

20

19

Geschäftsbericht der BAW

BAW-Strategie 2030 unterstützt schnelleres Bauen an den Wasserstraßen



Liebe Leserin, lieber Leser,

Mitte letzten Jahres haben wir unsere BAW-Strategie 2030 veröffentlicht. Vorausgegangen war ein intensiver Diskussionsprozess auf Leitungsebene. Die Belegschaft der BAW war über eine breit angelegte Beschäftigtenbefragung beteiligt, deren Ergebnisse in die Strategie eingeflossen sind. In ihrer Funktion als Fachaufsicht über die BAW hat das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur unserer Strategie zugestimmt.

Die BAW-Strategie 2030 setzt mittelfristig den fachlichen und organisatorischen Rahmen für unsere Arbeit und berücksichtigt dabei neue politische, gesellschaftliche, technische und wissenschaftliche Entwicklungen. Der Umgang mit der alternden Wasserstraßeninfrastruktur, die gestiegenen ökologischen Anforderungen im Verkehrswasserbau, die Anpassung an die Folgen des Klimawandels, die Digitalisierung im Infrastrukturbau, neue Antriebstechnologien in der Schifffahrt sowie die Automatisierung in der Binnenschifffahrt nehmen dabei eine wichtige Rolle ein.

Ein Kernelement der BAW-Strategie 2030 sind die sieben Handlungsfelder, die die mittelfristigen zentralen Arbeitsschwerpunkte der BAW widerspiegeln und die mit mehr als 60 konkreten Maßnahmen untersetzt sind, die regelmäßig auf ihre Relevanz und Zielerreichung überprüft werden:

1. Wasserstraßeninfrastruktur erhalten und bedarfsgerecht weiterentwickeln
2. Vereinbarkeit des Verkehrssystems Schiff/Wasserstraße mit der Umwelt stärken
3. Mobilität auf den Wasserstraßen fördern

4. Qualitätsstandards setzen
5. Digitalisierung im Verkehrswasserbau aktiv gestalten
6. Informationen und Expertenwissen teilen
7. Personalentwicklung fördern

Mit allen Handlungsfeldern verfolgen wir das Ziel, die Umsetzung der verkehrswasserbaulichen Projekte an den Bundeswasserstraßen durch unsere fachliche Beratung und Unterstützung zu beschleunigen. Diese Beschleunigung ist dringend erforderlich, da bekanntlich die Investitionen in die Wasserstraßeninfrastruktur in Form von Instandsetzungs-, Ersatz-, Neu- und Ausbaumaßnahmen in den vergangenen Jahren deutlich hinter dem ermittelten Investitionsbedarf für die Substanzerhaltung und die Weiterentwicklung der Bundeswasserstraßen zurückgeblieben sind.

Die BAW-Strategie 2030, die unter <https://hdl.handle.net/20.500.11970/106482> zum Download bereit steht, soll nach außen Transparenz und Nachvollziehbarkeit für unser Handeln schaffen. Nach innen soll sie unseren Beschäftigten Orientierung und Klarheit über die mittelfristige Ausrichtung der BAW geben.

Eine interessante Lektüre wünscht Ihnen

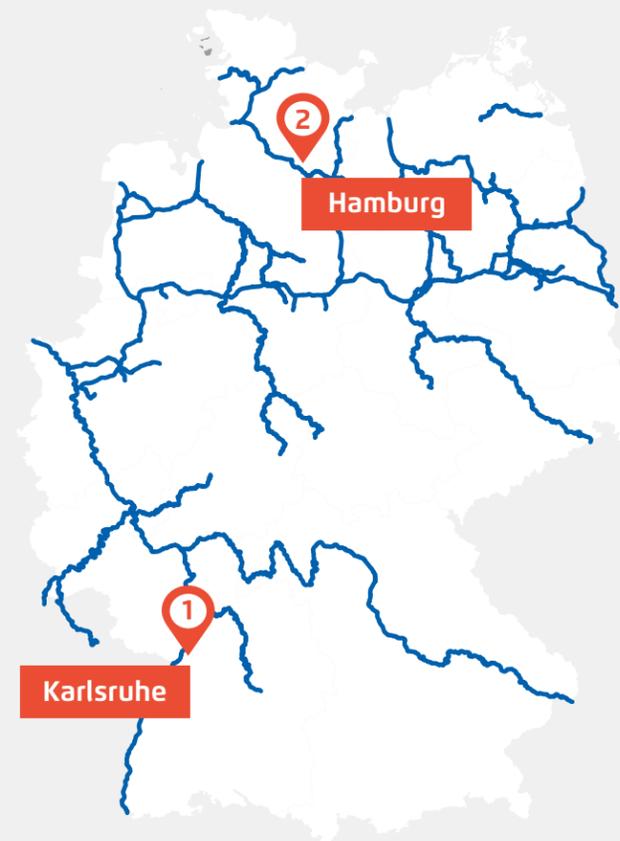
Prof. Dr.-Ing. Christoph Heinzelmann
Leiter der Bundesanstalt für Wasserbau

Karlsruhe, im Mai 2020

Organigramm 2019

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

Standorte und Projekte



674

WSV / BMVI Aufträge aktiv
+ 90 Aufträge, die in 2019
beendet wurden = 764

104

FuE aktiv
+ 14 FuE, die in 2019 beendet
wurden = 118

45

Drittaufträge aktiv
+ 31 Drittaufträge, die in 2019
beendet wurden = 76

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

Inhalt



Vorüberlegungen für den Neubau
der weltgrößten Sparschleuse



Wissenschaftliche Begleitung bei der Umsetzung
von Modellprojekten durch die BAW



Ein Hightech-Schiff für die Wissenschaft

4	Fachkompetenz im Bauwesen Beitrag von Dr.-Ing. Sondermann, Vorsitzender der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik
6	Sparschleuse Lüneburg Vorüberlegungen für den Neubau der weltgrößten Sparschleuse
14	Blaues Band Deutschland Wissenschaftliche Begleitung bei der Umsetzung von Modellprojekten durch die BAW
22	Die neue ATAIR Ein Hightech-Schiff für die Wissenschaft

30	Ausgewählte Forschungs- und Entwicklungsprojekte
30	Scherfestigkeit von Beton und Mauerwerk an bestehenden Wasserbauwerken
32	Fracking-Versuche im Triaxialgerät zur Bestimmung des hydraulischen Widerstandes feinkörniger Böden
34	Forschungsprojekt Referenzschubverband – Modellierung der Fahrdynamik von Schiffen anhand von experimentellen und numerischen Verfahren
36	Alternative Bühnenformen bei hoher langperiodischer Schiffswellenbelastung im Küstenbereich

38	Die Bundesanstalt für Wasserbau
39	Das Jahr 2019
46	IZW-Campus: E-Learning für die Ingenieurpraxis
48	Daten und Fakten
52	Anhang
57	Impressum



ZUR PERSON:

Dr.-Ing. Wolfgang Sondermann, Mitglied des Vorstandes der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT) e. V. seit 2004, Vorsitzender des Vorstandes seit 2014 und bis 2017 Vorstandsmitglied der Keller Group plc, London.

Fachkompetenz im Bauwesen

Beitrag von Dr.-Ing. Sondermann,
Vorsitzender der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik

Mit sich stetig wandelnden Bedürfnissen der Menschen und der Gesellschaft sind sich stetig verändernde Anforderungen an die Entwicklung unseres Lebensraums und unserer Infrastruktur verbunden. Diese Bedürfnisse sind der treibende Faktor für Erwartungen, die an uns als Ingenieure herangetragen werden. Auf diese sich im Laufe der Zeit fließend ändernden Rahmenbedingungen haben wir als Fachleute immer wieder neu zu reagieren.

Die deutsche Bauwirtschaft war und ist seit jeher an der erfolgreichen Umsetzung von großen, den gesellschaftlichen Bedürfnissen angepassten Bauprojekten maßgeb-

lich beteiligt. In den vergangenen Jahren kam es aber in Deutschland vermehrt zu öffentlich geführten Diskussionen über die Kosten- und Terminabweichungen bei diesen Großprojekten.

Aufgrund zunehmender Komplexität der Projekte wird die Entscheidung über die „optimale Lösung“ immer schwieriger. Jede Entscheidung im Projektablauf kriecht oder mitigiert Risiken. Um Risiken zu identifizieren, sie zu evaluieren und geeignete Mitigationsmaßnahmen vorzusehen, ist eine ausreichende Fachkompetenz von maßgeblicher Bedeutung. Und hier setzt die BAW an, die

durch ihre fachliche Kompetenz zur Weiterentwicklung des Bauwesens in Deutschland beiträgt. Dies möchte ich nachfolgend in einigen Aspekten vertiefen. Dabei beziehe ich mich als Vorsitzender der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT) zunächst auf mein Stammgebiet, die Geotechnik.

Wir brauchen technische Ingenieure

Homo faber, der Mensch als Handwerker, als Techniker, hat seit jeher seine Fähigkeiten genutzt, um sich die Natur untertan zu machen. Wissen und Können der technischen Menschen sind die wesentlichen gestaltenden Kräfte unserer technischen Welt. Unsere Gesellschaft braucht die verantwortungsbewusste Beherrschung und die besonnene Entwicklung dessen, was zu ihrer heutigen Gestalt geführt hat. Dies ist die umfassende Aufgabe des Homo faber und vornehmlich von uns Ingenieuren.

Die BAW hat sich schon immer der Herausforderung, das fachliche Wissen zu vertiefen, gestellt und war sich dabei stets der Verantwortung, die wir als Ingenieure haben, bewusst. An der Schnittstelle zwischen Forschung und Praxis gestaltet die BAW den Wissenstransfer und die Mehrung des Wissens durch ihre Publikationen und Fachkolloquien über Jahre aktiv mit. Und befruchtet damit auch die Standardisierung und Normung positiv.

Wir müssen unseren Ingenieuren mehr beibringen als exzellente Technik

„Happy Engineers“ nannte Prof. Klaus Backhaus aus Münster die Ingenieure und Forscher, denen die „technische“ Lösung einzige Herausforderung ist. Über diesen Anspruch hinaus sind aber neben der Technik Kenntnisse in Ökonomie und Ökologie sowie in Personalführung und Management ebenso wichtig. Es geht dabei um die Schaffung zukunftssträchtiger Strukturen, die sich an der Ganzheitlichkeit von Produktionsprozessen orientieren; vernetztes Denken und lebenslanges Lernen sind selbstverständlich. Dazu kommen „soft skills“, wie Kommunikations- und Teamfähigkeit und interkulturelles Verständnis auf der Basis ethnischer Toleranz.

Auch beim Anspruch des interdisziplinären Zusammenwirkens, der ganzheitlichen Betrachtungsweise und des internationalen Erfahrungsaustausches hat die BAW durch ihre Arbeit Maßstäbe gesetzt. Mit dem Wirken auf nationalen und internationalen Ebenen in Fach- und Normenausschüssen, durch Präsentation der Forschungs- und Untersuchungsergebnisse hat die BAW uns auf bewundernswerte Weise demonstriert, dass neben herausragenden fachlichen Kenntnissen das ganzheitliche und interdisziplinäre Denken unser aller zukünftige Herausforderung ist.

Wir brauchen politische Ingenieure

Das Standesbewusstsein der Ingenieure und die Bereitschaft der Öffentlichkeit, im Ingenieur die unbestechliche Kapazität zu erkennen, hat sich über Jahrhunderte aus der Fachkompetenz gespeist, aber auch aus der verbindlichen Übernahme von Verantwortung für die Folgen der beruflichen Tätigkeit. Ausschlaggebend ist, dass es uns zukünftig besser gelingt, unsere zentrale Funktion für die Gesellschaft deutlich zu machen und die ethischen Grundlagen unseres Tuns zu vermitteln. Hier liegt die Aufgabe derer, die ich als politische Ingenieure bezeichne. „Nötig ist eine Kultur des engagierten, informierten und ehrlichen Diskurses“, so Roman Herzog, und dies ist nicht nur eine Frage der Kommunikation, sondern des Inhalts. Hier erfüllt die BAW, die sowohl in der Politikberatung des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur als auch in den Fachkreisen des Bauwesens Gehör findet, eine besondere Aufgabe als Mittler zwischen Politik und Technik.

„Die BAW hat sich schon immer der Herausforderung, das fachliche Wissen zu vertiefen, gestellt und war sich dabei stets der Verantwortung, die wir als Ingenieure haben, bewusst.“

Dr.-Ing. Wolfgang Sondermann

Auch das berufspolitische Wirken der BAW soll dabei nicht unerwähnt bleiben. So ist die BAW seit Jahren ehrenamtlich im Vorstand der DGGT aktiv, in vielfältigen Arbeitskreisen engagiert und vertritt so auf beeindruckende Weise unsere Profession nach innen und nach außen.

Die Anforderungen von heute und von morgen

Das partnerschaftliche Zusammenwirken von fachkompetenten Mitwirkenden kann Risiken gerade bei komplexen Großprojekten verringern. Dazu muss aber auch die Fachkompetenz bei der Auswahl von Zusammenwirkenden tatsächlich ein wesentliches Kriterium sein. Fachkompetenz ist ein wesentlicher Bestandteil unserer Arbeiten und muss bei der Beurteilung ihre Rolle in der Entscheidungsfindung einnehmen. Über Fachkompetenz – verbunden mit sozialer Kompetenz – können wir alle die eingangs geschilderten Diskussionen zukünftig vermeiden und einen Teil des ggf. verlorengegangenen Berufsansehens zurückgewinnen. Hierbei setze ich weiterhin auf die BAW. Denn ihre Stimme hat bei den verschiedenen gesellschaftlichen Gruppen aufgrund ihrer Unabhängigkeit und großen Kompetenz Gewicht.



Sparschleuse Lüneburg

Vorüberlegungen für den Neubau der
weltgrößten Sparschleuse

Am Elbe-Seiten-Kanal bei Lüneburg ist der Neubau einer nahezu freistehenden Sparschleuse in Stahlbetonbauweise geplant. Mit einer nutzbaren Kammerlänge von 225 m und einer Fallhöhe von 38 m soll das Bauwerk den durch das Schiffshebewerk bedingten Engpass am Elbe-Seiten-Kanal beseitigen und damit die Hinterlandanbindung der Seehäfen über die Bundeswasserstraßen deutlich verbessern.

Für Sparschleusen dieser Größenordnung liegen weltweit keinerlei Erfahrungen vor. Die außerordentliche Größe dieses Bauwerks und das damit einhergehende Kammer-volumen erfordern neue Konzepte und interdisziplinär abgestimmte Lösungen, die den zahlreichen Anforderungen gerecht werden. Dazu gehört insbesondere die räumliche Nähe zum seitlich benachbarten Schiffshebewerk. Die BAW berät das Neubauamt (NBA) Hannover zu geotechnischen, hydraulischen und bautechnischen Aspekten dieser Aufgabe.

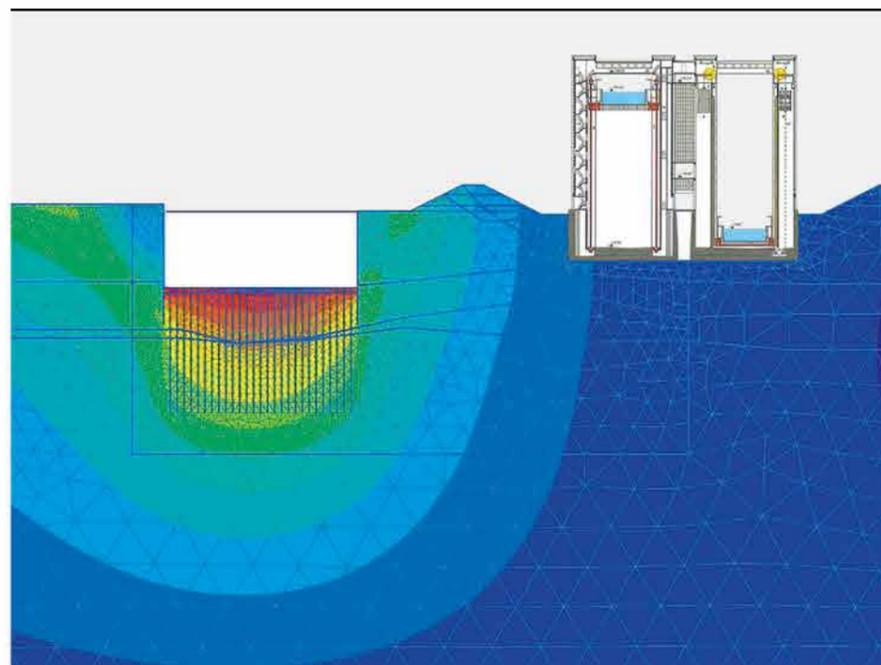
Geotechnische Untersuchungen

Standortfestlegung

Der Standort der Schleuse war darauf zu überprüfen, ob Baugrube und späteres Schleusenbauwerk mit dem setzungsempfindlichen Schiffshebewerk verträglich sind. Ein zu weites Abrücken vom Schiffshebewerk erhöht die Kosten wegen des zusätzlich erforderlichen Grunderwerbs und der umfangreichen Erdarbeiten für die Vorhäfen deutlich.

Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie wurden im Jahr 2010 erste grundlegende Untersuchungen durch die BAW zum Verformungsverhalten des Schiffshebewerks infolge des Baus einer benachbarten Schleuse durchgeführt. Hierbei wurde mittels geotechnischer zweidimensionaler Finite-Elemente-Modelle (FEM) untersucht, wie sich die Bauwerke unter Variation des seitlichen Abstands beeinflussen. Bei der numerischen Untersuchung wurde vor allem bewertet, welche Bereiche des bestehenden Schiffshebewerks sich in der Folge verschieben könnten (Bild 1).

Bild 1:
2D Finite-Elemente Simulation – hier: Verformungen durch Baugrubenherstellung



Baugrund- und Grundwasserverhältnisse

Für eine zuverlässige Vorhersage der Verformungen am Schiffshebewerk wurde zunächst der Baugrund westlich des bestehenden Schiffshebewerks flächenhaft erkundet. Einige Bohrungen wurden zu Grundwassermessstellen ausgebaut, um die großräumigen Grundwasserverhältnisse sowie die bemessungsrelevanten Grundwasserstände zu ermitteln. Weil der festzulegende Standort sehr wichtig ist, wurden in den Bohrlöchern zusätzlich geophysikalische Versuche vorgenommen und der Parameter des initialen Schubmoduls ermittelt, mit dessen Hilfe sich das Verformungsverhalten des Bodens zutreffend modellieren ließ.

