf den Angriff der kalklösenden Kohlensäure auf die Zementsteinoberfläche aus dem von unten nach oben strömenden Wasser zurückzuführen ist. Erkennbar ist dies auch an einer zeitlich voranschreitenden Reduktion der Oberflächenrauheit des Zementsteins und weniger anhaftenden Sandkörnern in Fließrichtung. Im weiteren Verlauf des FuE-Projektes wird eine Versuchsdauer von bis zu sechs Jahren angestrebt, um bauzeitliche Aussagen bezüglich der Änderung der Grenztragfähigkeit treffen zu können.





- 1: Emissionsmessung im Maschinenraum eines Binnenschiffes
- 2: Emissionsfaktoren für Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und Stickoxid (NO<sub>x</sub>) in Abhängigkeit der Motordrehzahl
- 3: Ablaufstruktur zur Modellierung der Emissionsraten entlang von Binnenwasserstraßen

## Binnenschiffsemissionen: Modellierung und Messung unter realen Bedingungen

Auf dem UN-Klimagipfel 2015 in Paris wurde das sogenannte Zwei-Grad-Ziel beschlossen: Die globale Erwärmung soll bis zum Jahr 2100 gegenüber der vorindustriellen Zeit auf weniger als 2 Grad begrenzt werden, um die negativen Auswirkungen des Klimawandels zu reduzieren. Als wesentliche Ursache für die globale Erwärmung werden anthropogene Treibhausgasemissionen angesehen, an denen der Verkehrssektor einen signifikanten Anteil hat. Zusätzlich verursacht der Verkehr gesundheitsschädliche Schadstoffemissionen. Für zielführende Strategien zur Minderung der verkehrsbedingten Emissionen gilt es zunächst, das Potenzial von Minderungsmaßnahmen in Szenarien zu berechnen und zu bewerten. Hierfür ist es erforderlich, den Status Quo der aktuellen Emissionssituation möglichst präzise zu erfassen. Wie groß der Beitrag aus der per se klimafreundlichen Binnenschifffahrt ist und durch welche Maßnahmen sich dieser weiter reduzieren lässt, wird derzeit an der BAW mithilfe von Messungen und Modellierungen untersucht.

Bislang gibt es nur wenige Studien zu Emissionen der Binnenschifffahrt. Die Modellierung erfordert Kenntnisse zum Schiffsverkehr sowie zu strecken- oder leistungsbezogenen Treibstoff- und Emissionsfaktoren. Derzeit beruhen diese meist auf Verkehrsstatistiken und Prüfstandsmessungen. Letztere werden üblicherweise

im Rahmen der Motorenzulassung von den Herstellern durchgeführt und folgen standardisierten Zyklen mit unterschiedlichen Drehzahlen und Belastungen des Motors. Von den realen Bedingungen während des Betriebs auf den Wasserstraßen können diese Zustände jedoch deutlich abweichen. Aus diesem Grund führt die BAW eigene Messungen sogenannter Real-Driving-Emissions (RDE) an Bord von Binnenschiffen durch, sowohl im unbeeinflussten Fahrbetrieb als auch unter definierten Lastbereichen. Auf Basis dieser Messungen können bisherige Annahmen zu den Mittelwerten der Emissionsfaktoren und deren Varianz bestätigt oder widerlegt und präzisiert werden.

Die Messungen erfolgen direkt am Abgasrohr. Bild 1 zeigt den Aufbau der Messinstrumente im Maschinenraum eines Großmotorgüterschiffes. Infrarot- und Ultraviolett-Gasanalytoren sowie ein Flammenionisationsdetektor messen kontinuierlich die Konzentration des Treibhausgases Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und der Luftschadstoffe Kohlenmonoxid (CO), Stickoxid (NO<sub>x</sub>) und Kohlenwasserstoff (HC). Die Konzentration der Partikelmasse (PM) wird kontinuierlich mittels einer photoakustischen Methode sowie gravimetrisch, d. h. über die Abscheidung der Partikel auf Filter mit anschließender Wägung im Labor, erfasst. Mithilfe der parallel dazu aufgezeichneten

Betriebsbedingungen des Motors, wie Motorleistung, -drehzahl und Treibstoffverbrauch, werden Emissionsfaktoren abgeleitet. Während der leistungsbezogene Emissionsfaktor für CO<sub>2</sub> mit 0,6 kg/kWh nahezu konstant ist, variieren die anderen Emissionsfaktoren mit der Drehzahl (Bild 2). Die CO- und NO<sub>x</sub>-Emissionsfaktoren weisen dabei eine gegenläufige Abhängigkeit auf. Deshalb lassen sich mit einer Drehzahlanpassung nicht alle Emissionsfaktoren gleichzeitig minimieren.

Der Energiebedarf und die Emissionen des Binnenschiffverkehrs werden mit der Erneuerung der Flotte und der vermehrten Anwendung technischer Lösungen, wie z. B. Emissionsanlagen, Abgasnachbehandlungen oder alternative Antriebe, sinken. Daher werden sich in Zukunft sowohl die Emissionswerte insgesamt als auch die Emissionsfaktoren deutlich ändern. Die BAW begleitet diese Entwicklung sowohl mit On-Board-Messungen als auch mithilfe von Modellen, die die Auswirkungen der unterschiedlichen Maßnahmen vorab simulieren.

Die BAW hat ein Modell entwickelt, welches den Treibstoffbedarf und die Emissionen von Binnenschiffen mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung abbildet. An jedem Punkt einer beobachteten Schiffstrajektorie oder vorgegebenen Route werden der Schiffswiderstand, die erforderliche Leistung und der Schadstoffausstoß mit leistungsbezogenen Emissionsfaktoren berechnet (Bild 3). Die Integration einer Vielzahl dieser Punktwerte ermöglicht z. B. eine Darstellung der Binnenschiffsemissionen entlang einer Wasserstraße in Form von abschnittsbezogenen Emissionsraten.