Im geotechnischen Labor der BAW wurden an den gewonnenen Bodenproben Versuche zur Ermittlung des spannungsabhängigen Scher- und Verformungsverhaltens durchgeführt. Diese physikalischen Eigenschaften wurden im numerischen Modell realitätsnah abgebildet und hatten ebenfalls einen wesentlichen Einfluss auf das numerische Simulationsergebnis. Alle Ergebnisse und Empfehlungen wurden in einem geotechnischen Bericht festgehalten, um eine wirtschaftliche und sichere Bemessung zu gewährleisten.

Der Baugrund im Bereich des Schiffshebewerks und der geplanten Schleuse besteht überwiegend aus glazial beanspruchten und somit dicht bis sehr dicht gelagerten, nichtbindigen Böden, in die eine dünne, in ihrer Mächtigkeit stark schwankende, bindige Schicht eingelagert ist. Diese Schicht fungiert zudem als Trennung der vorhandenen zwei Grundwasserstockwerke.

Die Grundwasserverhältnisse im Untersuchungsgebiet werden momentan durch tief in den oberen Grundwasserleiter reichende Bauwerksteile des Schiffshebewerks, durch die Wasserstände des unteren Vorhafens sowie durch das im Bereich des Schiffshebewerks verlegte Dränagesystem geprägt. Einige Aufschlüsse deuten zudem auf eine hydraulische Verbindung der beiden Grundwasserstockwerke hin. Aufgrund dieser zahlreichen Wirkfaktoren liegt im Untersuchungsgebiet ein äußerst komplexes Grundwasser-Strömungsfeld vor.

Vorplanung

Um den Standort präzise festzulegen, musste die Ausführung der Baugrube detaillierter berechnet werden. Hierfür wurde seitens des NBA Hannover ein Planungsauftrag an eine Ingenieurgemeinschaft bestehend aus den Büros grbv, Sweco und GuD Consult vergeben, in dem zusätzlich zur ausführungsfähigen Planung der Baugrube auch der Abstand zwischen Schleuse und Schiffshebewerk auf Basis eines geotechnischen numerischen 3D-Modells untersucht wurde. Dieser Prozess wurde seitens der BAW intensiv begleitet. Zur Erfassung der Auswirkungen des Schleusenbaus auf die Grundwasser-Strömungsverhältnisse wurde zusätzlich ein numerisches 3D-Grundwassermodell erstellt, dessen Ergebnisse in der Tragwerksplanung der Schleusenbaugrube sowie der geotechnischen 3D-FEM-Simulationen berücksichtigt wurden.

Aufbauend auf den Untersuchungen der BAW wurden geotechnische 2D- und 3D-FEM-Berechnungen von der Planungsgemeinschaft durchgeführt. Die zulässige Auslenkung der Türme des Schiffshebewerks infolge von baubedingten Setzungen macht demnach einen lichten Bauwerksabstand von 60 m zur Sparschleuse notwendig. Eigene, seitens der BAW zur Absicherung durchgeführte Untersuchungen an einem räumlichen Finite-Differenzen-Modell (Bild 2) konnten die prognostizierten Verformungen der Planungsgemeinschaft bestätigen.

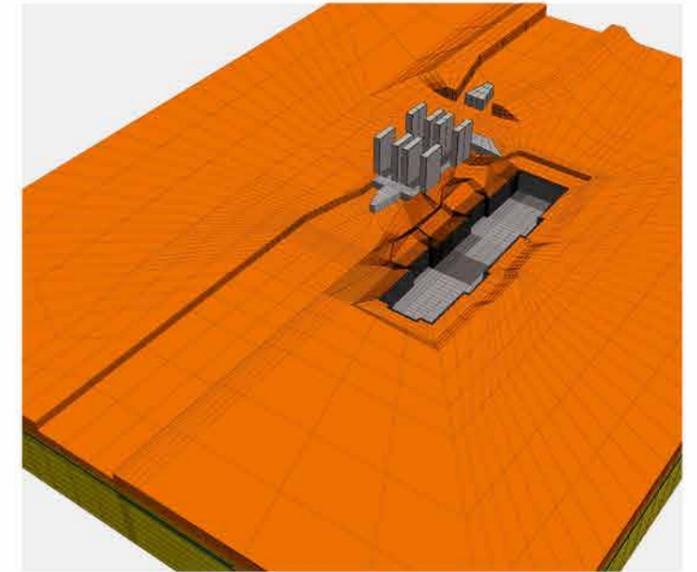


Bild 2:
3D Finite-Differenzen-Modell
des Schiffshebewerks und
der Schleusenbaugrube

Im Zeitraum vom Herbst 2019 bis ins Frühjahr 2020 wird der Baugrund ergänzend gemäß DIN EN 1997-2 untersucht. Die dafür nötigen Baugrundaufschlüsse und Grundwasser-Messstellen orientieren sich an der Lage der geplanten Schleuse, inklusive der Kanalbrücke sowie der Vorhäfen. Dadurch sollen bestehende Unsicherheiten, wie die der Grundwasserbeschaffenheit und der möglichen hydraulischen Verbindung der beiden Grundwasserstockwerke, reduziert und verlässliche Angaben für die Planung und den Bau erarbeitet werden.

Hydraulische Untersuchungen

Hydraulisches Konzept

Der parallele Betrieb des bestehenden Schiffshebewerks und Überlegungen zur Bewirtschaftung des Elbe-Seitenkanal machen es erforderlich, die Volumenströme der Restfüllung und -entleerung stark zu begrenzen oder ganz zu vermeiden. Daher werden zwei Konzepte verfolgt: Zum einen bestehen Überlegungen, die Schleuse als vollkommen autarke Sparschleuse zu betreiben, die also selbst kein Wasser aus dem Kanal aufnimmt oder es wieder abgibt. Das für die Restfüllung benötigte Wasser soll stattdessen aus Becken oberhalb der Sparbecken entnommen und die Restentleerung in Unterbecken abgegeben werden. Über ein Pumpsystem soll das Wasser dann zurück in die Oberbecken gelangen. Um die Pumpkosten zu begrenzen, sind dabei ein hoher Spargrad und damit eine große Anzahl von Sparbecken mit derzeit acht geplanten Ebenen erforderlich. Zum anderen wird eine Variante verfolgt, bei der auf das Pumpen innerhalb der Schleuse verzichtet werden soll. Stattdessen wird das Wasser aus den Unterbecken langsam ins Unterwasser abgegeben sowie das Oberbecken langsam aus dem Oberwasser gefüllt und zudem eine geringe Restentleerung sowie -füllung vorgenommen.

Anforderungen an das Füllsystem

Wie genau Wasser in die Kammer eingeleitet werden

kann, wurde mit einer Vielzahl von Systemen untersucht. Die Herausforderung bestand darin, die hydraulischen Anforderungen im Hinblick auf die Geschwindigkeit des Füllprozesses mit der Sicherheit und Leichtigkeit der Schifffahrt sowie mit den baulichen Anforderungen an eine möglichst robuste Konstruktion in Einklang zu bringen. Damit die Kammer schnell und sicher gefüllt werden kann, muss neben einer hohen Leistungsfähigkeit auch eine gute Gleichverteilung des in die Kammer strömenden Wassers gewährleistet werden. Um die Sparbecken anzubinden, wurde daher ein Längskanalssystem mit vertikalen Zentralschächten gewählt, das sich am System der Schleuse Hannover-Anderten orientiert.

Damit sich der Wasserspiegel in der Kammer nicht neigt, müssen die Volumenströme in beiden Längskanälen gleich sein. In Längsrichtung sind die Sparbecken durch Querschotte in fünf Kompartimente unterteilt. Jeder Sparbeckenabschnitt wird durch ein eigenes Zylinderschütz an das Füllsystem angeschlossen (Bild 3). Dadurch kann zugleich an mehreren Stellen Wasser in die Längskanäle einströmen. Die Längskanäle sind über Fülldüsen mit der Schleusenkammer verbunden. In Querrichtung kann das Wasser nur gleichmäßig verteilt werden, wenn auf beiden Kammerseiten Sparbecken auf gleicher Höhe vorhanden sind, welche synchron gesteuert werden. Die Grundfläche jeder Sparbeckenebene beträgt etwa das Doppelte der Grundfläche der Kammer, um die gewünschte Sparrate zu

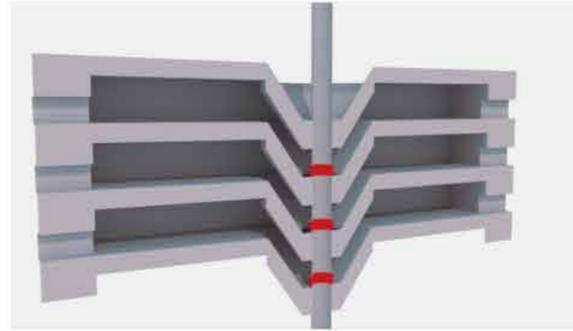


Bild 3: Schnitt durch einen Teil der Sparbecken mit Zylinderschützen (rot) am Zentralschacht

erreichen. Damit sind auf beiden Kammerseiten jeweils fünf Verschlüsse pro Sparbeckenebene vorhanden. Bei acht vorgesehenen Sparbeckenebenen sowie den Ober- und Unterbecken werden damit insgesamt 100 Verschlussorgane für die Sparbecken benötigt.

Hydraulische Untersuchungen

In der Planung bestehen konkurrierende hydraulische Anforderungen an Wirtschaftlichkeit, Geschwindigkeit und Sicherheit der geplanten Schleuse. Sie besteht aus einer

Bild 4:
1D-Netzwerkmodell für eine Ebene der Schleuse mit fünf Sparbeckenkompartimenten pro Kammerseite

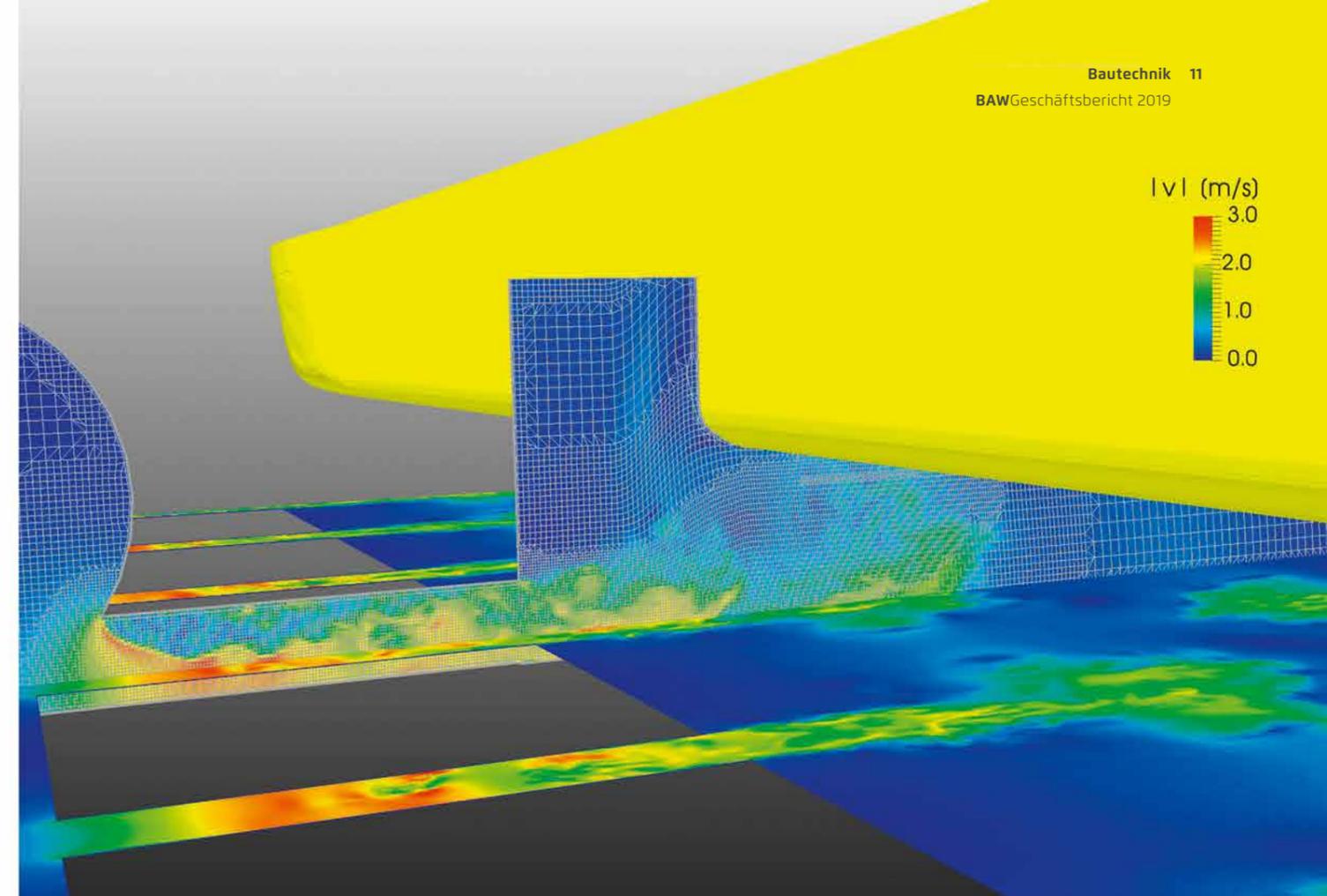
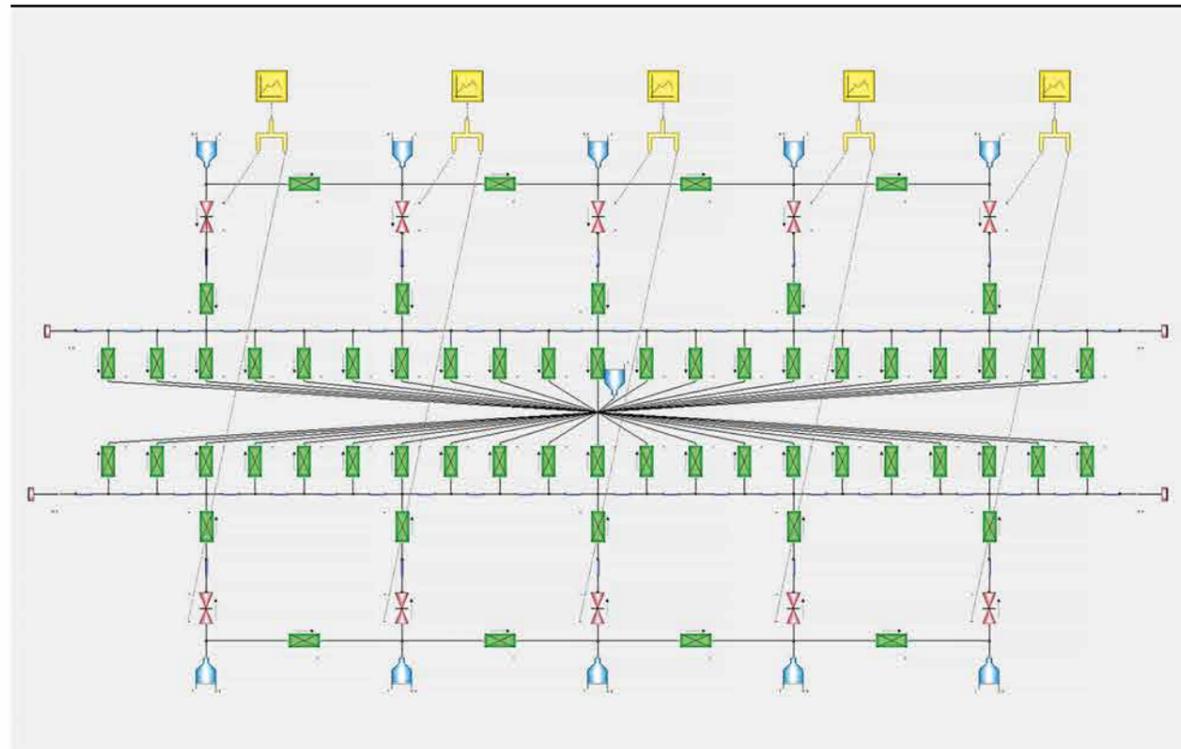


Bild 5: Zuströmung aus den Längskanälen in die Schleusenkammer in einer Simulation mit bewegtem Schiff

Vielzahl an Einzelbauteilen, die jeweils die Füllzeit und die Sicherheit der Schließung beeinflussen. Die Leistungsfähigkeit des Bauwerks und die auf die Schiffe in der Kammer wirkenden Kräfte können derzeit nur mit hybriden Modellen beurteilt werden. Dreidimensionale hydro-numerische Modelle für die gesamte Schleuse sind selbst bei großen eingesetzten Rechenressourcen heute noch unpraktikabel.

Mit hybriden Modellen wurden Aspekte des hydraulischen Verhaltens der Schleuse mit unterschiedlichen Verfahren und Methoden untersucht. Die Ergebnisse wurden schließlich gekoppelt, wodurch das gesamte Bauwerk betrachtet werden konnte. In diesem Rahmen wurden hochaufgelöste dreidimensionale Modelle aller Bauteile erstellt, an denen wesentliche hydraulische Verluste, z. B. durch Engstellen oder Abzweigungen, zu erwarten sind. Aus den Ergebnissen konnte sowohl ein charakteristischer Abflussbeiwert für das Gesamtsystem bestimmt als auch ein eindimensionales Rohrleitungsmodell der Schleuse parametrisiert werden (Bild 4).

Mit einem charakteristischen Abflussbeiwert konnte letztlich die zu erwartende Füllzeit wirtschaftlich abgeschätzt werden. Dabei bestanden jedoch Unschärfen bezüglich der auftretenden hydraulischen Verluste bei nur teilweise geöffneten Schützen. Die Simulation mit

1D-Rohrleitungsmodellen ist genauer, da mehrere Einzelbauteile innerhalb des Rohrleitungsmodells parametrisiert werden und zudem die Systemdynamik besser abgebildet wird. Jedoch ist es aufwändiger, das Modell zu erstellen und zu kalibrieren. Das System wurde dabei aus parametrisierten eindimensionalen Rohrleitungen modelliert, um die hydraulischen Parameter an einzelnen Elementen des Füllsystems zu beurteilen. Die so ermittelten Einzelvolumenströme konnten dann wiederum für dreidimensionale Strömungsmodelle verwendet werden, beispielsweise um die beginnende Kammerfüllung zu simulieren (Bild 5).

Tragwerksplanung

Tragwerkskonzeption

Grundsätzlich muss die Schleuse Lüneburg kompakt konstruiert werden, da die Baugrube sowohl in der Breite als auch in ihrer Tiefe aus den oben genannten Gründen zu begrenzen ist.

Erste Untersuchungen zur statischen Machbarkeit zeigten schnell, dass die aufgrund der Fallhöhe außerordentlich hohen horizontalen Wasserdrücke wirtschaftlich nicht mit der Bauweise einer herkömmlichen Schleusenkonstruktion als U-Rahmen zu bewältigen sind. Aufgrund der fehlenden seitlichen Bettung müssen die zyklisch wechselnden und

damit ermüdungswirksamen Hauptbeanspruchungen durch den Wasserdruck fast vollkommen von der Tragstruktur aufgenommen und abgetragen werden.

Der Grundgedanke des entwickelten Tragwerks orientiert sich daher an der Konstruktion von Fässern und besteht darin, den offenen Rahmen vergleichbar mit Fassreifen an mehreren Stellen zu schließen. Die gleichgerichteten Horizontalkräfte aus dem Wasserdruck können durch die Sohle und durch oberhalb des Lichtraumprofils angebrachte Zugriegel aufgenommen und innerhalb des Systems kurzgeschlossen werden. Dadurch können die bei herkömmlichen U-Rahmen hohen Rahmen-eckmomente im unteren Sohl- und Wandbereich verringert und schlankere Querschnitte verwendet werden.

Aufgrund der gemeinsamen Gründung der Kammer und den seitlichen, symmetrisch angeordneten Sparbecken auf einer steifen Sohlplatte werden die Bodenpressungen ausgeglichen und die infolge der Wasserstandswechsel in der Kammer hervorgerufenen Schwellbeanspruchungen reduziert (Bild 6). Ein Großteil des mit jedem Schleusungsvorgang zu bewegendem Wasservolumens der Kammer, das immerhin mehr als dem zehnfachen des Gewichts des Eiffelturms entspricht, verbleibt auf der gemeinsamen

Sohlplatte. Es fließt entsprechend des Prinzips einer Sparschleuse lediglich von der Kammer in die Sparbecken und wieder zurück.

Durch den Einbau von Querschotten kann bei diesem sehr langen fugenlosen Bauwerk auch eine Längstragwirkung aktiviert werden. Das gelingt, indem die horizontale Scheibentragwirkung der sehr steifen und die gesamte Schleusenlänge überspannenden Sparbeckensohlen mit in das Tragsystem eingebunden wird (Bild 7). Ein Großteil des horizontalen Wasserdrucks, der bei Oberwasserstand auf die Kammerwand wirkt, wird von den Sohlen der Sparbecken aufgenommen, in Längsrichtung abgetragen und an die Schotte weitergegeben. Im Schottbereich wiederum erfolgt dann der Kurzschluss der Horizontalkräfte konzentriert über wenige, sehr stark ausgebildete Zugriegel, die den U-Rahmen schließen.

Über die Steuerung der Steifigkeitsverhältnisse kann nun eine optimierte Einstellung des Kraftflusses erfolgen, um eine möglichst ausgewogene Auslastung zu erzeugen. Die stark zugbeanspruchten Zugriegel sollten zudem vorgespannt sein, um die Rissbildung zu reduzieren, gleichzeitig die Steifigkeit zu erhalten und die Ermüdungsproblematik einzuschränken.

Bild 6:
Querschnitt
mit Schotten
und Zugriegel,
Variante mit
Zusatzbecken

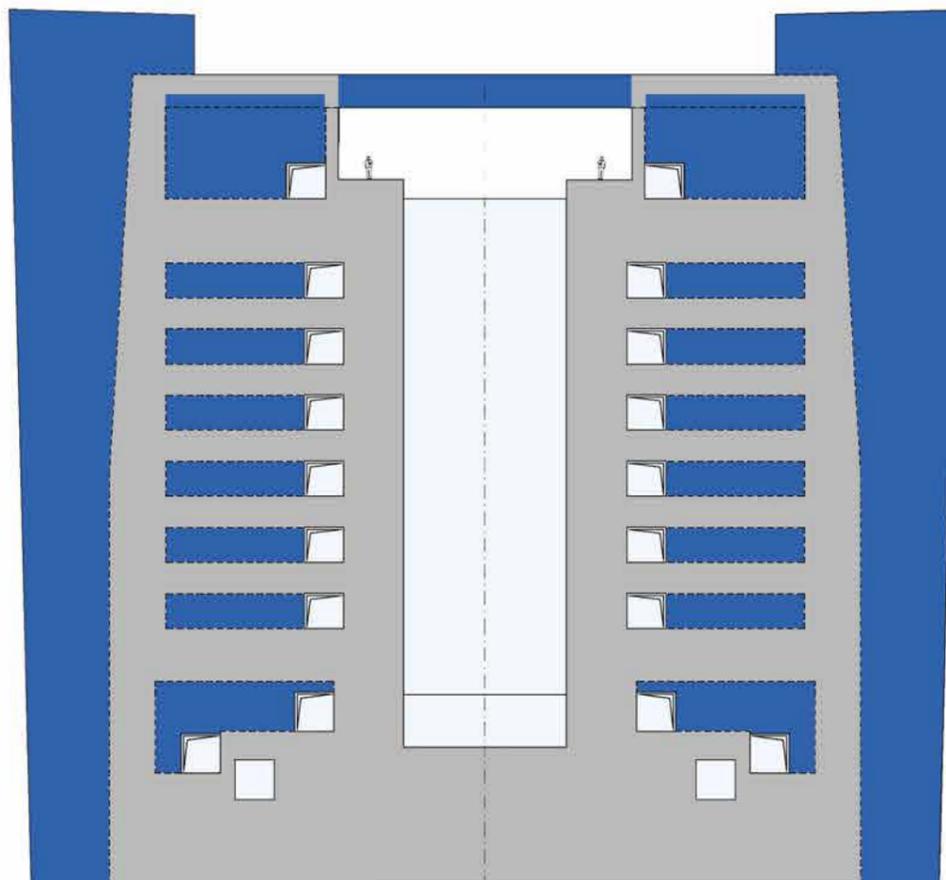
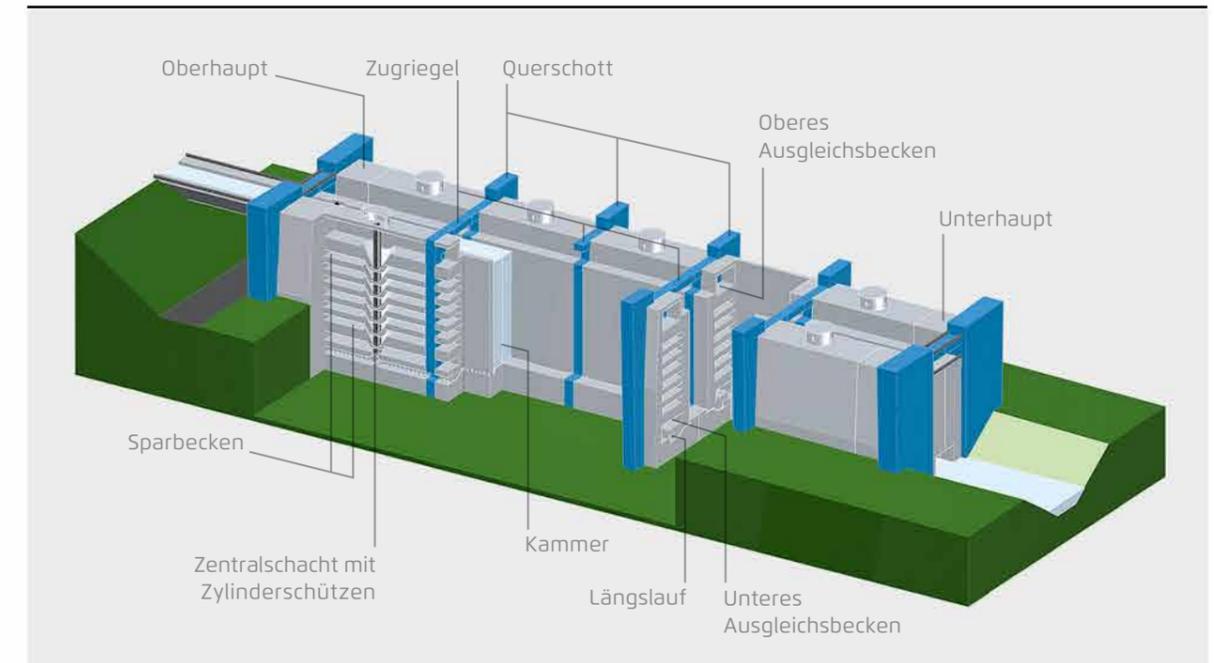


Bild 7:
Dreidimensionale Darstellung einer Ausführungsvariante mit wesentlichen Tragwerks- und Konstruktionselementen



Bemessung

Da die Stahlbetonkonstruktion stark beansprucht ist, sind erwartungsgemäß beträchtliche Mengen von Bewehrungsstahl nötig. Diese vergrößern sich durch die bei Wasserbauwerken erforderliche Berücksichtigung von Riss- und Porenwasserdrücken im Inneren der Bauteile aufgrund der enormen Druckhöhen. Maßgebend dürfte für die meisten Tragwerksbereiche mit hoher Auslastung jedoch der Nachweis gegen Materialermüdung sein. Denn bei 20 Schleusungen pro Tag muss im Laufe einer mindestens 100-jährigen Betriebszeit mit annähernd 750.000 Lastwechseln gerechnet werden. Weil dadurch nicht die Materialfestigkeiten für ruhende Beanspruchungen angesetzt werden können, führt dies zu einer hohen Steigerung der erforderlichen Bewehrungsmengen.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Entwicklung von Lösungsansätzen musste unter enger Abstimmung von hydraulischen und statischen Anforderungen sowie der eng gesetzten geotechnischen Rahmenbedingungen erfolgen. Die dabei erarbeitete Konzeption sieht ein hydraulisches System vor, das eine Aufteilung der Sparbecken in einzelne Kompartimente erlaubt. Damit ist der platzsparende Einbau von steifen Schotten innerhalb des Sparbeckenbereichs zur Mobilisierung eines räumlichen und damit wirtschaftlichen Tragsystems möglich. Die Verwendung von Zylinderschützen und Zentralschächten ermöglicht eine weitgehend ungestörte Tragwirkung durch eine umfassende Reduktion

von tragfähigkeitsmindernden Aussparungen, die bei herkömmlichen Verschlusstypen erforderlich wären. Schließlich führt der Verzicht auf einen Grundlauf zu einer vorteilhaften Reduktion der erforderlichen Sohldicke und der damit verbundenen Gründungstiefe.

Trotz der ungewöhnlichen Herausforderungen, den strengen Randbedingungen und einer Vielzahl noch zu klärender Fragen, die die Dimensionen der geplanten Schleuse mit sich bringen, muss das Hauptaugenmerk der planenden Ingenieure auf der Herstellung einer Schleuse liegen, die die technischen Grundsätze des Wasserbaus einbezieht. Diese liegen vor allem in einer robusten und dauerhaften Konstruktion, die die Sicherheit und Leichtigkeit der Schifffahrt bei einer möglichst kurzen Schleusungsdauer gewährleistet. Der Betrieb muss auch bei kleineren Störfällen reibungslos möglich sein, etwa beim Ausfall eines Verschlusses. Darüber hinaus gilt es, auch das bautechnische Risiko so weit wie möglich zu reduzieren. Der gesamte Bauablauf vom Aushub der Baugrube bis zur Fertigstellung muss risikoarm und technisch durchdacht sein.

Die jüngst erfolgte Beauftragung eines Ingenieurkonsortiums durch das NBA Hannover wird die Planung beschleunigen und eine vertiefte Unterstützung in der Beratung durch die BAW erfordern. Insbesondere, da im Rahmen der Planung dieses beispiellosen Bauwerks Herausforderungen auftreten werden, die in den gängigen Normen nicht geregelt sind.

Blaues Band Deutschland

**Wissenschaftliche Begleitung bei der Umsetzung
von Modellprojekten durch die BAW**

Die Förderung von Renaturierungsmaßnahmen an Wasserstraßen und in deren Auen ist das Ziel des von der Bundesregierung initiierten Programms „Blaues Band Deutschland“ (BBD). In diesem Kontext werden derzeit von der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) fünf Modellprojekte an Rhein und Weser umgesetzt. Die BAW unterstützt diese Projekte mit ihrer Expertise und leistet damit einen Beitrag für die ökologische Entwicklung an Wasserstraßen.

Das Bundesprogramm „Blau Band Deutschland“

Die Gestalt und der Zustand der großen Flüsse und ihrer Auen in Deutschland sind Abbilder der vielfältigen Nutzungen dieser Gewässer, z. B. für Schifffahrt, Hochwasserschutz, Wasserversorgung oder Landwirtschaft. Vor allem die Stauregelung, die Gestaltung des Gewässerbetts für die Schifffahrt und den Hochwasserschutz sowie die Entkopplung der Flüsse von der Aue erschweren oder verhindern die Wanderung bzw. Drift von Tieren und Pflanzen und verändern damit die an den Wasserstraßen vorhandenen Lebensgemeinschaften.

Das von der Bundesregierung im Jahr 2017 beschlossene Bundesprogramm hat die Renaturierung der Wasserstraßen im Fokus. Besonders dort, wo nur wenige Güter zu Wasser transportiert werden, ergeben sich Spielräume, um die Wasserstraßen ökologisch zu fördern und sie damit zu einem Biotopverbund von nationaler Bedeutung zu entwickeln. Aber auch an stark genutzten Wasserstraßen, wie dem Rhein, sollen Möglichkeiten ausgeschöpft werden, Räume für ökologische Entwicklungen der Gewässer zu schaffen. Neben den ökologischen Zielen sollen auch die Möglichkeiten für die naturbetonte Erholung des Menschen sowie den Wassertourismus ausgelotet und genutzt werden.

Bei der Umsetzung von Projekten, die den Zielen des Bundesprogramms „Blau Band Deutschland“ dienen, kooperieren die WSV und die Projektträger im Rahmen des BBD-Auenförderprogramms mit zahlreichen Part-

nern. Dazu gehören Naturschutz- und Wasserbehörden der beteiligten Länder und Kommunen sowie örtlich aktive Verbände. Die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) und die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) begleiten die Projekte gemeinsam mit dem Bundesamt für Naturschutz (BfN), dem Umweltbundesamt (UBA) wissenschaftlich im Hinblick auf ihre naturschutzfachlichen, wasserwirtschaftlichen und hydromorphologischen Auswirkungen. Die Bundesanstalt für Immobilienangelegenheiten (BImA) unterstützt die Projekte mit der Bereitstellung von Flächen.

Der Startschuss erfolgte im Jahr 2015 mit der Beauftragung der WSV zur Planung und Umsetzung von fünf Modellprojekten an Rhein und Weser. Bereits heute sind erste Erfolge dieser als ökologische Trittsteine geplanten lokalen Renaturierungsmaßnahmen zu erkennen.

Die Modellprojekte

Die Modellprojekte sollen Maßnahmen im Rahmen des Bundesprogramms „Blau Band Deutschland“ beispielhaft umsetzen. Hierbei handelt es sich um drei Projekte am Oberrhein, ein Projekt an der Mittelweser und ein Projekt an der Außenweser. Neben den ökologischen Zielen sollen mit der Umsetzung der Modellprojekte Erkenntnisse zur effizienten Durchführung von BBD-Projekten gewonnen werden. Da die Modellprojekte für zukünftige Projekte als typisch gelten können, werden zudem offene, für die erfolgreiche Umsetzung dieser Maßnahmen relevante fachliche Fragestellungen erkannt und in der Folge entsprechende Forschungsaktivitäten ausgelöst. Dies sind

Bild 1:
Luftbildaufnahmen der Jahre 1968 und 1974 im Bereich des Rheins bei Speyer vor und nach der Auskiesung des Monsterlochs

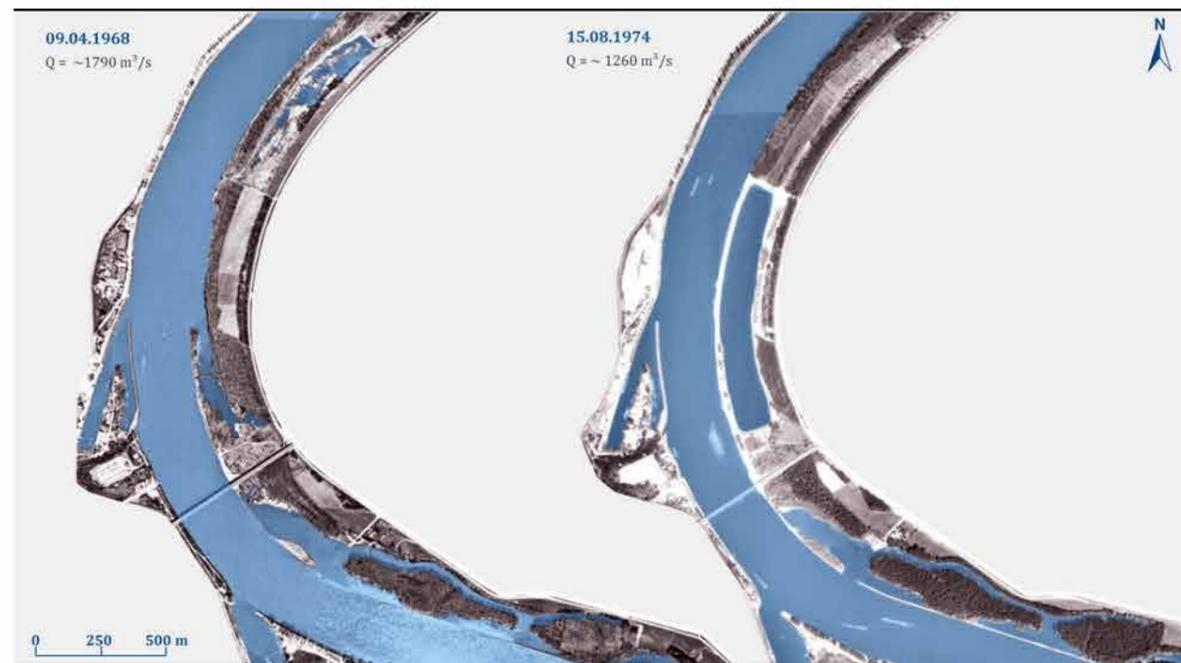


Bild 2: Das Monsterloch bei Speyer im Jahr 2018

beispielsweise Fragen zu morphologischen Entwicklungen im Vorland und deren Interaktion mit der Vegetation. Diese fachlichen Fragen sind für die Erreichung der ökologischen Ziele wie für die Beurteilung der Auswirkungen für die Schifffahrt von großer Relevanz. Die BAW berät die WSV bei der Umsetzung der Maßnahmen fachlich.