Als Grundlage zur Beschreibung des Schiffsverkehrs dienen Informationen des automatischen Identifikationssystems (AIS) mit Angaben zu Positionen, Kursen und

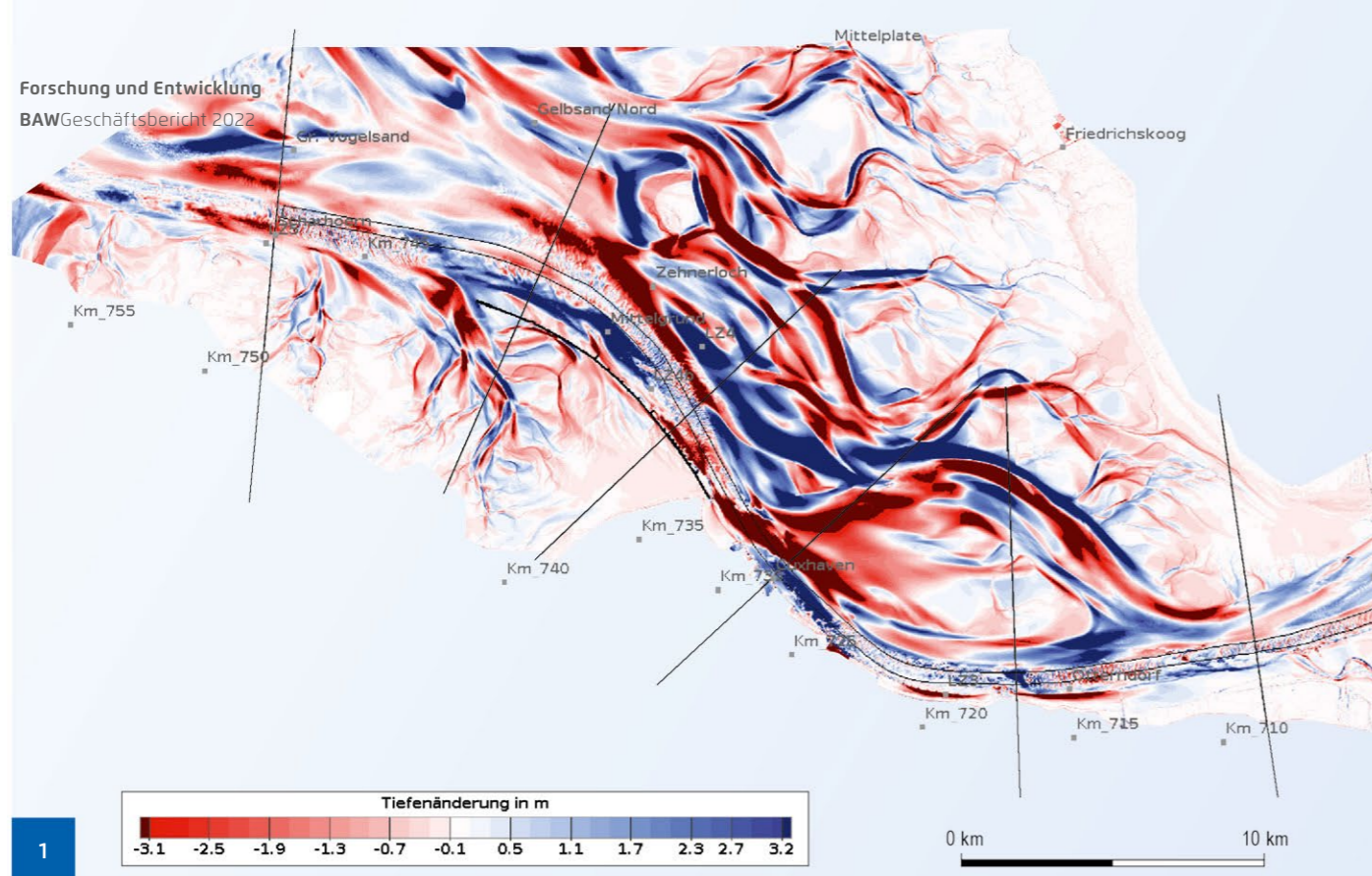
Abmessungen. Diese werden mit den Angaben der Schiffsdatenbank des IVR-Registers (Internationale Vereinigung des Rheinschiffsregisters) abgeglichen und u. a. um Schiffs- und Motorbaujahr ergänzt. Die Plausibilität der via AIS übermittelten Abladetiefe wird hinsichtlich der Größenklasse des Schiffs sowie der tagesaktuellen minimalen Wassertiefe entlang der befahrenen Strecke geprüft.

Neben den statischen und dynamischen Schiffsdaten sind zusätzlich die Wasserstraßen- und etwaigen Strömungsbedingungen entlang der Trajektorien und Routen von Bedeutung. Während die Wassertiefen in Stauhaltungen nahezu konstant und die Fließgeschwindigkeiten vernachlässigbar sind, werden diese Informationen für freifließende Flüsse in Strömungsmodellen der BAW mithilfe von tagesbezogenen Pegelwerten der Bundesanstalt für Gewässerkunde interpoliert. Die Strömungsdaten dienen der Bestimmung der Schiffsgeschwindigkeit durch Wasser und diese wiederum der präzisen Berechnung der Kräfte, die auf die überwiegend im Flachwasser fahrenden Schiffe wirken. Das Verhältnis von Wasser- zu Abladetiefe und die Schiffsgeschwindigkeit beeinflussen hierbei maßgeblich den Schiffswiderstand.

Aus dem modellierten Widerstand, den ein Schiff zur beobachteten Bewegung überwinden muss, lässt sich unter Berücksichtigung von Effizienzbeiwerten die dazu erforderliche Leistung berechnen. Aus dem Produkt der erbrachten Motorleistung und den altersabhängigen Faktoren ergeben sich schließlich der Treibstoffverbrauch und die verursachten Emissionen für CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, HC und PM.