Das Monsterloch bei Speyer

In dem gegenüber der Stadt Speyer gelegenen Naturschutzgebiet „Hockenheimer Rheinbogen“ befindet sich der in den 1970er-Jahren entstandene Baggersee „Monsterloch“ (Bild 1, Bildmitte, Bild 2). Dort kam es in den letzten Jahren in Folge von Sauerstoffmangel immer wieder zu einem größeren Fischsterben.

Maßnahmen, die in den ausgehenden 1990er-Jahren umgesetzt wurden, konnten das Problem nicht beseitigen. Aktuelle Messungen der BfG im Monsterloch zeigen in den warmen Monaten und bei niedrigen Wasserständen eine drastische Reduktion des Sauerstoffgehalts in allen Tiefen. Um diesem Missstand zu begegnen, entwickelte das Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt (WSA) Oberrhein im Kontext des Bundesprogramms „Blau Band Deutschland“ eine Ideenskizze. Demnach sollen auf rund 5 km Länge (Rhein-km 397,5 bis 403,0) Nebengerinne wieder durchgängig an den Rhein angeschlossen sowie Ein- und Auslaufbedingungen verbessert werden. Damit soll eine bessere Durchströmung und in Folge eine bessere Sauerstoffversorgung des Monsterlochs, insbesondere während Niedrigwasserphasen im Sommer und Herbst, erreicht werden. Darüber hinaus sollen Fische das Monsterloch bei Bedarf verlassen können. Baulich erfordert dieses

Ziel, vorhandene Nebengerinne zu verbinden, zu verbreitern und zu vertiefen. Zur Vermeidung von Eingriffen nach einem Ausbau und um den Unterhaltungsaufwand zu begrenzen, sollen durch erhöhte Abflüsse und damit verbundene erhöhte Schubspannungen mögliche Verlandungen in den Nebengerinnen vermieden werden.

Zudem müssen im Projektgebiet Ein- und Auslaufbauwerke umgestaltet sowie eine NATO-Rampe angepasst werden. Bestehende Infrastruktur, wie ein Radweg, Deiche und die Brücke der B39, muss vor Schäden geschützt werden. Das Land Baden-Württemberg konnte für dieses Projekt als Kooperationspartner gewonnen werden und strebt neben den verbesserten Bedingungen am Monsterloch eine Revitalisierung des Vorlandbereichs an. Eine insbesondere bei geringen und mittleren Abflüssen im Rhein vorhandene Durchströmung der Nebengerinne unterstützt die hydraulische und morphologische Dynamik, die unter anderem Fischen zu Gute kommen soll. Damit wird sich ein kiesiger Untergrund ausbilden, der als wertvolles Laich- und Aufzucht habitat für Fische gute Lebensbedingungen bietet.

Die Rolle der BAW beim Modellprojekt Monsterloch besteht darin, anhand von hydraulischen, morphologischen und geotechnischen Untersuchungen sowohl die Erreichung der ökologischen Ziele zu unterstützen, wie auch sicherzustellen, dass signifikante negative Auswirkungen auf Hochwasserschutz und Schifffahrt vermieden werden. Darüber hinaus ist zu klären, inwieweit eine Sicherung der vorhandenen Infrastruktur erforderlich ist.



Bild 3: Nebenrinne im Bereich des Projektgebiets Monsterloch

Im Rahmen der erfolgten hydraulischen Untersuchungen im Vorland war es erforderlich, das theoretisch mögliche Potenzial einer stärkeren Durchströmung der Nebenrinnen (Bild 3) auszuloten. Hierbei sind ökologische mit schiffahrtlichen Belangen abzuwägen. Während die Nebenrinnen für die ökologischen Ziele möglichst auch bei

Niedrigwasserbedingungen großzügig durchströmt werden sollen, muss darauf geachtet werden, dass der damit verbundene Verfall der Wasserspiegel im Bereich der Fahrrinne zum Nachteil der Schifffahrt begrenzt bleibt. Das bedeutet, dass dem Hauptbett des Rheins nur so viel Wasser entnommen werden kann, dass insbesondere bei Niedrig- und Mittelwasser keine ablade- oder sicherheitsrelevanten Engstellen im Fluss entstehen, die die Schiffe behindern.

Zu diesem Zweck wurden zunächst die vorhandenen Wassertiefen im Rhein großräumig analysiert. Sie zeigen, dass der Rhein im Bereich des Projektgebiets deutlich höhere Wassertiefen aufweist als in den angrenzenden Strecken außerhalb des Projektgebiets. Der Bereich des Projektgebiets stellt somit keinen Engpass im Sinne der Schifffahrt dar (Bild 4), sondern bietet ein Potenzial für eine stärkere Durchströmung des Vorlands bei allen Wasserständen.

Wesentlich für fundierte Untersuchungen ist eine ausreichende Datengrundlage. Hierzu wurden umfangreich Daten zu Vorlandhöhen, Fließgeschwindigkeiten, Wasserständen sowie Sohl- und Untergrundsubstrat aufgenommen. Neu ausgewiesene Grundwassermessstellen dienen u. a. der Dokumentation des Grundwasserspiegels, um etwaige negative Auswirkungen auf die Landwirtschaft zu erkennen und zu verhindern. Durch die Zusammenarbeit

Bild 4:

Wassertiefenauswertung dargestellt als Differenz zwischen Bemessungswasserstand bei Niedrigwasser und Fahrrinntentiefe

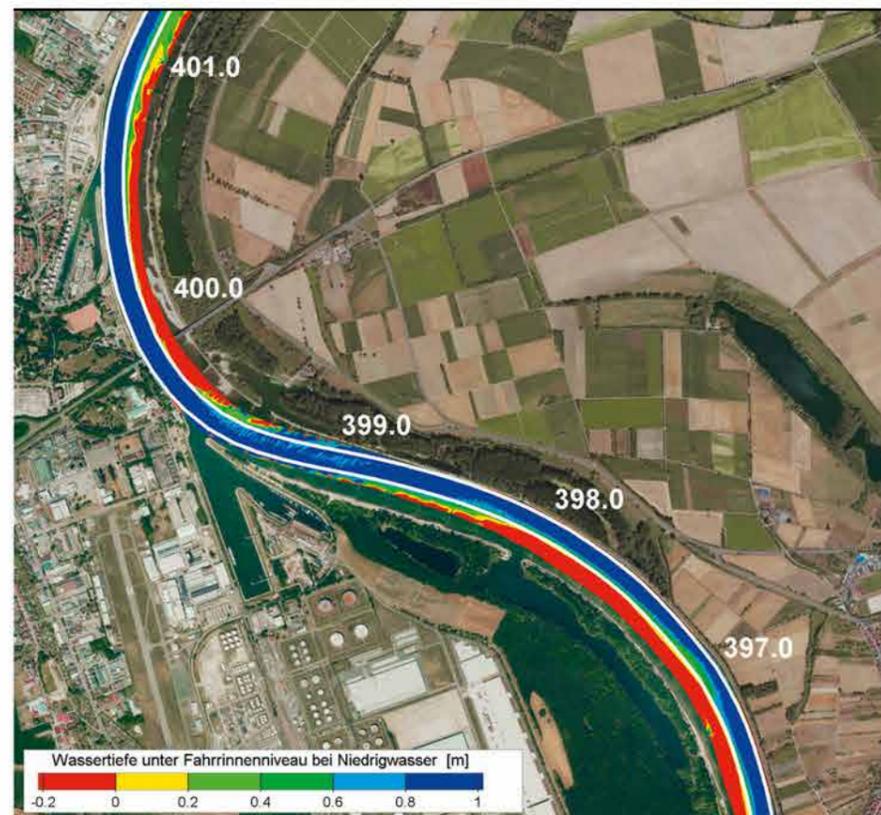


Bild 5: Bauausführung Weidenspreitlage zur Ufersicherung am Kühkopf/Rhein

mit der BfG wurde sichergestellt, dass die Erhebungen auch für hydromorphologische, ökologische und chemische Analysen genutzt werden können.

Nur anhand eines fundierten Monitorings ist der Erfolg einer Maßnahme beurteilbar und damit die Möglichkeit gegeben, positive wie auch negative Erfahrungen für weitere Projekte zu nutzen. Dabei ist es unverzichtbar, nicht nur über hinreichende und hochqualitative Daten des Zustands vor Umsetzung der Maßnahme zu verfügen, sondern diese auch über Jahre nach Umsetzung der Maßnahme zu sammeln. Dies dient dem Zweck, einen belastbaren Vergleich zu ermöglichen und so die Wirkung der Maßnahme im Sinne der ökologischen Ziele, aber auch im Hinblick auf etwaige Auswirkungen auf die Schifffahrt, beurteilen zu können.

Um die hydraulischen und morphologischen Auswirkungen der Maßnahme zu ermitteln, wurde auf Basis der erhobenen Daten ein mathematisches Modell aufgebaut und kalibriert. Ziel dieses Modells ist es, verschiedene Varianten der Anschlüsse und Gestaltung der Nebenrinnen im Vorland zu berechnen und damit eine wichtige Grundlage zur Bewertung der Varianten zu erhalten. Aus den Modellberechnungen zeigte sich beispielsweise, dass bei einer Mindestbreite von 10 m eine Sohlage des Nebengrundes von 30 cm unter dem niedrigsten bekannten Wasserstand technisch möglich ist. Somit kann eine ständige Durchströmung der Nebenrinnen erreicht werden. Die Absenkung der Wasserspiegel im Bereich der Fahrrinne bleibt in einer für die Schifffahrt nicht relevanten Größe. Eine Analyse der Strömungsverhältnisse der Ein- und Auslaufbereiche zeigt zudem, dass für die Schifffahrt keine negativen Einflüsse aus Querströmungen zu erwarten sind. Mit Hilfe dieser Ergebnisse, die für unterschiedliche Wasserstände durchgeführt wurden, und den Informationen über den Sohlaufbau steht nun die Datenbasis zur Verfügung, um durch die Projektpartner eine Einschätzung der ökologischen Wirksamkeit der Variante vornehmen zu können.

Uferrenaturierung Kühkopf-Knoblochsau

Hessens größtes Naturschutzgebiet Kühkopf-Knoblochsau liegt westlich von Darmstadt und grenzt an den Rhein. Im Rahmen des Modellprojekts „Kühkopf-Knoblochsau“ (Rhein-km 474,0 bis 476,5) wurde das Uferdeckwerk am rechten Ufer oberhalb und teilweise unterhalb des mittleren Wasserstands entfernt. Darüber hinaus wurden zur Etablierung einer Weichholzaue Hybridpappeln entnommen und ein Uferweg verlegt. Neben der Entwicklung der Weichholzaue ist das Ziel dieser Maßnahme die Schaffung neuer Lebensräume durch eine eigendynamische Entwicklung des Ufers. Anlass zur besonderen Vorsicht gab der Fund von Munitionsresten während einer Begehung.

Wesentliche Aufgabe der BAW in diesem Projekt war es, das WSA Oberrhein hinsichtlich geotechnischer Fragestellungen zur Uferstabilität zu beraten. Da die Strecke, insbesondere aufgrund unterschiedlicher Abstände der Fahrrinne zum Ufer, unterschiedlichen Belastungen unterworfen ist, musste die Frage nach Umfang und Art einer gegebenenfalls erforderlichen Ufersicherung beantwortet werden. Dabei kam die durch die BAW entwickelte Software GBBSoft+ zum Einsatz. Mit dieser Software können neben Schüttsteindeckwerken auch technisch-biologische Ufersicherungen, d. h. Ufersicherungen mit Pflanzen, dimensioniert werden. Im Ergebnis konnte die aktuell bereits umgesetzte Maßnahme empfohlen werden. In Bereichen mit technisch-biologischer Ufersicherung kamen Weidenspreitlagen (Bild 5) und begrünte Steinschüttungen als Ersatz für die vorhandenen Deckwerke zum Einsatz.

Uferrenaturierung Laubenheim

Das Modellprojekt „Uferrenaturierung Laubenheim“ befindet sich im Bereich südlich von Mainz zwischen Rhein-km 490,6 und 492,5 und konnte im Jahr 2019 erfolgreich umgesetzt werden. Das Projektgebiet ist dabei in zwei Teilgebiete unterteilt. Im südlichen Bereich wurde

das Uferdeckwerk überwiegend entfernt. Im nördlichen Teil umfasst die Maßnahme neben der Beseitigung von Einrichtungen eines ehemaligen Campingplatzes die Verlegung eines Betriebswegs. In der Folge soll das Areal in Kooperation mit der Stadt Mainz als Naherholungsgebiet umgestaltet werden.

Aufgabe der BAW war es, analog zu dem zuvor genannten Projekt Kühkopf-Knoblochsaue, den Rückbau des Uferdeckwerks zwischen Rhein-km 491,6 bis km 492,5 fachwissenschaftlich zu begleiten. Auch hier ging es um die Frage der Umsetzbarkeit einer vollständigen Uferentsteinung, um positive ökologische Effekte einer freien Gleitferentwicklung zu ermöglichen. In Bereichen mit größeren schiffsinduzierten Belastungen und Anforderungen an ein stabiles Ufer wurde die Machbarkeit technisch-biologischer Ufersicherungen geprüft. Nach den entsprechenden Untersuchungen und Berechnungen der BAW kann das Ufer mit begrüntem Steinschüttungen ausreichend gesichert und gleichzeitig ökologisch aufgewertet werden. Die Ausbreitung einer typischen Vegetation der Weichholzaue, vornehmlich der Weiden, wird gefördert. In Bereichen mit vollständiger Entsteinung der Böschung (Bild 6) kann sich eine eigendynamische Entwicklung des

Ufers ausbilden, sodass sich strukturreiche Bereiche mit neuen Lebensräumen für Flora und Fauna entwickeln können. Langfristig kann damit das Ziel erreicht werden, ein naturnahes Ufer herzustellen.

Ufer- und Vorlandaufwertungen Weserschleifen

Das Projekt Weserschleifen im Bereich des WSA im niedersächsischen Verden besteht aus vier Teilprojekten, von denen zwei (Schlüsselburg, Weser-km 236,8 bis 238,0 und Jössen, Weser-km 217,3 bis 218,7) bereits umgesetzt sind. Da die Teilprojekte Grube Baltus (Weser-km 223,2 bis 224,5) und Windheimer Marsch (Weser-km 219,05 bis 220,75) im Vorlandbereich liegen, unterliegen sie dem Landesrecht und konnten bisher nur planerisch bearbeitet werden und wurden demnach noch nicht umgesetzt. Für die gewerbliche Schifffahrt ist nur ein Teilbereich des Projekts „Grube Baltus“ von Bedeutung. In den übrigen Bereichen sind schiffahrtliche Belange nur seitens des WSA zu beachten.

Das Teilprojekt „Buhnenfelder Schlüsselburg“ liegt im Unterwasserbereich der gleichnamigen Stauanlage. Hier sind am rechten Ufer in einer Gruppe von 19 Buhnen



Bild 7: Bauliche Anpassung einer Buhne im Unterwasser der Staustufe Schlüsselburg mit dem Ziel der ökologischen Aufwertung dieses Bereichs

Uferentsteinungen, die Umgestaltung einzelner Buhnen (Bild 7) sowie der Einbau von Flussholz umgesetzt worden. Morphologisch besonders sensibel ist der Uferbereich direkt unterhalb des Wehres aufgrund einer relativ starken Einschnürung des Vorlands. Dadurch ist mit erhöhten Belastungen der Ufer zu rechnen. Somit wurden die ersten Buhnenfelder nicht verändert. In acht Buhnen unterstrom dieses Bereichs wurden Kerben eingebaut, die in den Buhnenfeldern eine größere Vielfalt der vorhandenen Korngrößen an der Sohlfläche ermöglichen sollen. In Kombination mit dem eingebrachten Flussholz kann so eine größere hydraulische und morphologische Vielfalt im Uferbereich entstehen; ein Aspekt, der der Schaffung strukturreicher Lebensräume dient und so bei der Erreichung der ökologischen Projektziele eine bedeutende Rolle spielt. Die BAW begleitete die Planung und Umsetzung der Maßnahme beratend.

Im Teilprojekt „Gleitferentwicklung Jössen“ wurden zwei Nebenrinnen zur häufigeren Vernässung miteinander verbunden und die Überflutungshäufigkeit der Vorlandstrukturen durch eine tiefere Sohlage im Einlaufbereich (Bild 8) erhöht. Zusätzlich wurde Flussholz am Ufer in die Weser eingebracht. In dem Projekt konnte die BAW Hinweise zur Verankerung des Flussholzes und zur Hochwasserneutralität geben.

In den Teilprojekten Grube Baltus sowie Windheimer Marsch sind jeweils die Anbindungen von Baggerseen im Vorland vorgesehen. Im Bereich der Windheimer Marsch ergibt sich dadurch die Möglichkeit, auch Flächen der dort vorhandenen Aue zu entwickeln. Beide Projekte sind derzeit in der Planung und werden durch die BAW mit hydronumerischen Untersuchungen begleitet.



Bild 6:
Modellprojekt Laubenheim:
Ufer im südlichen Projektbereich vor und nach der Entsteinung



Bild 8:
Modellprojekt Jössen:
Sicherung des tiefer gelegten Einlaufbereichs in die Nebenrinnen



Die neue ATAIR

Ein Hightech-Schiff für die Wissenschaft

Mit der ATAIR wird das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) im Jahr 2020 sein erstes mit Liquefied Natural Gas (LNG) angetriebenes Spezialschiff in Betrieb nehmen.

Das Jahr 2019 war für die im Bau befindliche ATAIR ein ganz besonderes. Mit der Taufe am 30. September 2019 und der offiziellen Namensgebung rückte das Spezialschiff nach 33-monatiger Planungs-, Konstruktions- und Bauzeit in seine finale Phase, bei dem die ATAIR und die vielen schiffstechnischen und wissenschaftlichen Systeme an Bord schrittweise in Betrieb genommen und erprobt wurden. Um diese Phase termingerecht abzuschließen, arbeiten die Teams der Fassmer Werft sowie der Unterauftragnehmer sehr eng mit den Teams des BSH sowie der BAW zusammen.