Die Anwendung des Modells soll an einem Beispiel für eine betriebliche Maßnahme zur Minderung von Emissionen verdeutlicht werden. Im Rahmen einer Untersuchung zur intelligenten Schleusenzulaufsteuerung konnte gezeigt werden, dass sich durch Reduzierung der Fahrgeschwindigkeit lange Wartezeiten vor Schleusen vermeiden lassen. Mit dem Szenario, dass ein 2,5 m abgeladenes, 80 m langes Europaschiff auf dem Wesel-Datteln-Kanal zur Vermeidung einer insgesamt 1,5 h dauernden Wartezeit vor Schleusen mit 8 km/h statt 10 km/h Reisegeschwindigkeit fährt, lassen sich ca. 61 kg Treibstoff einsparen und 195 kg CO<sub>2</sub>-Emission vermeiden. Das entspricht einer Reduzierung um jeweils 36 %. Die Auswirkungen solcher betrieblichen, aber auch technischen Minderungsmaßnahmen werden mit dem neuen Emissionsmodell derzeit untersucht.





1

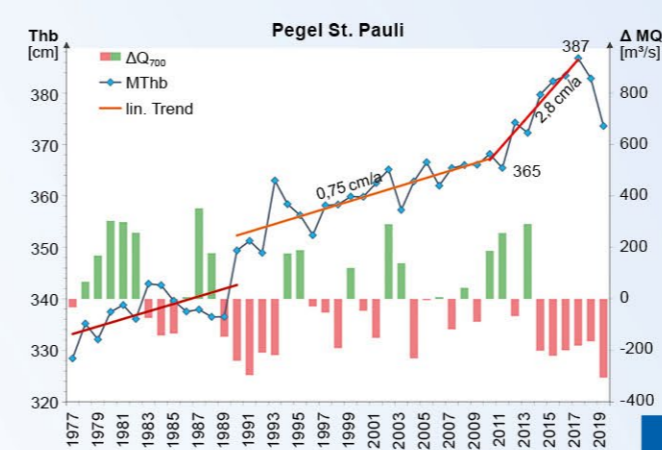
## Simulation und Analyse der hydro- und morphologischen Entwicklung der Tideelbe (2013 bis 2018)

„... In den Jahren von 2013 bis 2018 gab es in der Tideelbe verschiedene auffällige hydrologische und morphologische Veränderungen. Im Hamburger Hafen, aber auch im Fahrrinnenabschnitt von Wedel bis Juellstrand sowie in den Nebenbereichen und Häfen entlang der Tideelbe stiegen die Unterhaltungsbaggermengen an feinkörnigen Sedimenten ungewöhnlich stark an. Beobachtet wurden zudem deutlich erhöhte Sedimentationsraten sowie in einzelnen Gewässerbereichen ein Wandel im Sedimentinventar, verbunden mit einer Glättung morphologischer Sohlstrukturen. Gleichzeitig waren Veränderungen im Wasserstands- und Strömungsgeschehen auffällig. Der Tidehub stieg insbesondere im inneren Ästuar ungewöhnlich stark an und die Messstationen registrierten einen Anstieg der Strömungsgeschwindigkeiten sowie eine Erhöhung der Trübung. Für die beschriebenen Veränderungen im Tideelbesystem sind nach derzeitigen Erkenntnissen morphologische Veränderungen – insbesondere im Mündungstrichter – ursächlich, die durch die Folgen der seit Sommer 2013 anhaltenden Phase unterdurchschnittlich niedriger Oberwasserzuflüsse überlagert und durch ein auf diese Entwicklung unzureichend angepasstes Sedimentmanagement verstärkt werden ...“<sup>1</sup>.

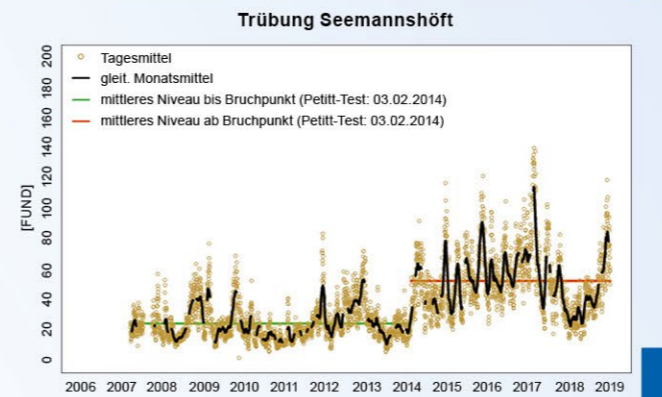
Die dargelegte Entwicklung in der Tideelbe war der Anlass für eine gewässerkundliche Analyse der beobachteten Veränderungen. Eine Arbeitsgruppe, bestehend aus Beschäftigten

der Wasser- und Schifffahrtsstraßenverwaltung des Bundes (WSV), der Hamburg Port Authority (HPA), der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) und der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), nahm dazu 2017 die Arbeit auf. Dabei wurde nicht nur der aktuelle hydrologische und morphologische Zustand der Tideelbe (Bilder 1-3) mitsamt der seit 2013 eingetretenen Veränderungen dokumentiert, sondern auch ein gemeinsamer, institutionsübergreifender Beitrag zur Weiterentwicklung des Prozess- und Systemverständnisses und der fachlichen Grundlagen für das Sedimentmanagement geleistet. Die Arbeit der AG Sedimentmanagement wurde zunächst mit einem gewässerkundlichen Bericht dokumentiert und schließlich in aktualisierter Form in „Die Küste“ veröffentlicht<sup>1</sup>.

Auf der Grundlage dieser Untersuchungen wurde das über das KFKI finanzierte Verbund-Forschungsprojekt ELMOD ins Leben gerufen. Das übergeordnete Ziel von ELMOD besteht darin, das Systemverständnis hinsichtlich der Sedimenttransportprozesse in Ästuaren und Küstenseen weiter zu vertiefen und die Prognosefähigkeit von dreidimensionalen hydro- und morphodynamischen Modellen zu verbessern. Die vorliegenden Analysen von Messdaten werden durch umfassende Modellierungsarbeiten ergänzt. Flankiert wird diese Anwendung von erforderlichen modelltechnischen Weiterentwicklungen, von auf die



2



3

Modellentwicklung abgestimmten experimentellen Untersuchungen und Messungen in der Natur und von weiteren Analysen gemessener Daten aus dem Untersuchungszeitraum.

Das Forschungsprojekt wird von drei Institutionen durchgeführt: i) Institut für Wasserbau der Technischen Universität Hamburg (TUHH, Prof. Fröhle und Dr. Nehlsen), ii) Institut für Wasserwesen der Universität der Bundeswehr München (UniBw, Prof. Malcherek) und iii) Bundesanstalt für Wasserbau – Hamburg (BAW, Dr. Kelln und Dr. Weilbeer). Die BAW bearbeitet das **Teilprojekt 1 „Modellanwendung und Parameterbestimmung“**. In diesem Teilprojekt werden verschiedene hydrologische Episoden aus dem Zeitraum von 2013-2018 simuliert und analysiert. Integrale Kontrollgrößen zum Vergleich mit beobachteten Veränderungen sind bekannte morphologische Entwicklungen, aber auch ein Vergleich der vom Modell berechneten Unterhaltungsbaggermengen mit den bekannten Mengen aus diesen Jahren. Die UniBw bearbeitet das **Teilprojekt 2 „Modellbildung und Parametrisierung“**. Hier werden Modellansätze für Turbulenz, Sinkgeschwindigkeit, Deposition, Konsolidierung, Erosion und Geschiebetransport unter Berücksichtigung von topographischen Informationen unterhalb der Netzauflösung (Subgrid) angepasst. Die TUHH führt im **Teilprojekt 3 „Messungen in der Natur und experimentelle Untersuchungen im Labor“** durch. Der Fokus liegt auf Messungen des sohlnahen Schwebstoffgehaltes und der Konsolidierungsprozesse in einem Tidezyklus an unterschiedlichen Sedimentationsschwerpunkten in der Natur und deren Nachbildung im Labor zwecks systematischer Untersuchungen. Bild 3 veranschaulicht die Vernetzung der Teilprojekte.

Es wurden bereits viele gewässerkundliche Daten zusammengetragen, analysiert und Zusammenhänge entdeckt,

1: Differenztopographie der digitalen Geländemodelle 2010–2016 im Bereich der Elbmündung. Rot: 2016 flacher, blau: 2016 tiefer<sup>1</sup>

2: Entwicklung des Tidehubs am Pegel St. Pauli sowie Abweichungen des jährlichen mittleren Abflusses MQ1 am Pegel Neu Darchau vom langjährigen Mittelwert MQ30 ~700m³/s<sup>1</sup>

3: Entwicklung der oberflächennahen Schwebstoffgehalte (Tagesmittelwerte) an der Gewässergütemessstelle Seemannshöft (betrieben durch das Hamburger Hygiene-Institut) seit 2007<sup>1</sup>

die nun auch mit einem Modell nachvollzogen und räumlich höher aufgelöst werden sollen. Dazu zählen der Austrag von Feinstsedimenten mit dem hohen Oberwasserzufluss 2013, die darauf folgenden Sturmfluten 2013 und deren Einfluss auf die morphologische Entwicklung der Elbmündung, der Stromauftransport von Feinstsedimenten nach den Sturmfluten 2013 sowie der Anstieg der Baggermengen im Bereich Wedel/Hamburg seit 2014 infolge niedrigen Oberwasserzuflusses und dem für die Unterhaltung der Fahrrinne und Hafenbecken praktizierten Baggern und Verbringen.

In dem Verbundprojekt wird sich die BAW hauptsächlich mit der Simulation und Analyse langer Zeiträume befassen – zunächst einige Wochen/Monate, später – am Ende des Projektes – mehrere Jahre bis hin zu dem 6-Jahreszeitraum. Die in den Modellen UnTRIM und SediMorph unter Berücksichtigung von Subgrid-Informationen verwendeten Ansätze für Turbulenz, Sinkgeschwindigkeit, Konsolidierung etc. werden dabei für das Setup des Elbmodells für verschiedene Episoden aus dem Zeitraum von 2013-2018 in ihrer kurz-, mittel- und langfristigen Wirkung überprüft, ggf. neu parametrisiert oder aufgrund neuer Erkenntnisse aus den Teilprojekten 2 und 3 angepasst.

Das aus dem Vorhaben zu erwartende, verbesserte System- und Prozessverständnis, sowie die erweiterten Modellansätze und Modelle liefern den assoziierten Partnern (WSV, HPA, BfG) unmittelbar wichtige Informationen zur Optimierung des Sedimentmanagements im Elbeästuar. Mit einem Modell, das den Sedimenttransport in der Tideelbe für alle Sedimentfraktionen so gut zu modellieren vermag, dass Baggerbereiche und -mengen räumlich und quantitativ naturnäher berechnet werden können, steht den Systemverantwortlichen ein unverzichtbares Werkzeug zur Verfügung, mit dem verschiedene Handlungsoptionen des Sedimentmanagements im Hindcast, operationell im Nowcast oder in einem Planungsprozess hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Tidedynamik und die Entwicklung des Sedimentinventars und resultierender Baggermengen analysiert werden können.

<sup>1</sup> Weilbeer, Holger; Winterscheid, Axel; Strotmann, Thomas; Entelmann, Ingo; Shaikh, Suleman; Vaessen, Bernd (2021): Analyse der hydrologischen und morphologischen Entwicklung in der Tideelbe für den Zeitraum von 2013 bis 2018. 73. DOI: 10.18171/1.089104.