Die Idee

Das Projekt begann im Jahr 2014, als das heutige Konzept entwickelt wurde. Damals galt es, für die künftigen Aufgaben des BSH in der Seevermessung, der Wracksuche, der Erprobung von Radar- und Navigationsgeräten sowie der Meeresumweltüberwachung ein innovatives, multifunktionales und insbesondere umweltfreundliches Schiff zu entwerfen. Mit ihm sollte das im Jahre 1987 in Dienst gestellte Vorgängerschiff gleichen Namens ersetzt werden.

Der Projektbeginn der neuen ATAIR begründete auch das Erneuerungsprogramm der vorhandenen Flotte des BSH, die nun auf bestehende und neue Aufgaben ausgerichtet wird und gleichzeitig aktuelle und künftig zu erwartende Standards bei der Nutzung innovativer Technologien sowie künftiger Umweltstandards auf Schiffen des Bundes setzt. In ersten Gesprächen zwischen BSH und BAW wurden die wesentlichen technischen Anforderungen definiert. Die Seegangs- und Manövriereigenschaften sollten für Fahr-

ten in Nordsee, Ostsee und den Nordostatlantik optimiert sein. Räume und Arbeitsbereiche sollten möglichst modular gestaltet sein, um problemlos für spezifische Einsätze ausgestattet zu werden. So sollten etwa mobile Elemente, wie Winden, Containerstellplätze, Laborausstattung bis hin zu einer Druckkammer für Tauchsätze, passend zu den jeweils geplanten Einsatzszenarios eingebaut werden können. Darüber hinaus sollten zwei zu entwickelnde Vermessungsboote in den Gesamtentwurf integriert werden, die dann vom Mutterschiff autark operieren können. Die Anforderungen wurden noch dadurch erhöht, dass Schall und Vibrationen im Schiffsinnen begrenzt werden und unter Wasser die Grenzkurve des DNV-GL Klassezusatzzeichens Silent R erfüllt werden sollte. Solche Unterwasserschallgrenzkurven mussten bislang vor allem Schiffe im Einsatz der deutschen Fischereiforschung (FFS SOLEA) und der Meeresforschung (FS SONNE) erfüllen. Für die zu erwartende Einsatzzeit der neuen ATAIR von bis zu 25 Jahren stehen die hohen Anforderungen gleichermaßen für eine Investition in die Zukunft.

Im Rahmen des Projekts wurde intensiv über die Nutzung alternativer Kraftstoffe diskutiert, wobei es vor allem darum ging, die Abgasemissionen zu reduzieren. Das vielseitige und in seinem jeweiligen Leistungsbedarf sehr variierende Fahr- und Einsatzprofil eröffnete erstmalig die Möglichkeit, für ein seegehendes Schiff des Bundes eine zukunftsorientierte technische Lösung mit dem neuen Schiffskraftstoff LNG anzugehen. Die hieraus folgenden technisch-konzeptionellen Überlegungen brachten sehr schnell die Erkenntnis, dass der Neubau der ATAIR mit LNG und der verbundenen

Bild 1:
Darstellung des überschlägig ermittelten, zusätzlichen Bauraums zur Integration eines ca. 300 m³ fassenden LNG-Tanks

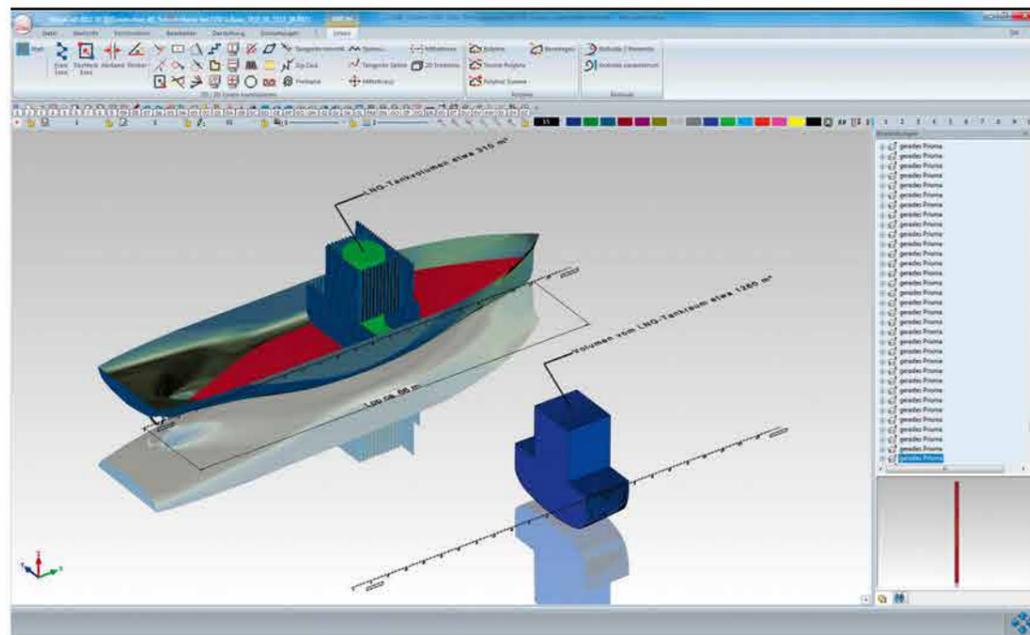


Bild 2: „Artist Impressions“

speziellen Tankinfrastruktur deutlich größer als ihre Vorgängerin ausfallen würde (Bild 1). Grund hierfür ist die deutlich geringere Dichte von LNG (450 kg/m³) und die Tatsache, dass in etwa das doppelte Tankvolumen erforderlich wird, um eine adäquate Kraftstoffmenge im Vergleich zum üblichen Marine Gasöl (MGO, Dichte 890 kg/m³) mitzuführen. Existierende Unterschiede in der Energiedichte der beiden Kraftstoffe und deren Auswirkungen auf tatsächlich benötigte Mengen bleiben hierbei noch unberücksichtigt. Hinzu kommt, dass für das tiefkalte LNG (-162°C) spezielle Tanks erforderlich sind, die mittels hochwertiger Isolierungen verhindern sollen, dass sich der Kraftstoff erwärmt und dadurch der Druck ansteigt. Diese Tanks sind nicht wie üblich Teil der Schiffsstruktur, sondern erfordern zusätzlichen Bauraum. Die Tanks dürfen dazu nur unter vorgeschriebenen Mindestabständen montiert werden (u. a. IGF Code, International Code of Safety for Ship Using Gases or Other Low-flashpoint Fuels).

Auf Basis der nun gewonnenen Erkenntnisse wurde entschieden, dass mindestens 25 % der erforderlichen Energieerzeugung für den Bordbetrieb über LNG sichergestellt werden sollte. Diese Anforderung wurde Maßgabe im bevorstehenden Wettbewerb und für die folgenden konkretisierenden Planungen durch die Werften. Dies schien aus Sicht von BSH und BAW am Ende der ersten groben Entwurfsschleife für diesen Neubau der richtige Ansatz zu sein.

Das gewählte Verfahren

Auf Basis der vielschichtigen Erfahrungen des Referats Schiffstechnik der BAW bei Vergabeverfahren für Planung und Bau von Spezialschiffen wurde ein Verhandlungsverfahren mit vorgeschaltetem EU-weiten Teilnehmerwettbewerb ausgewählt, um den Neubau zu realisieren. Bereits mit diesem Teilnehmerwettbewerb wurden die Werften aufgefordert, neben ihrer üblichen Prozedur zur

Qualifikation zum Verfahren eine sogenannte „Arbeitsprobe LNG“ abzugeben. Die „Arbeitsprobe LNG“ hatte zwei Hauptziele: Zum einen sollten die Werften erste konzeptionelle Überlegungen anstellen, ob und inwieweit sich eine Teilmenge LNG zur Energieerzeugung mit den Aufgabenstellungen und Anforderungen an das Schiff vereinbaren lässt. Zum anderen sollten die Werften abschätzen, wie hoch die entstehenden zusätzlichen Kosten sind. Beide Aufgabenstellungen der „Arbeitsprobe LNG“ wurden von den teilnehmenden Werften beantwortet und bestätigten die bereits im Vorwege gewonnenen Erkenntnisse aus der BAW-internen Konzeptphase.

Das Ergebnis der „Arbeitsprobe LNG“ im Rahmen des Teilnahmewettbewerbs führte letztlich zur Freigabe des vorgesehenen technischen Konzeptes mit einer optimierten Teilmenge LNG, wobei der Mehrbedarf an Haushaltsmitteln seitens des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur gedeckt wurde.

Im August 2015 startete dann das eigentliche Angebotsverfahren mit dem Ziel, Anfang 2016 die ersten indikativen Angebote zu erhalten. Die dabei ausgewählten Bieter sollten nun auf Basis der gestellten Anforderungen und den gegebenen Freiheitsgraden ein Schiffskonzept entwickeln, das eine effiziente und insgesamt wirtschaftliche Lösung darstellt. Auf eine Planungshilfe in Form eines detaillierten Generalplans, der sonst üblicherweise den Vergabeunterlagen beigelegt wird, wurde in diesem Falle bewusst verzichtet. Der sich anschließende Wettbewerb zeigte deutlich, dass die gewählte Art des Verfahrens richtig war, auch weil die Aufgabe an sich äußerst anspruchsvoll war. Die Werften entwickelten strukturell sehr unterschiedliche Schiffskonzepte, vom Monohull (Einrumpfwurf) bis hin zu einem SWATH-Entwurf mit Doppelrumpf. Final setzte sich dann der Monohull-Entwurf der Fassmer Werft GmbH & Co KG durch (Bild 2). Der Vertrag zum Bau der neuen

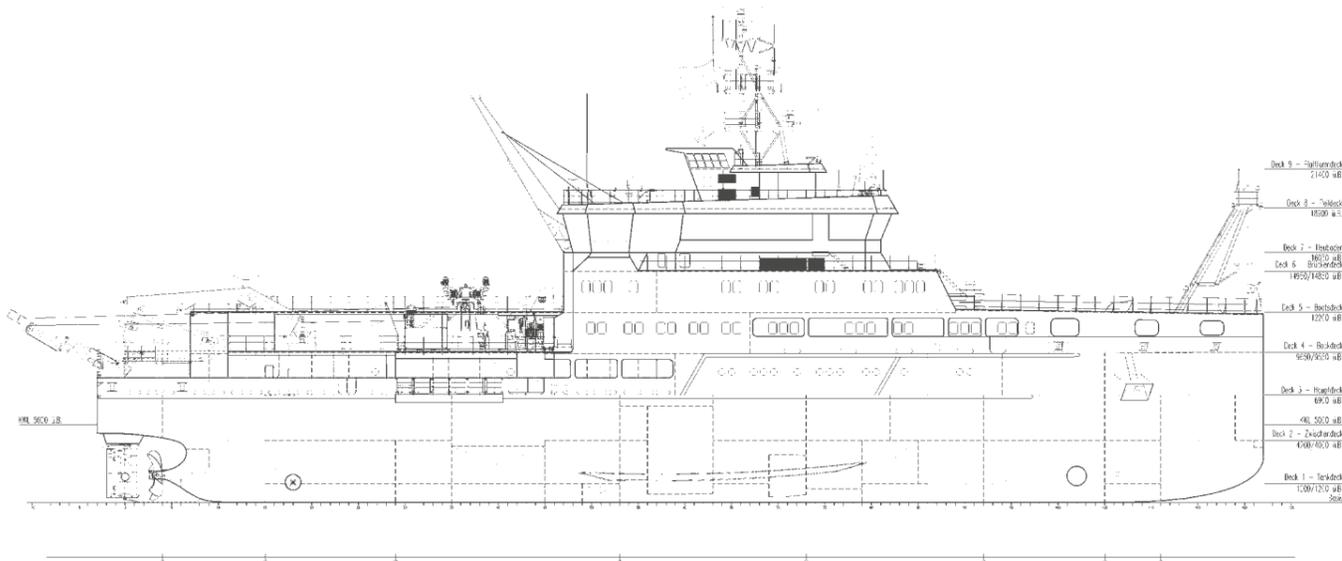


Bild 3: Seitenansicht – Auszug aus Generalplan ATAIR

ATAIR konnte im Dezember 2016 unterzeichnet werden. Die Auftragssumme belief sich auf nahezu 114 Mio. €.

Das Konzept

Das neue Vermessungs-, Wracksuch- und Forschungsschiff (Bild 3) verfügt über eine Länge von 75 m, eine Breite von 16,80 m, einen Tiefgang von 5,00 m und erreicht eine Vertragsgeschwindigkeit von 13 Knoten. Insgesamt 18 Besatzungsmitglieder und 15 Wissenschaftler sind in funktionalen und komfortablen Kammern untergebracht. Das Schiff verfügt über eine Diesel-Gas-Elektrische Energieversorgung, bestehend aus zwei 6-Zylinder Wärtsilä 6L20DF Dual Fuel-Motoren sowie einem 6-Zylinder Wärtsilä 6L20 Dieselmotor. Einer der zwei Dual Fuel-Motoren wird ausschließlich mit LNG als Gasmotor betrieben, der zweite kann sowohl mit LNG als auch mit Diesel betrieben werden. Zwei vollständige Abgasnachbehandlungsanlagen an Bord bestehen aus SCR Katalysator sowie einem Rußpartikelfilter und sorgen dafür, dass die vorgeschriebenen Emissionsgrenzwerte für Stickoxide und Rußpartikel eingehalten werden. Das gelingt auch dank hochwertigem Diesels mit einem Schwefelgehalt von < 0,1 %, weshalb sowohl die Grenzwerte der International Maritime Organisation (IMO) Tier III samt der zugrunde liegenden US-Richtlinie EPA Tier IV unterschritten werden.

Im Hinblick auf die generelle Anforderung, ein in allen Belangen umweltfreundliches Schiff zu bauen, werden weitere Maßnahmen zur Erlangung des Umweltzeichens „Blauer Engel für Schiffsdesign“ verwirklicht. Ein siebenflügeliger, geräuschoptimierter Propeller treibt das Schiff an, der von einem 1.600 kW leistenden elektrischen

Fahrmotor angetrieben wird. Ein 1.000 kW Pumpjet sowie 330 kW Bugstrahler im Vorschiff und ein 200 kW Heckstrahler sorgen für höchste Manövrierfähigkeit, um das Schiff zu positionieren. Ein dynamisches Positionierungssystem (DP) unterstützt die Schiffsführung, um Positionen präzise halten zu können. Die an Bord befindlichen Kraftstoffmengen von 130 m³ LNG sowie 200 t Dieselmotor ermöglichen den Betrieb des Schiffes unter Gas für bis zu 10 Tage; mit dem Dieselmotor an Bord werden Einsatzzeiten von bis zu 30 Tagen möglich. Neben zwei Nasslaboren, einem Trockenlabor, einem Ozeanographie- und Hydrographielabor und weiteren Einrichtungen für die Wissenschaft verfügt das Schiff zusätzlich über ein freies Arbeitsdeck von 200 m² mit Stellplätzen für Labor- bzw. Transportcontainer, Stellplätze für mobile Winden sowie fest installierte Drahtseil- und Einleiterwinden für Arbeiten mit unterschiedlichen wissenschaftlichen Geräten. Ein weiteres Markenzeichen der neuen ATAIR ist das Hebezeugkonzept, das vielseitig eingesetzt werden kann. Wesentlich hierbei sind ein Heckgalgen zum Schleppen von meereskundlichen und hydrographischen Geräten sowie ein Arbeitskran und ein Schiebebalken für geologische Arbeiten am Meeresboden. Die bordseitige Installation einer Taucherdruckkammer ermöglicht es, beispielsweise für die Suche und Erkundung von Wracks umfangreiche Tauchgänge zu unternehmen. Neben der Antriebstechnologie setzt damit auch die moderne Ausrüstung der ATAIR neue Maßstäbe.

Die Brücke ist auf spezielle Einsatz- und Anwendungsfälle konzipiert, mit drei Arbeitsplätzen für die Schiffsführung, einem für die Vermessung ausgelegten Arbeitsbereich an der Steuerbordseite sowie einem weiteren für die Erpro-



Bild 4: Unterwasseransicht auf ausgefahrenes Fächerecholot

bung der zuzulassenden Navigationseinrichtungen. Die Schiffsführung verfügt über ein integriertes Navigationssystem, das mit frei programmierbaren Bildschirmen und mit teilweise vorhandener Touchfunktion auf spezielle Anforderungen angepasst werden kann. Ein leistungsfähiges Lichtwellenleiter (LWL)-Netzwerk sorgt für den Datentransfer für sämtliche schiffsseitige Systeme und vernetzt auch die hydroakustischen Anlagen. Dazu gehört neben einem Fächerecholot (Bild 4) ein

Vertikalecholot, ein Seitensichtsonar (Side Scan Sonar), ein Voraussichtsonar, ein Sediment-Echolot und ein Profil-Strömungsmesser sowie ein Unterwasser-Positionierungssystem, also alles, was ein zeitgemäßes und modern ausgestattetes Forschungsschiff heute ausmacht.