# Die Bundesanstalt für Wasserbau

- Das Jahr 2022
- Wissensmanagement – aktiv gestaltet
- Daten und Fakten
- Anhang



Sparbeckenlauf in das Grundlaufsystem der  
Schleuse Hohenwarthe während der Trockenlegung





# Das Jahr 2022



Bau der fünften Schleusenkammer Brunsbüttel (Nord-Ostsee-Kanal)

Neubau der Schleuse Gleesen (Dortmund-Ems-Kanal)





# Das Jahr 2022

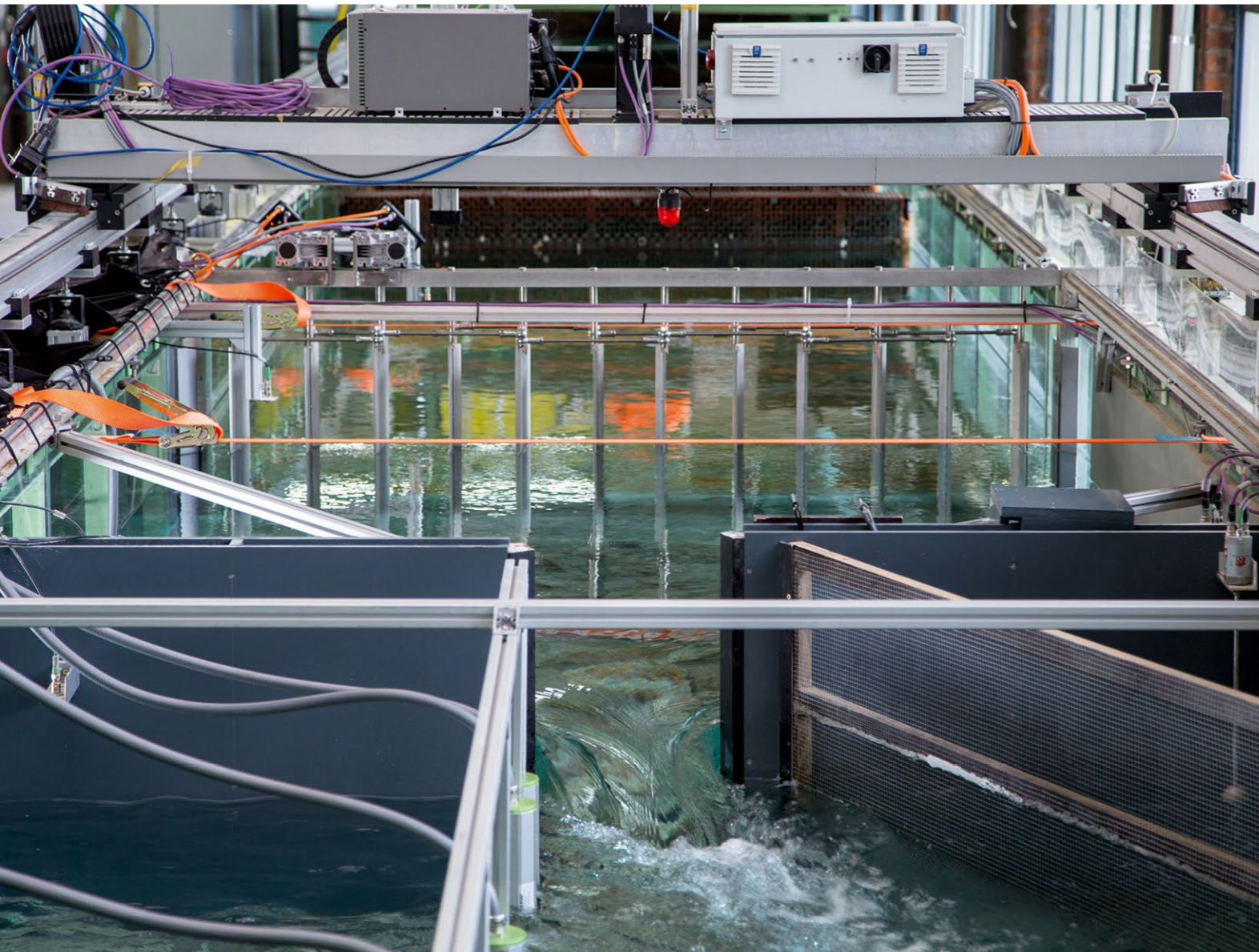
Nahegrund während des Rhein-Niedrigwassers



Kemptener Fahrwasser während des Rhein-Niedrigwassers

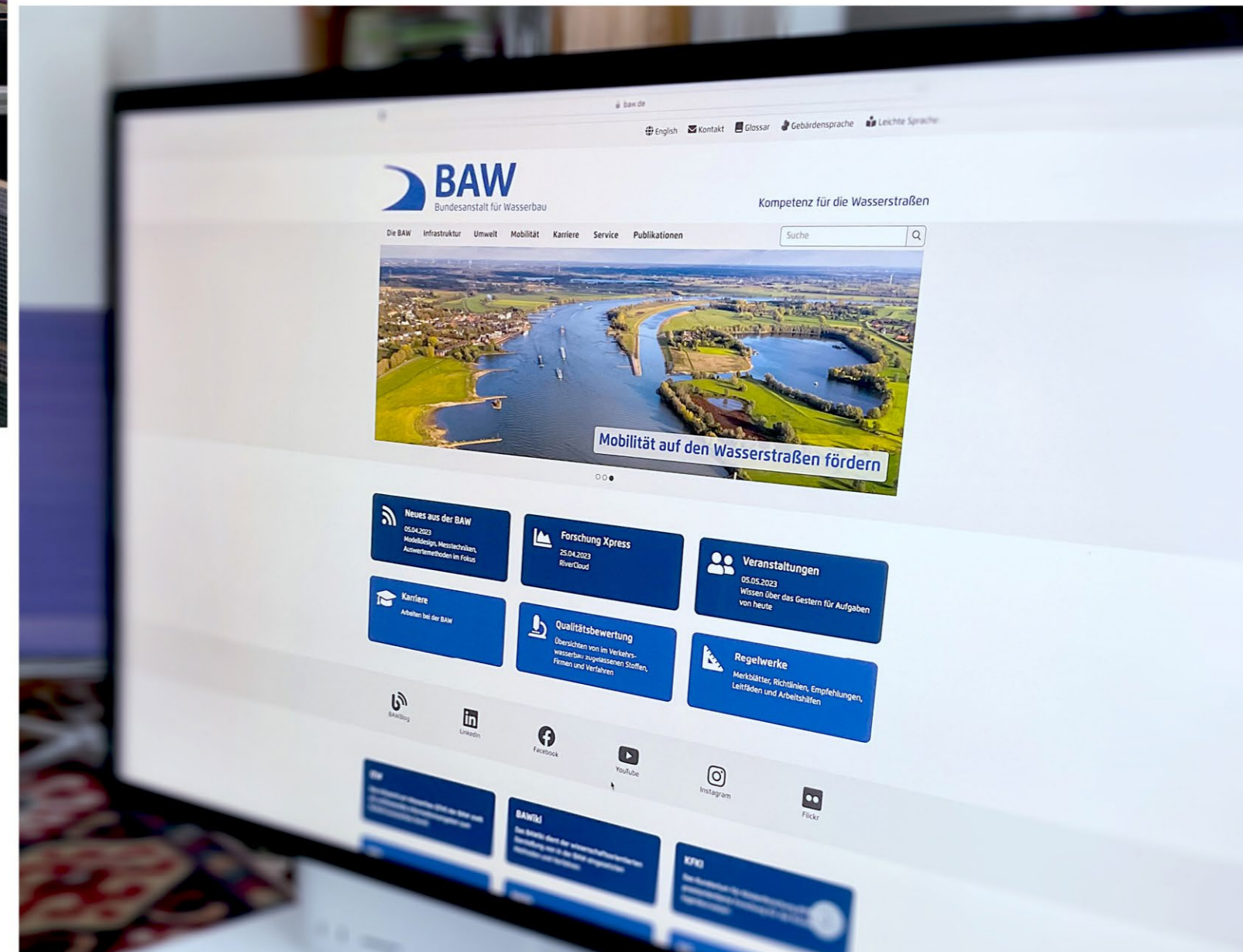


# Das Jahr 2022



Versuchsstand für Untersuchungen zur ökologischen Durchgängigkeit

## Relaunch der BAW-Website





# Das Jahr 2022



BAWProjektreport zur Abladeoptimierung der Fahrrinnen des Mittelrheins

BAWMitteilungen zum Neubau des Schiffshebewerks Niederfinow



BAWMitteilungen zum Neubau des Schiffshebewerks Niederfinow



## Das Jahr 2022

### Bau von drei Mehrzweckschiffen für die Nord- und Ostsee



Auftritt der BAW bei der Schiffbaumesse SMM



# Wissensmanagement – aktiv gestaltet

Eigene und externe Wissensquellen zu sichern bzw. zu akquirieren, diese zu erschließen, dauerhaft zu sichern und dabei laufend zu aktualisieren, gehört zu den Kernaufgaben unseres aktiven Wissensmanagements. Ausgerichtet auf das Ziel, den Wissensfundus für Praxis, Forschung und Lehre als aktuelles, hochwertiges und umfassendes Fachinformationsportfolio bereit zu stellen. Die BAW verfolgt dabei in ihrer Informationsstrategie konsequent den Open-Access Gedanken und stellt, wo immer möglich, die digitalen Angebote kostenfrei zur Verfügung.



## IZW-PORTAL: Fachinformationen für Praxis, Forschung und Lehre

Über das IZW-Portal stehen Wissenschaft, Ingenieurbüros, Verwaltung, Politik und Gesellschaft verkehrswasserbauliche Informationen öffentlich und zielgruppenorientiert zur Verfügung. Verwaltungsinterne Informationen, lizenzierte Medien und Datenbanken sind für BAW- und WSV-Beschäftigte über einen passwortgeschützten Bereich zugänglich.

Zu den wichtigen Bausteinen des Gesamtportfolios zählen das Fachrepositorium HENRY, das IZW-Medienarchiv mit seinen umfangreichen Bildbeständen sowie das ‚Technische Regelwerk - Wasserstraße (TR-W)‘ als Übersichtsinstrumentarium der im Verkehrswasserbau und den damit zusammenhängenden Anwendungsbereichen maßgebenden technischen Regeln für Planung und Bau. TraVis stellt Gütermengen der

Binnen- und Seeschifffahrt sowie Flottenstrukturen der Binnenschifffahrt auf den Strecken des Bundeswasserstraßennetzes für das Analysejahr 2010 und das Prognosejahr 2030 bereit. PRINS bietet einen Überblick über die Projekte des Bundesverkehrswegeplans 2030 im Bereich ‚Wasserstraße‘. Aktuelle Meldungen zu Veranstaltungen, Publikationen und Informationsangeboten runden das Angebot ab.

## HENRY: Open-Access-Publikationen für die Praxis

Das Hydraulic Engineering Repository (HENRY) ist das offene Fachrepositorium für den Wasserbau. Die von der BAW betriebene Publikationsplattform wird seit 2017 über den Portalbereich des Infozentrum Wasserbau angeboten und umfasst mittlerweile über 10.000 Fachpublikationen. Die Inhalte setzen sich aus BAW-eigenen Veröffentlichungen sowie aus Beiträgen anderer Institutionen zusam-

men, die zum Themengebiet Wasserbau und angrenzenden Fachgebieten forschen. In den letzten Jahren konnten zahlreiche nationale und internationale Kooperationspartner gewonnen werden, die ihre Fachpublikationen, Artikel, Zeitschriften und Reports in HENRY zur Verfügung stellen.

Beim Einstellen ins Repository wird ein persistenter Link erzeugt, der eine Archivierung aller Publikationen gewährleistet. Die intuitive Bedienung über den Suchschlitz und die offene -CC BY-Lizenz für die Mehrzahl der angebotenen Dokumente ermöglichen Wissenschaftlern, Ingenieuren und Studierenden einen niedrigschwelligen Zugang zu Information und Wissen.