Zuletzt sind auf der Backbordseite zwei 10 m lange und rund 15 Knoten schnelle Tochterboote integriert (Bild 5). Diese können über jeweils einen Einarmdavit

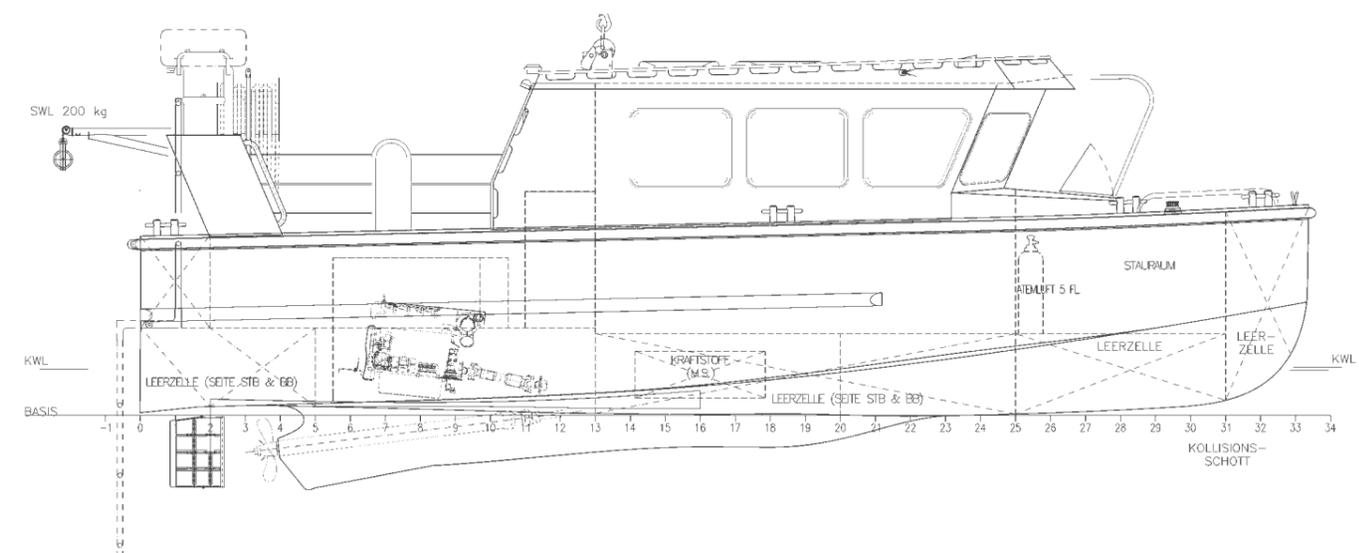


Bild 5: Seitenansicht – Auszug aus dem Generalplan Vermessungsboote



Bild 6: Blick in das große Baudock – Baubeginn mit erster Sektion

Nach zehnmonatiger Planungs- und Konstruktionsphase und ca. 16 Monaten Bauzeit schwamm die ATAIR im Februar 2019 erstmals im Baudock auf.

mit Fangleine aus- bzw. eingeholt werden. Sie sollen flache Küstengewässer vermessen und als Plattform für Taucherarbeiten dienen. Die Tochterboote können vom Mutterschiff autark operieren und erfüllen die dafür notwendigen Vorschriften. In einer frühen Phase des Projektes war noch geplant, die Tochterboote mit einem Batterieantrieb oder wahlweise mit einem Hybridantrieb auszurüsten. Zum Zeitpunkt dieser Überlegungen lieferten die am Markt verfügbaren Technologien aber noch kein zufriedenstellendes Ergebnis. Für die Boote auf den Nachfolgeschiffen soll diese Überlegung wieder aufgenommen werden.

Die bisherige Fertigung

Nach zehnmonatiger Planungs- und Konstruktionsphase wurde im Oktober 2017 der Brennstart vollzogen, womit die Fertigung des Neubaus begann. Die Fassmer Werft hatte die Fertigung des Schiffskörpers sowie einen Teil der Vorausrüstung an ihren Unterauftragnehmer vergeben, die German Naval Yards in Kiel. Dort erfolgte fertigungsbegleitend auch die komplette Innen- und Außenkonservierung.

Im Dezember 2017 wurde die Kiellegung in Anwesenheit des parlamentarischen Staatssekretärs Enak Ferlemann feierlich begangen. Im Anschluss wurden die Sektionen und Blöcke des Neubaus sukzessive im großen Baudock der German Naval Yards zusammengebaut (Bild 6). Da laut

Vertrag wetterunabhängig gefertigt werden sollte, wurde im Dock über den wachsenden Neubau eine „fliegende Halle“ aus Gerüstkonstruktion und Planen errichtet. Im Februar 2019 wurde der Neubau (Bild 7) dann mit seinem Element vertraut gemacht und schwamm erstmals im Baudock auf, ein für alle Beteiligten spannender Moment.

Im März 2019 wurde das in wesentlichen Teilen vorausgerüstete Schiff dann zur Fassmer Werft nach Berne überführt. Dort wird das Schiff endausgerüstet: Mit fortschreitendem Bau werden die schiffstechnischen Systeme vervollständigt, in Betrieb genommen und erprobt. Eine anspruchsvolle und intensive Arbeit, die sich über viele Monate erstreckt und ein schlagkräftiges Team als Bauaufsicht vor Ort benötigt. Ein Team aus dem Referat Schiffstechnik der BAW mit Kollegen aus den Fachbereichen Schiffbau, Maschinenbau, Elektrotechnik sowie Nachrichtentechnik nimmt von Beginn an diese Aufgabe

wahr. Unterstützt wird es durch die Inspektion des BSH sowie die sukzessiv hinzustoßenden Besatzungsmitglieder der neuen ATAIR. Über einen im Jahre 2018 geschlossenen Rahmenvertrag lässt sich die BAW zudem von einem externen Dienstleister unterstützen, um auf der Baustelle vor Ort Spitzenlasten aufzufangen. Auch diese für die BAW neue Zusammenarbeit funktioniert sehr gut und ist ein Zugewinn für die Qualitätssicherung der neuen ATAIR. Das Jahr 2020 wird letztlich die Gewissheit bringen, wie gut das gemeinsame Projekt vorbereitet war und durchgeführt wurde. Es ist geplant, das Schiff ausgiebig auf mehreren Probefahrten zu erproben, bevor es im ersten Quartal 2020 an das BSH übergeben wird.

Auch in Zukunft geht es mit anderen Schiffsneubauten weiter: Die Flottenerneuerung wird nach heutiger Kenntnis mit den Ersatzbauten der Vermessungsschiffe DENEK und WEGA fortgesetzt.

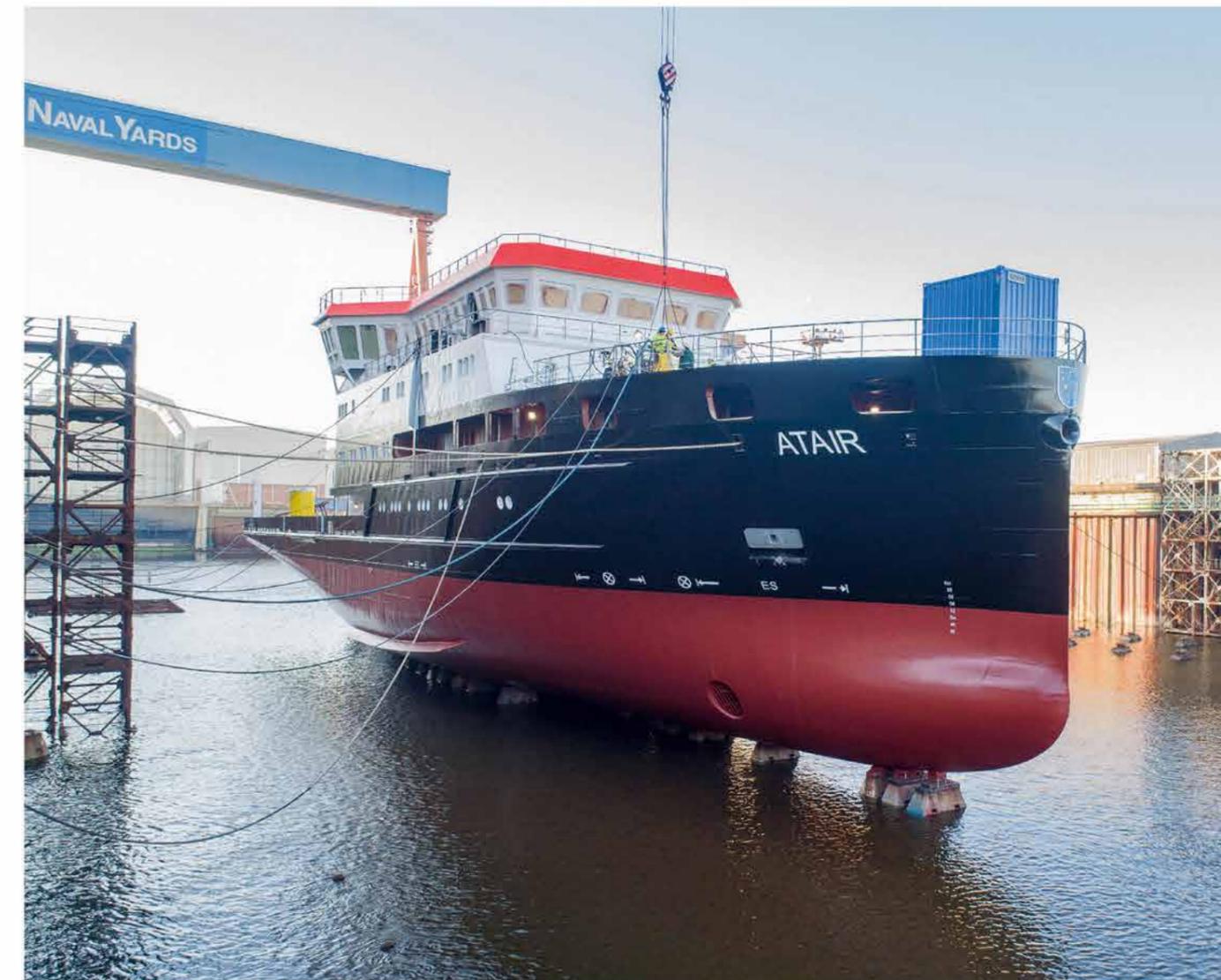
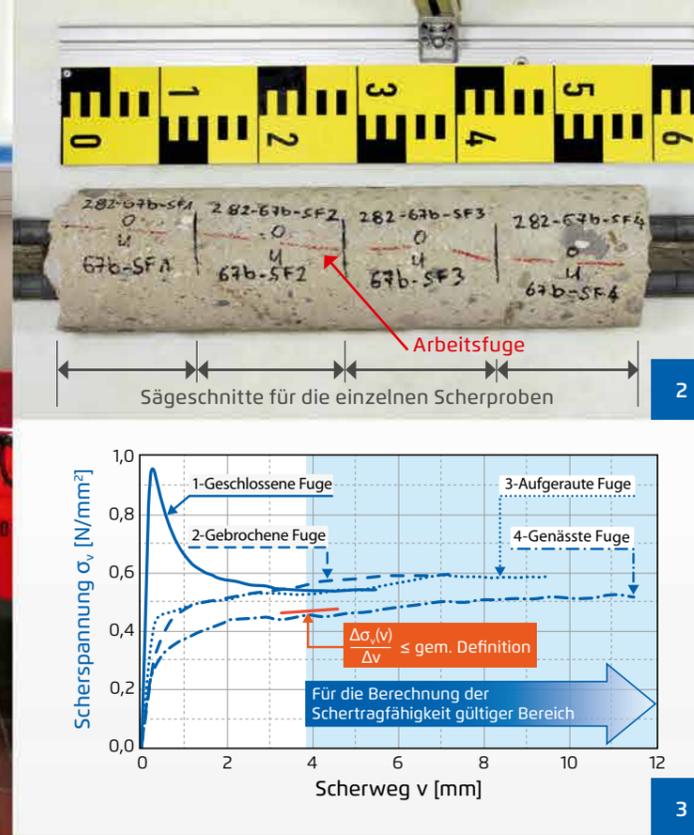


Bild 7: Aufschwimmen im Baudock bei German Naval Yards, Kiel



Scherfestigkeit von Beton und Mauerwerk an bestehenden Wasserbauwerken

Für bestehende Wasserbauwerke der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes sind innerhalb der Baubestandsunterlagen Bestandsstatiken vorzuhalten, die weitestgehend den heutigen allgemein anerkannten Regeln der Technik für bestehende Wasserbauwerke entsprechen. Allerdings fehlen nach den Erfahrungen aus der Beratungstätigkeit der BAW entsprechende Unterlagen für viele Bauwerke und sind dementsprechend neu aufzustellen bzw. zu ergänzen. Unabhängig hiervon besteht grundsätzlich die Notwendigkeit, im Rahmen von Begutachtungen hinsichtlich der Standsicherheit auffällige Bauwerke statisch zu bewerten. Bei massiven Wasserbauwerken aus unbewehrtem Beton oder Mauerwerk ist die Bewertung der Sicherheit in Bezug auf Gleiten in den Arbeitsfugen von essenzieller Bedeutung. Dieser Nachweis wird auf Basis des BAWMerklblatts „Bewertung der Tragfähigkeit bestehender, massiver Wasserbauwerke (TbW)“ gemäß den Vorgaben in DIN EN 1992-1-1:2011-01, Abschnitt 6.2.5, geführt. Die hierzu notwendigen Reibungsbeiwerte, welche in pauschalierter Form aus der für Neubauten geltenden Grundlagnorm entnommen werden, sind als eher konservativ einzuschätzen. Zudem bleiben die speziellen Verhältnisse im Wasserbau unberücksichtigt. Durch realitätsnähere Kenngrößen und Modellierung können Reserven bei der rechnerischen Bewertung bestehender Wasserbauwerke erschlossen und somit,

insbesondere im Falle älterer in Stampfbetonbauweise errichteter Betonbauten, entsprechende Nachweise überhaupt erst ermöglicht werden.

Vor diesem Hintergrund verfolgte das Forschungs- und Entwicklungsprojekt „Scherfestigkeit von Beton und Mauerwerk an bestehenden Wasserbauwerken“ grundsätzlich zwei Hauptziele: Ein zentraler Arbeitsschwerpunkt bestand in der Erarbeitung von Vorgaben für die Durchführung von Scherversuchen und in der experimentellen Bestimmung relevanter und repräsentativer Scherparameter für Wasserbauwerke mittels des Rahmenschergeräts der BAW, Abteilung Bautechnik, Referat Baustoffe (Bild 1). Eine weitere Zielsetzung stellte die Überprüfung der Eignung der oben angesprochenen Bemessungsansätze zur statischen Bewertung der Schertragfähigkeit für wasserbauliche Konstruktionen dar. Die durchgeführten Tätigkeiten umfassten eine Literaturrecherche sowie experimentelle, numerische und theoretische Arbeiten. Der Fokus lag dabei auf dem Baustoff Beton. Im Allgemeinen lassen sich jedoch alle erzielten Ergebnisse auch auf Mauerwerk übertragen.

Der erhobene aktuelle Sachstand umfasst die Vorgehensweise zur versuchstechnischen Ermittlung von Scherfestigkeitskennwerten an Beton und Mauerwerk sowie deren

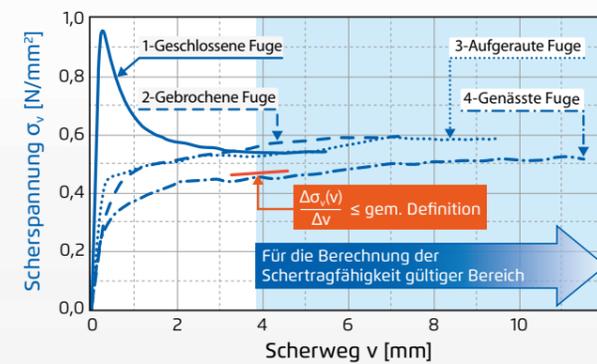
Verwendung in den gängigen Nachweisformaten der europäischen und internationalen Bemessungsstandards. Ferner geht er auf theoretische Untersuchungen zur Aufstellung eines statischen Basismodells ein.

Die experimentellen Arbeiten begannen mit der Validierung des Rahmenschergeräts im Baustofflabor der BAW. Anschließend erfolgten Voruntersuchungen zur Festlegung der Vorgehensweise hinsichtlich Probenpräparation, Probeneinbau und Prüfparametern. Die Erkenntnisse mündeten in der Ausarbeitung eines einheitlichen Konzepts zur Durchführung von Laborscherversuchen zur Bestimmung der maßgebenden Scherfestigkeitsgrößen für die Berechnung der Tragfähigkeit bestehender Wasserbauwerke.

Im Rahmen einer sich anschließenden Versuchsreihe wurden Laborproben mit modellierten künstlichen Fugentopologien zur Erkundung des Einflusses der Oberflächenbeschaffenheit der Fugen auf das Scherverhalten untersucht. Anhand der gewonnenen Erkenntnisse lassen sich Kontakteigenschaften in der Fuge, wie beispielsweise Adhäsion und/oder Verzahnung, aus den Scherspannungsverläufen erkennen. Ferner wurde in weiteren Versuchen die Auswirkung verschiedener praxisrelevanter Oberflächenbehandlungen der Arbeitsfugen auf deren Scherwiderstand quantifiziert.

Zur Überprüfung der Übertragbarkeit der mittels Rahmenschergerät bestimmten Scherkenngrößen auf reale Bestandsbauwerke fanden zum einen Untersuchungen zur Charakterisierung der Größenabhängigkeit der Scherkennwerte statt. Das Versuchsprogramm beinhaltete Laborproben mit Kantenlängen von 150 mm, 200 mm und 800 mm. Die Oberflächeneigenschaften der Arbeitsfugen entstanden dabei durch Abziehen, Rechen und Hochdruckwasserstrahlen. Die Untersuchungsergebnisse bestätigten einen aus-

1: Rahmenschergerät des Referats Baustoffe
2: Bohrkernbeispiel für eine Bauwerksprobe aus der Schleuse Kiel-Holtenau mit erkennbarer, intakter Arbeitsfuge
3: Änderung des Materialwiderstands in der Arbeitsfuge infolge mehrfacher Scherbeanspruchung sowie deklariertes Kriterium für die Bestimmung der für statische Nachweisführungen relevanten Scherfestigkeit



geprägten Einfluss der Scherflächengröße auf die Scherparameter, wie beispielsweise die Scherfestigkeit bzw. die Reibungskoeffizienten. Eine differenzierte Betrachtung der vordergründig von der Oberflächenrauheit und -welligkeit abhängigen Bestandteile des Reibungskoeffizienten legt die Vermutung nahe, dass lediglich die Rauheit der Arbeitsfuge mit dem Maßstabeffekt behaftet ist. Belastbare Aussagen hierzu bedürfen zwar noch zukünftiger Forschung, jedoch lieferten diese Versuche bereits elementare Informationen im Hinblick auf eine weiterführende Modellbildung des Schertragverhaltens.

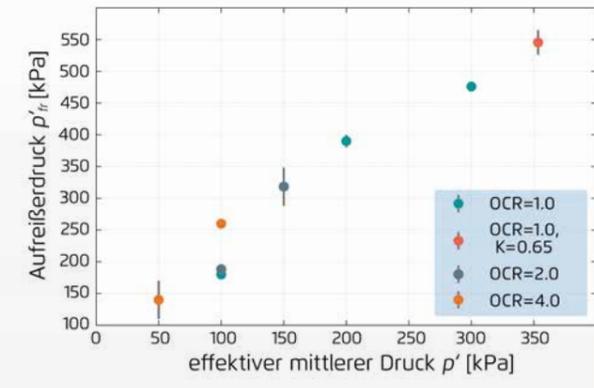
Zum anderen ergaben Rahmenscherversuche an Bestandsproben aus der Großen Schleuse in Kiel-Holtenau (Bild 2, links) wirklichkeitsnahe Scherparameter im Vergleich zu den im Vorfeld geprüften Laborproben. Die untersuchten Bauwerksproben aus der Schleuse Kiel-Holtenau wiesen offene, gebrochene und geschlossene (intakte) Arbeitsfugen auf. Die Messdaten zeigten ein mannigfaltiges Scherverhalten der geprüften Bohrkern. Dennoch ließen sich charakteristische Messkurven für verschiedene Fugenbeschaffenheiten identifizieren.