Der vertrauenswürdige und leistungsstarke Service im Bereich des elektronischen Publizierens wurde durch die Zuteilung des DINI-Zertifikates 2019 bestätigt.

## IZW-CAMPUS: E-Learning auf multimedialer Basis

Die Angebote sind speziell auf die Arbeit der Ingenieurinnen und Ingenieure der WSV und auf die Bedarfe der Beschäftigten der BAW zugeschnitten. Viele E-Learning-Einheiten in IZW-Campus wurden gemeinsam mit den Fachexperten aus BAW und WSV entwickelt.

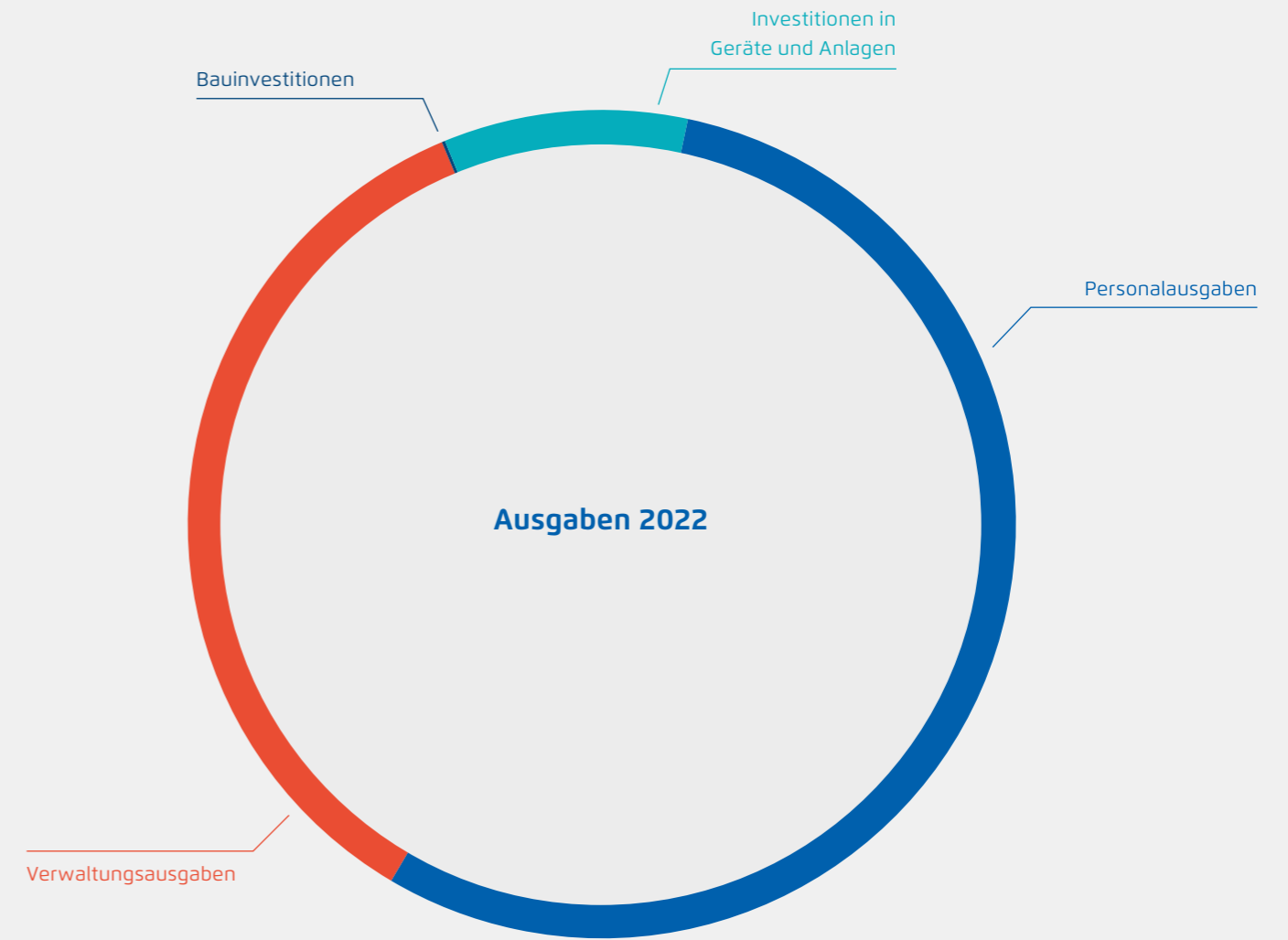
Der Wissenstransfer erfolgt über vielfältige Formate, wie z. B. Lernvideos, Visualisierungen, Best-Practice-Beispiele oder Mitschnitte von Vorträgen, sodass die Nutzung von IZW-Campus individuell in den Arbeitsalltag integriert werden kann und das neu erworbene Wissen direkt einsetzbar ist. Zudem werden über IZW-Campus auch die virtuellen Veranstaltungen der BAW organisiert.



# Daten & Fakten

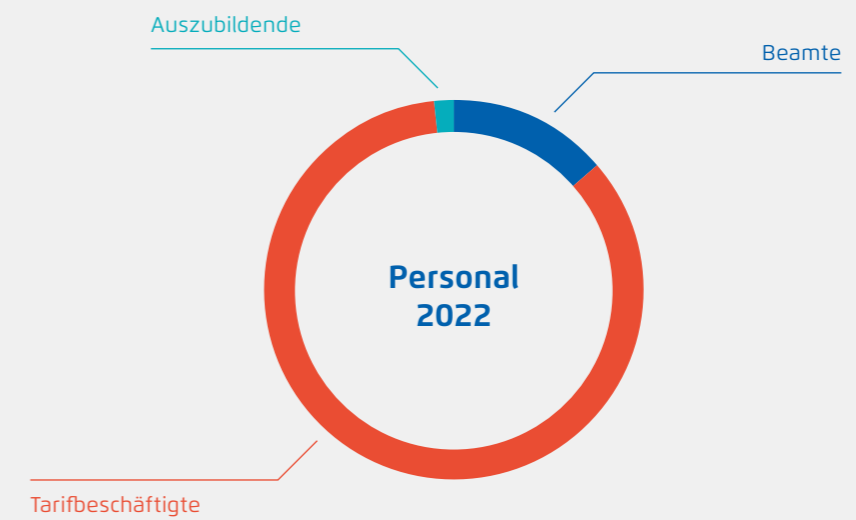
## Ausgaben und Einnahmen

	2020	2021	2022
Personalausgaben	32.919.268 €	34.515.371 €	34.646.790 €
Verwaltungsausgaben	19.222.248 €	20.652.199 €	22.104.308 €
Bauinvestitionen	525.623 €	251.895 €	76.348 €
Investitionen in Geräte und Anlagen	6.725.985 €	4.424.089 €	5.983.809 €
<b>Gesamtausgaben</b>	<b>59.393.124 €</b>	<b>59.843.554 €</b>	<b>62.811.255 €</b>
Einnahmen aus Drittmittelprojekten	2.716.238 €	2.910.848 €	2.736.334 €



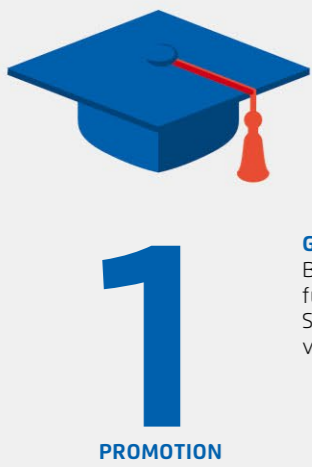
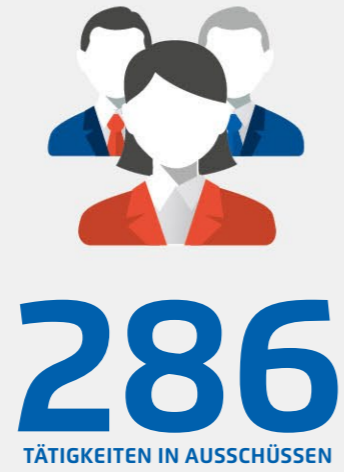
## Personal

	2020	2021	2022
Beamte	63	63	66
Tarifbeschäftigte*	420	418	404
Auszubildende	11	10	7
<b>Beschäftigte gesamt</b>	<b>494</b>	<b>491</b>	<b>477</b>
*davon befristet Beschäftigte (ohne Auszubildende)	106	94	89

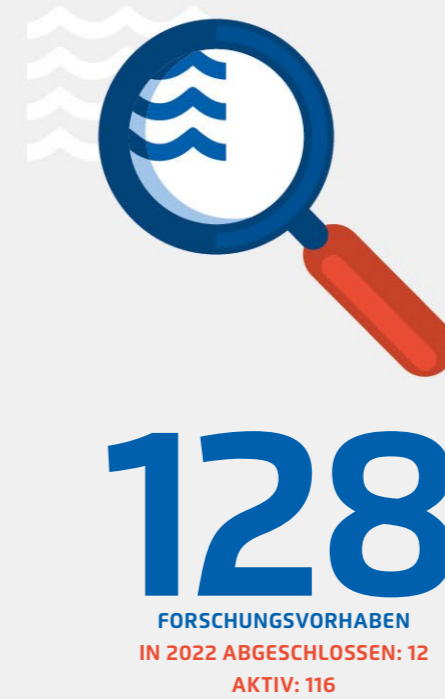




# Daten & Fakten



**Gerrit Fiedler**  
Bemessung statischer Mischer für die Erzeugung gleichmäßiger Strömungen in Dotationsbecken von Fischaufstiegsanlagen



## Veranstaltungen 2022

	Anzahl	Teilnehmende
Kolloquien	4	430
Aussprachetage	2	113
<b>Insgesamt</b>	<b>6</b>	<b>543</b>



# Anhang

**BAW**online – 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](http://www.baw.de)



## Veranstaltungen

Weitere Informationen finden Sie unter



<https://www.baw.de/de/service/veranstaltungen/veranstaltungen.html>

## Veröffentlichungen & Vorträge

Weitere Informationen finden Sie unter



<https://www.baw.de/de/publikationen/publikationen.html>



## Mitarbeit in Ausschüssen

Weitere Informationen finden Sie unter



## Forschung und Entwicklung

Weitere Informationen finden Sie unter



**Karriere bei der BAW**  
Weitere Informationen finden Sie unter

Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der BAW sind praxisorientierte Berater für eine Vielzahl von Projekten an den Bundeswasserstraßen. Als Forschende gestalten sie gleichzeitig maßgebend die Zukunft des Verkehrsträgers „Wasserstraße“.

Jiuru Huang  
Bauingenieurin  
Seit September 2019 im Bereich Infrastrukturmanagement der Abteilung Bautechnik tätig

<https://www.baw.de/de/karriere/karriere.html>

## Social Media Kanäle

Weitere Informationen finden Sie unter





# Impressum

Herausgeber (im Eigenverlag):  
Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)  
Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe  
Postfach 21 02 53, 76152 Karlsruhe  
Tel. +49 (0) 721 9726-0  
Fax +49 (0) 721 9726-4540  
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 2023

Bildnachweis:	
Seite 6	eva hilger foto design
Seite 9, Bild 2	Schematische Darstellung, BAW/Plangrundlage PKS
Seite 10, Bild 3	Entwurfstand, BAW/Plangrundlage PKS
Seite 19, Bild 2	@Google Maps / @terra vermessungen ag (swissMon®)
Seite 48/49	@mileswork – stock.adobe.com (zwei Mockupfotos)
Seite 58	Floral Deco/Shutterstock.com
Seite 59 unten	iStock.com/Tomml
Seite 60 oben	hxdbzxy/Shutterstock.com
Seite 61 unten	Bloomicon/Shutterstock.com