Eine zentrale Aufgabe im Zusammenhang mit der Durchführung der Rahmenscherversuche bestand in der Datenaufbereitung der Messwerte. Voreinstellungen des Rahmenschergeräts u. v. a. m. machten mehrere Korrekturschritte sowie die Anwendung unterschiedlicher Glättungsmethoden zwingend erforderlich. Anschließende Studien fokussierten auf die verschiedenen Auswertungsmöglichkeiten zur Berechnung der relevanten Scherparameter und die daraus resultierenden Folgen. Die umfangreichen Versuchsergebnisse sowie Erkenntnisse mündeten in Empfehlungen für die zukünftige Verwendung der experimentell bestimmten Scherfestigkeitsparameter in den Nachweisformaten zur statischen Berechnung der Gleitsicherheit in Arbeitsfugen von Massivbauwerken unter wasserbauspezifischen Randbedingungen. Beispielsweise soll in weiterführenden Betrachtungen die Schertragfähigkeit über die Restscherfestigkeit Berücksichtigung finden. Zur Berechnung der Restscherfestigkeit ist jener Betrachtungsbereich aus den Scherspannungsverläufen zugrunde zu legen, in welchen die Änderung der Scherspannungen unterhalb von $0,05 \text{ N/mm}^2$ liegt (Bild 3).

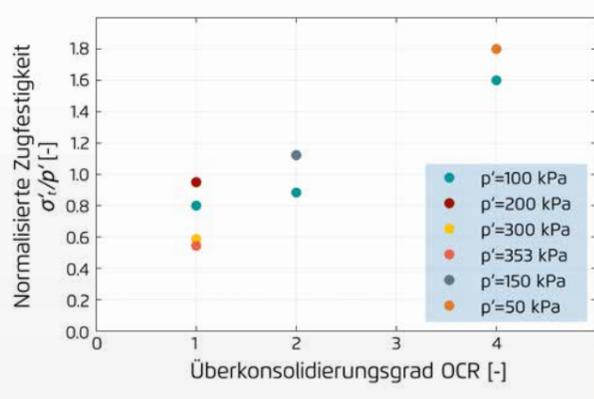
Somit stehen alle notwendigen Werkzeuge zur Verfügung, um von an Bohrkernen bestimmten Materialparametern auf das wirklichkeitsnahe Scherverhalten in den Arbeitsfugen des betrachteten Wasserbauwerks schließen zu können.



1



2



3

1: Nach Versuchsausbau eingefärbte Rissbilder an einer überkonsolidierten (links) und einer normalkonsolidierten Schluffprobe (rechts)
2: Mittelwerte (Punkte) und Spannweite (graue Balken) der gemessenen Aufreißerdrücke p'_{fr} in Abhängigkeit der effektiven mittleren Ausgangsspannung p'
3: Anstieg der normalisierten Zugfestigkeit mit dem Grad der Konsolidierung

Belastungsphase werden der Zeldruck sowie der Porenwasserdruck an der Kopf- und Fußplatte konstant gehalten und der Porenwasserdruck an der Filterspitze in Stufen bis zur Rissentstehung gesteigert. Die initiale Rissentstehung geht mit einem plötzlichen Druckabfall und einer starken Zunahme des Volumenstroms einher. Es wurden geeignete Abbruchkriterien in den Versuchsablauf einprogrammiert, sodass nach der ersten Rissbildung eine weitere Zerstörung der Probe verhindert wird. Zur Visualisierung des Rissbilds kann eine violette Kaliumpermanganat-Lösung nach Probenausbau eingespritzt werden (Bild 1).

Fracking-Versuche im Triaxialgerät zur Bestimmung des hydraulischen Widerstandes feinkörniger Böden

Das Verhalten feinkörniger Böden, wie Schluff oder Ton, unterscheidet sich aufgrund des höheren Feinkornanteils und der plättchenförmigen Struktur der Tonminerale auf der Mikroebene maßgeblich von dem granularer Böden, wie Sand oder Kies. Insbesondere unter hydraulischer Belastung spielen interpartikuläre Kräfte, wie van-der-Waals-Kräfte und elektrostatische Kräfte, in feinkörnigem Material eine maßgebende Rolle, was den auf der Makroebene beobachteten Versagensmechanismus deutlich beeinflusst. Während in granularen Böden bei hohen hydraulischen Gradienten eine Verflüssigung eintreten kann, da außer der Strömungskraft und dem Eigengewicht der Körner unter Auftrieb keine haltenden Kräfte wirken, ist in feinkörnigen Böden eher eine Rissbildung im Bereich der größten Strömungsbelastung zu erwarten.

Das Phänomen der hydraulisch induzierten Rissbildung wird in der Geotechnik unter verschiedenen Aspekten erforscht. In der Gas- und Erdölindustrie werden durch hydraulisches Aufbrechen von Gestein (Fracken) die Förderraten optimiert. In der Injektionstechnik wird je nach Fragestellung die Einbringung des Injektionsguts entweder ohne ein Aufreißen des Bodens (z. B. zur Reduktion der hydraulischen Durchlässigkeit) oder mit gezielter Rissentstehung durch das Injektionsfluid (z. B. zum Aus-

gleich von Schiefstellungen) durchgeführt. Im Bereich des Dammbaus ist die Thematik seit dem Versagen des Teton Staudamms (Idaho, USA, 1976) aufgrund von hydraulisch induzierten Rissen in der Tondichtung von Interesse.

Nicht berücksichtigt wird der Aspekt der hydraulisch induzierten Rissbildung jedoch beim hydraulischen Versagen in Baugruben. Nach DIN EN 1997-1 (EC 7-1) ist bei bindigen Böden eine Berücksichtigung „günstiger Effekte der Kohäsion oder der Zugfestigkeit“ beim Nachweis gegen hydraulischen Grundbruch nur bei „besonderer Sachkunde und Erfahrung“ erlaubt. Um erweiterte Bemessungsansätze wie z. B. von Wudtke (2014) anzuwenden, fehlen Erfahrungswerte oder entsprechende Versuche mit hydraulischer Belastung, um die anzusetzenden Scher- und Zugfestigkeiten zu bestimmen.

Um den Widerstand feinkörniger Böden gegen eine hydraulische Belastung im Labor zu bestimmen, wurde an der BAW ein Triaxialgerät entwickelt, bei dem die Bodenprobe durch einen hohen hydraulischen Gradienten bis zum Versagen durch Rissbildung beansprucht wird. Die Verwendung eines Triaxialgeräts bietet dabei zahlreiche Variationsmöglichkeiten bezüglich Anfangszustand und Belastungsablauf und ermöglicht eine sehr präzise Mess-

und Regelungstechnik. Dadurch lassen sich durch Variation von Probenmaterial, initialem Spannungszustand, Überkonsolidierungsgrad und Drainagebedingungen während der Belastung die wesentlichen Einflussfaktoren auf den hydraulischen Risswiderstand untersuchen.

Für den neuartigen Laborversuch wurde die Kopfplatte des Triaxialgeräts mit einer Kanüle versehen, an deren Spitze ein Filterstein sitzt, über welchen ein definierter Porenwasserdruck in der Mitte der Bodenprobe aufgebracht werden kann. Zusätzlich verfügt der Versuchsaufbau über vier individuell regelbare Druck-Volumen-Regler für den Zeldruck, den Porenwasserdruck an der oberen und an der unteren Filterplatte sowie an der Filterspitze. Anisotrope Spannungszustände werden über die Stempelkraft gesteuert.

Die Rissentstehung beginnt an einer lokalen Fehlstelle, wo aufgrund der hohen Beanspruchung und einer Inhomogenität die Probenfestigkeit überschritten wird. Um die genannten Einflussgrößen auf den Risswiderstand zu quantifizieren, werden möglichst homogene, künstlich konsolidierte Probekörper für die Versuchsreihen hergestellt. Dazu wird eine Bodenschlämme unter allseitiger Drainage in einem Filterrohr vorkonsolidiert. Durch CT-Aufnahmen und Quecksilberporosimetrie konnte gezeigt werden, dass durch die gewählte Probenpräparationsmethode Störstellen im Korngerüst stark reduziert werden.

Der Versuch läuft nach Einbau der vorkonsolidierten Probe mit einer Höhe und einem Durchmesser von je 100 mm in das modifizierte Triaxialgerät zunächst wie ein herkömmlicher Triaxialversuch ab. Der Sättigungsphase folgt die Konsolidierungsphase, an die für überkonsolidierte Proben die Entlastungsphase angeschlossen ist. Danach wird die Durchlässigkeit der Probe bei konstantem Druckgradienten bestimmt. Während der abschließenden hydraulischen

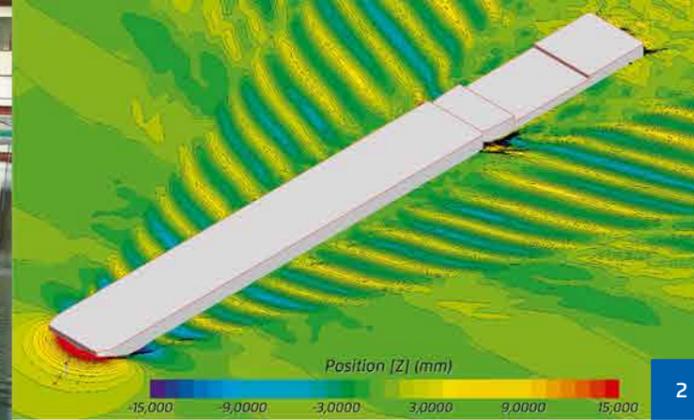
Die ersten Versuche mit Variation des Anfangsspannungszustandes und des Überkonsolidierungsgrades OCR wurden an Schluff durchgeführt. In Bild 2 sind die gemessenen effektiven Aufreißerdrücke $p'_{fr} = p_{fr} - p_{w0}$ aus insgesamt 23 Einzelversuchen über der mittleren effektiven Spannung $p' = (\sigma'_v + 2\sigma'_h) / 3$ aufgetragen. Dabei bezeichnen p_{fr} den maximalen absoluten Porenwasserdruck an der Kanüle vor dem Druckabfall, p_{w0} den initialen Porenwasserdruck sowie σ'_v bzw. σ'_h die vertikale bzw. horizontale effektive. Zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit wurde jeder Einzelversuch zwei- bis viermal wiederholt. Die relativ geringen Spannweiten der ermittelten Aufreißerdrücke sind in Bild 2 durch die grauen Balken dargestellt. Zur Bestimmung eines hydraulischen Widerstands wird die effektive Zugfestigkeit $\sigma'_t = p'_{fr} - p'$ eingeführt, die wiederum durch die Normalisierung σ'_t / p' eine Vergleichbarkeit der Versuche mit unterschiedlicher Ausgangsspannung p' ermöglicht. Dadurch kann in Bild 3 ein Anstieg des Widerstands mit dem Konsolidierungsgrad gezeigt werden.

Die Intensität der Rissausbildung und die Rissrichtung variieren im Gegensatz zu den reproduzierbaren Aufreißerdrücken stark. Grundsätzlich werden jedoch bei normalkonsolidierten Proben horizontale Risse beobachtet, während der Riss bei überkonsolidierten Proben sich diagonal ausbreitet. Eine rein vertikale Rissausbreitung wurde nur bei den Versuchen mit $\sigma'_v > \sigma'_h$ beobachtet.

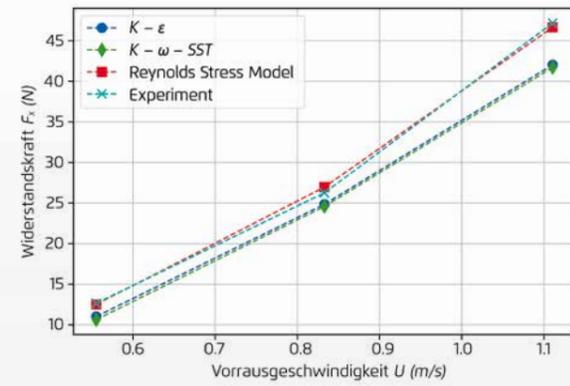
Zur Ermittlung geeigneter Versagenskriterien wird der Fokus auf die initiale Rissentstehung gelegt. Durch weitere Versuchsreihen wird die Basis für die Formulierung eines Kriteriums zur Rissentstehung zum Nachweis gegen hydraulisches Versagen feinkörniger Böden unter hydraulischer Beanspruchung geschaffen. Dadurch soll eine effizientere Dimensionierung von umströmten Bauwerken im feinkörnigen Boden durch zusätzliche Berücksichtigung des Bodenwiderstands gegen Rissbildung möglich werden.



1



2



3

Forschungsprojekt Referenzschubverband – Modellierung der Fahrdynamik von Schiffen anhand von experimentellen und numerischen Verfahren

Eine zentrale Aufgabe des Referats Schifffahrt der Abteilung Wasserbau im Binnenbereich ist es, die Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs sowie die Befahrbarkeit von Bundeswasserstraßen anhand fundierter wissenschaftlicher Methoden zu bewerten. Dabei ermöglicht es der Einsatz des Binnenschiffsführungssimulators, präzise und realitätsnahe Antworten auf dabei zu untersuchende komplexe Fragestellungen zu geben. Die entscheidende Rolle spielt hierbei die korrekte physikalische Modellierung der Schiffsdynamik. Die Kalibrierung der Manöviereigenschaften von Schiffen erfolgt derzeit über Naturmessungen. Dabei werden die Fahreigenschaften des Schiffes während vorgegebener Manöver gemessen, aufgezeichnet und auf den Schiffsführungssimulator übertragen. Manöverfahrten unter erschwerten Situationen, z. B. extremes Flachwasser, die Interaktion zwischen Schiffen und Ufern, können allerdings aus sicherheitsrelevanten und technischen Gründen im Naturversuch nur bedingt durchgeführt werden.

Die Fahrdynamik von Schubverbänden kann nur teilweise auf der Grundlage von Naturversuchen kalibriert werden. Gerade bei Schubverbänden haben verschiedene Faktoren

einen erheblichen Einfluss auf die fahrdynamischen Eigenschaften, wie zum Beispiel die Art der Kopplung von Schubschiff und Schubleichter, die Anordnung und Anzahl der gekoppelten Leichter sowie Wassertiefe und Ladezustand.

Derartige Messkampagnen generieren einen erheblichen technischen, personellen und finanziellen Aufwand und sind im laufenden Fahrbetrieb der Reedereien kaum zu realisieren. Dank der rasanten Entwicklung der Rechenkapazität in den letzten Jahren stellen Methoden der numerischen Strömungsmechanik CFD (Computational Fluid Dynamics) eine realistische Alternative für die Identifizierung der fahrdynamischen Parameter eines Schiffes für die Simulation dar. Eine routinierte Nutzung dieser Verfahren ist jedoch nicht ohne Validierung durch Modellversuche möglich. Das bedeutet, dass für die Entwicklung und die Kalibrierung von fahrdynamischen Modellen Laborversuche unerlässlich sind. Sie bieten die Möglichkeit, numerische Simulationen zu bewerten und zu validieren, gerade wenn Naturversuche aus den oben genannten Gründen an ihre Grenzen stoßen.

In der Seeschifffahrt sind Modellversuche mit Referenzschiffen, sowohl aus akademischer als auch aus industrieller Sicht, ein anerkanntes Mittel zur Bewertung und Weiterentwicklung von numerischen Strömungssimulationen. Ein Referenzschiff ist ein repräsentativer Entwurf einer bestimmten Schiffsklasse (z. B. Containerschiff, Tanker etc.), für die sämtliche geometrische Informationen bekannt sind und für die die wichtigsten Eigenschaften durch Modellversuche gewonnen werden. Dieser Datensatz kann dann mit den Ergebnissen aus der numerischen Simulation verglichen werden. Es entsteht ein Kompendium der hydrodynamischen Eigenschaften dieses Schiffes, welches das Verständnis für dessen Fahrdynamik erhöht und Vergleiche mit Simulationen zulässt.

Ziel des Forschungsprojektes „Referenzschubverband“ ist es, ein Verfahren zu entwickeln, mit dem für den Schiffsführungssimulator ein Schubverband aus einem kalibrierten Schubschiff mit bis zu sechs Leichtern zusammengesetzt werden kann. Dieser Schubverband ist symmetrisch entlang seiner Längsachse und alle Leichter haben den gleichen Tiefgang. Im gekoppelten Zustand sollen das fahrdynamische Verhalten und die Manövrierbarkeit dem Schubverband in der Großausführung entsprechen.

Das Forschungsprojekt lehnt sich an das Vorgängerprojekt „Referenzschiff“ an, in welchem ein 135 Meter langes Motorgüterschiff im Maßstab 1 : 16 entworfen wurde. Die aus diesem Vorgängerprojekt gewonnenen Erkenntnisse flossen in das Projekt „Referenzschubverband“ ein. Schubverbände unterscheiden sich jedoch deutlich in ihrer Geometrie von Einzelfahrern, was sich auch in den Fahreigenschaften widerspiegelt. Der Entwurf und Bau des Modells erfolgte in Kooperation mit dem Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e. V. (DST) in Duisburg. Ein besonderer Aspekt des Entwurfsprozesses war die Be-

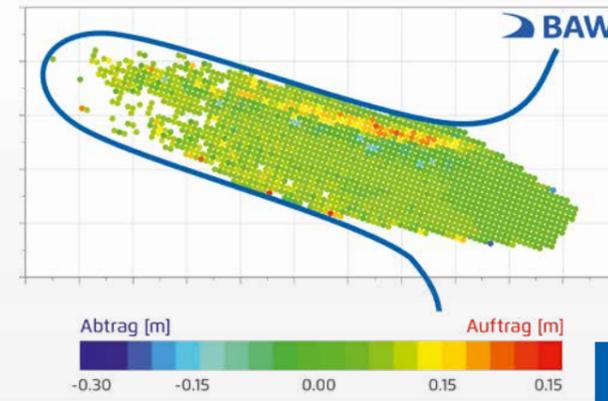
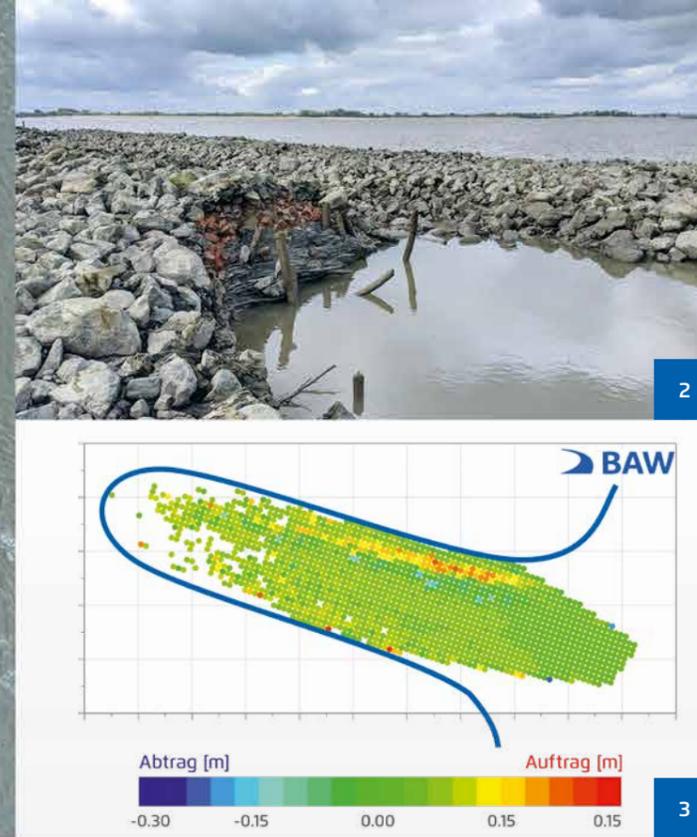
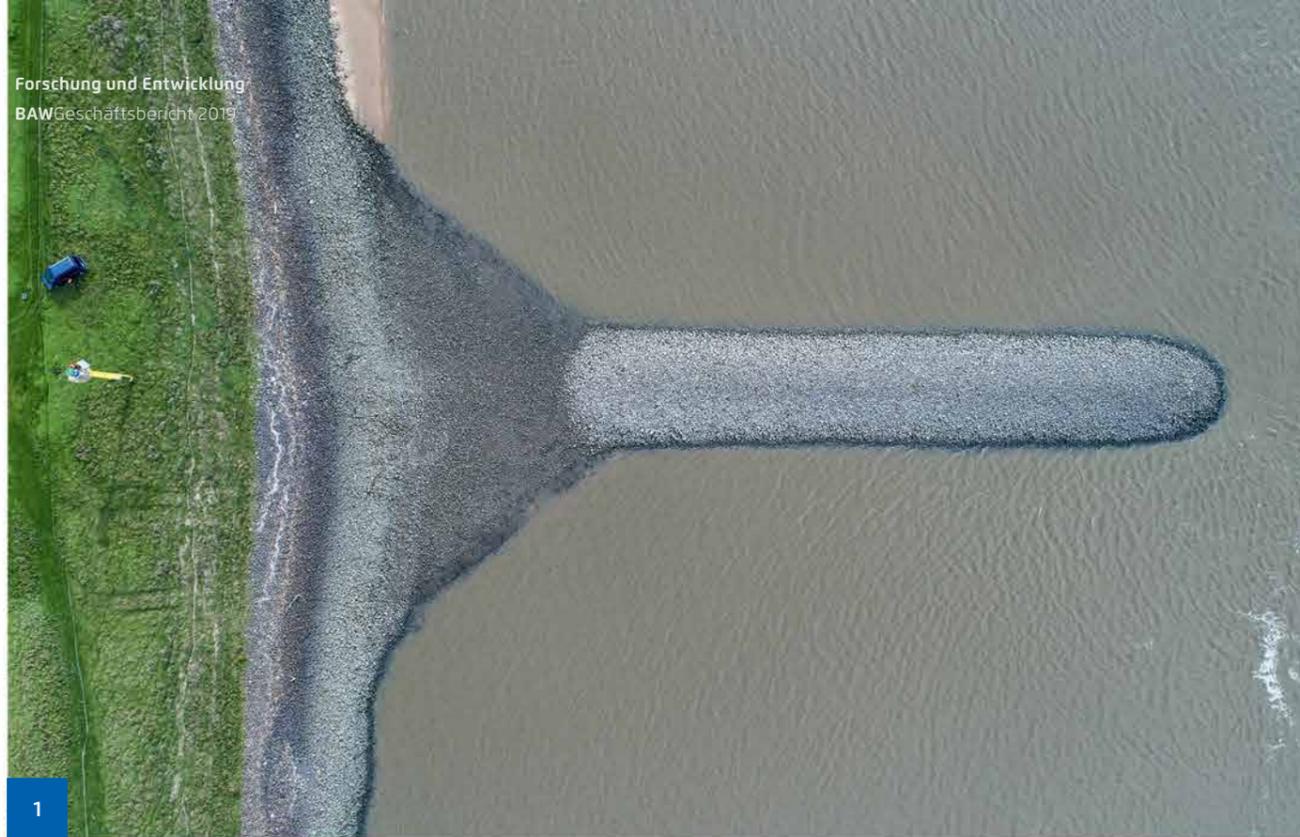
- 1: Schleppversuch des Referenzschubverbandes mit vier Leichtern
- 2: Numerische Berechnung der Auslenkung der freien Oberfläche in der Geradeausfahrt
- 3: Vergleich zwischen experimentellen und numerischen Ergebnissen für die Geradeausfahrt in Tiefwasser für einen Vierer-Schubverband

rücksichtigung der Relativbewegung. Die dafür entwickelte Koppelinrichtung erlaubt dem Schubschiff eine dynamische Tiefertauchung und Neigung unabhängig von der Anzahl der gekoppelten Leichter. Für die Validierung der numerischen Methode wurden sogenannte CPMC-Versuche durchgeführt (Computerized-Planar-Motion-Carriage), bei welchen das Schiffmodell auf einer vorgeschriebenen Bahn durch einen Schlepptank bewegt wird (Bild 1). Aus den dabei gemessenen hydrodynamischen Kräften und Momenten werden Manövierparameter abgeleitet, die es ermöglichen, die exakte Bewegung eines Schiffes am Simulator zu beschreiben.

Da der Einfluss der Wassertiefe auf die Leichtigkeit der Manövrierbarkeit des Schiffes eine besondere Herausforderung darstellt, wurde dieser Einfluss in diesem Forschungsprojekt für verschiedene Wassertiefen bis hin zu extrem flachen Gewässern untersucht. Die Tiefwasserversuche fanden bei der „Hamburgischen Schiffbau-Versuchsanstalt“ (HSVA) statt, während die Flachwasserversuche bei dem „Maritime Research Institute Netherlands“ (MARIN) in den Niederlanden durchgeführt wurden. Um konkrete Aussagen über den Einfluss der Anordnung von Schubverbänden auf deren Manövrierbarkeit zu treffen, wurden fünf mögliche Schubschiff-Schubleichter-Konfigurationen untersucht.

Auf Grundlage dieser Laborversuche kann die CFD-Methode validiert und für die fahrdynamische Modellierung am Simulator verwendet werden. Daran orientiert sich der Leitfaden für die Auswahl einer geeigneten CFD-Methode. Angesichts der komplexen Geometrie des Schubschiffes und dessen Kopplung mit den Leichtern ist eine sehr hohe Gitterauflösung für die CFD-Simulation erforderlich. Nur so kann die Geometrie sowie die komplexe Umströmung der Koppelstellen zwischen den einzelnen Schiffskörpern korrekt abgebildet werden (Bild 2). Zur Simulation des dynamischen Tauchens und der Vertrimmung des Schubverbandes sind entweder Gitterverformungsmodelle (Morphing) oder überlappende Gittermodelle (Overset-Grids) notwendig. Möglichkeiten und Grenzen wurden bereits im Vorgängerprojekt untersucht und beschrieben. Bei Schubverbänden gilt es insbesondere zu beachten, dass die korrekte Darstellung der Spaltströmung eine entscheidende Rolle spielt. Das bedeutet, dass auf eine adäquate Turbulenzmodellierung Wert gelegt werden muss, natürlich mit Blick auf die Machbarkeit der Simulationen hinsichtlich Zeit und Rechenaufwand.

Bild 3 zeigt einen Vergleich aus einer Strömungssimulation und dem dazugehörigen Modellversuch, mit einer guten Übereinstimmung.



Alternative Buhnenformen bei hoher langperiodischer Schiffswellenbelastung im Küstenbereich

„Wir werden alle Buhnen im Abschnitt Juellssand schrittweise als hinterströmte Buhne ertüchtigen.“ Für den Sachbereich Bau und Unterhaltung des Wasserstraßen- und Schifffahrtsamtes (WSA) Hamburg ist das das unmittelbare Ergebnis aus den bisherigen Forschungsarbeiten zu langperiodischen schiffserzeugten Belastungen auf Strombauwerke im Tidebereich. Die erzielten Forschungsergebnisse fließen somit direkt in die Unterhaltungs- und Strombaupraxis der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) im Elbeästuar ein und zeigen beispielhaft die ausgeprägte Anwendungsorientierung in der Forschung der BAW und somit den hohen Nutzen für die WSV.

Grund der Untersuchungen sind die immer häufiger beobachteten Schäden an Bauwerken in den Seeschiffahrtsstraßen und hier insbesondere an Buhnen aus Schüttsteinen. Ein entsprechendes Schadensbild ist auf Bild 2 zu sehen. Der offensichtliche Verursacher sind die Primärwellen passierender Schiffe, die durch Bugstau, Absunk und Heckwelle langperiodische Belastungen erzeugen. Während für Lastfälle durch kurzperiodische Wellen, beispielsweise Seegang oder Schiffsekundärwellen, teilweise umfassendes Wissen vorhanden ist, fehlen für den Lastfall langperiodischer Wellen sowohl Bemessungsgrundlagen

für die Stabilität der Deckschicht als auch Erfahrungen mit optimierten Buhnenformen. Daher begann die BAW vor mehreren Jahren, mit sich ergänzenden und aufeinander aufbauenden Untersuchungen die Wissenslücken zu schließen mit dem Ziel, geeignete Bemessungsmethoden zu entwickeln.

In Kooperation mit mehreren universitären Partnern wurden bekannte Schäden analysiert, der Wissensstand zur Interaktion zwischen Primärwelle und Bauwerk aufgearbeitet und bemessungsrelevante Parameter bestimmt. Durch systematische kleinskalige und großskalige Untersuchungen im Labor wurde eine umfassende Datengrundlage zur Entwicklung von Bemessungsmethoden geschaffen.

Das an Buhnen in Seeschiffahrtsstraßen beobachtete Schadensbild zeigt insbesondere einen Durchbruch an der Buhnenwurzel. In Anlehnung an dieses Schadensbild wurden zwei angepasste, alternative Buhnenformen abgeleitet. Die erste Form ist die hinterströmte Buhne (Bild 1), die einen mit Wasserbausteinen befestigten abgesenkten und überströmbaren Bereich an der Buhnenwurzel hat und somit der Energie der Schiffswelle eine Art Entlastungsventil bietet. Im Gegensatz dazu ist die zweite Form eine

Buhne mit verbreiteter, verstärkter Wurzel („Schwalbenschwanz“), die einen größeren Widerstand und geringere Fokussierung der Wellenenergie bietet. Zusammen mit dem Außenbezirk Wedel des WSA Hamburg wurden zwei beschädigte Buhnen bei Juellssand in den zuvor beschriebenen Buhnenformen hergestellt und in einem fünfjährigen Naturversuch messtechnisch begleitet. Dazu wurden die Buhnenfelder regelmäßig gepeilt, Wellen- und Strömungsbelastungen gemessen, die Schadensentwicklung der Buhnen durch 3D Laserscanner zu jedem Tideniedrigwasser aufgenommen und die AIS-Daten passierender Schiffe erfasst. So können beispielsweise durch Differenzenbildung der Laserscans (Bild 3) entstandene Schäden bestimmten Belastungen zugeordnet werden.

In dem Naturversuch wurden insgesamt drei Varianten getestet. Zunächst wurden die zwei zu untersuchenden Buhnenformen, die hinterströmte Buhne sowie die Buhne mit verbreiteter Wurzel, aus der üblichen, bereits vor Ort verbauten Steinklasse (CP90/250) hergestellt. Im nachfolgenden Monitoring zeigten sich an der hinterströmten Buhne wesentlich geringere Schäden als an der Buhne mit verstärkter Wurzel. Daher wurde in der anschließenden Phase nur die hinterströmte Buhne mit einer größeren Steinklasse (LMB5/40) erneut ertüchtigt, wohingegen die Variante mit der verstärkten Wurzel nicht weiterverfolgt wurde. In der Ausführung mit größeren Steinen erweist sich die hinterströmte Buhne bis heute, und damit seit mehr als zwei Jahren, als nahezu schadensfrei. Für das Amt steht so eine unterhaltungsarme Buhnenvariante in diesem Abschnitt der Tideelbe zur Verfügung.

Das Monitoring der Schäden per Laserscan wurde Anfang des Jahres 2019 beendet und der Strömungssensor sowie – bis auf zwei Messgeräte – auch die Drucksonden

- 1: Hinterströmte Buhne mit gelbem Messpfahl, der den Laserscanner trägt
- 2: Schadhafte Buhne in einem Abschnitt mit hohem Seeschiffverkehr
- 3: Schaden an der beobachteten Buhne, der durch die Belastungen einer einzelnen Schiffspassage eines Schiffes mit 363m Länge und einer Fahrt durchs Wasser von 13,7kn entstanden ist. Der Abtrag bzw. Auftrag wurde durch Differenzenbildung zweier Laserscans ermittelt

zur Erfassung der Wellenhöhe entfernt. Die verbleibenden Drucksonden werden zusammen mit dreimonatlichen Peilungen der Buhnenfelder bis Ende 2021 weiterbetrieben, um die Veränderung der Wellenhöhen, insbesondere vor dem Hintergrund der seit Anfang des Jahres 2018 als Testphase geltenden und 2019 in Kraft getretenen Höchstgeschwindigkeitsregelung auf der Tideelbe weiter zu beobachten und mit morphologischen Entwicklungen in den Buhnenfeldern abzugleichen.

Die Gesamtheit der in den vergangenen Jahren erhobenen Daten (AIS Daten der Schiffspassagen, Wellen- und Strömungsmessungen, Laserscan Monitoring der Schäden, Peilungen der Buhnenfelder) stellen eine umfassende Datengrundlage dar, die zum Teil bereits ausgewertet und im Sinne einer Mehrfachnutzung auch für andere Fragestellungen der WSV weiter analysiert wurden. So wurden u. a. die Wirkung der seit dem Jahr 2018 auf der Elbe geltenden Geschwindigkeitsregelung auf die ufernahe Belastung, sowie der Einfluss der Unterhaltungsbaggerungen in der Fahrwinne auf die Buhnenfeldmorphologie untersucht. Hinsichtlich der Bemessung der erforderlichen Steinklasse für die Deckschicht werden gegenwärtig Ansätze aus der Hydraulik für die Ermittlung der vorhandenen und kritischen Überlaufvolumen erprobt. Weiterhin wurden die Daten so aufbereitet, dass sie für ein im Jahr 2020 startendes Projekt mit der TU Delft zur Entwicklung einer probabilistischen Bemessungsmethode zur Verfügung stehen. Darüber hinaus dienen sie in der Entwicklung geeigneter numerischer Modelle zur Validierung der Verfahren. Die Daten sind daher ein Baustein zur Erweiterung verschiedener wasserbaulicher Methoden (empirisch, statistisch, numerisch) für Lastfälle langperiodischer Schiffswellen auf Strombauwerke in Seeschiffahrtsstraßen.

Während die fachlich-wissenschaftlichen Arbeiten zur Auswertung und vor allem zur Identifikation allgemein übertragbarer Erkenntnisse noch lange nicht abgeschlossen sind, werden die ersten umsetzbaren Ergebnisse für die Praxis schon bald am Ufer der Tideelbe in Juellssand zu sehen sein.

Die Bundesanstalt für Wasserbau

- Das Jahr 2019
- IZW-Campus: E-Learning für die Ingenieurpraxis
- Daten und Fakten
- Anhang

Das Jahr 2019

Februar

Die neue ATAIR



Noch im Trockendock bei German Naval Yards liegend wartet das Schiff auf die bevorstehende Überführung nach Berne zur Fassmer-Werft. Mit der ATAIR wird das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) im Jahr 2020 sein erstes mit Liquefied Natural Gas (LNG) angetriebenes Spezialschiff in Betrieb nehmen.

JAN

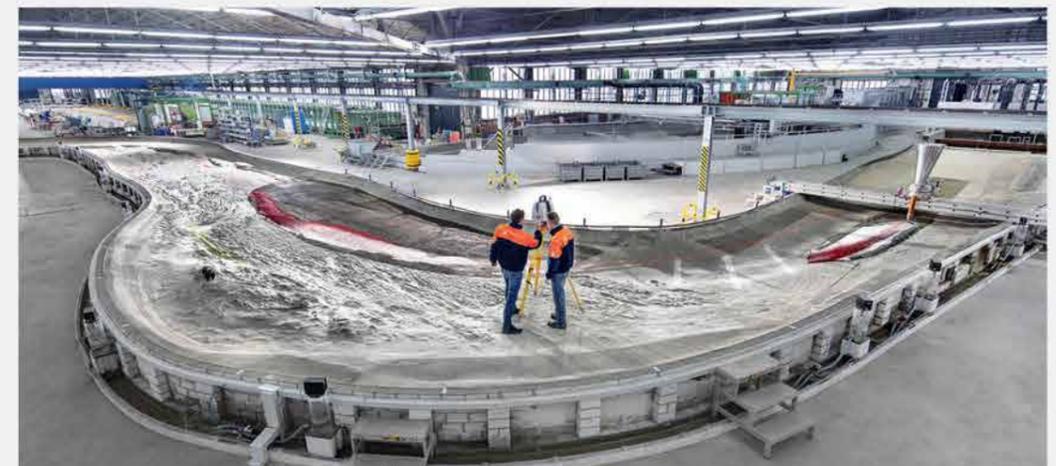
FEB

MRZ

März

Modell Jungferngrund

Pressekonferenz zum Thema „Abladeoptimierung am Mittelrhein“ in der BAW in Karlsruhe. Grundlagen für die Einschätzung der Folgewirkungen und damit eine Entscheidungshilfe für Politik und Verwaltung liefern die Modelluntersuchungen der BAW, durchgeführt an einem im Maßstab 1:60 nachgebauten entsprechenden Teilabschnitt des Rheins.



Das Jahr 2019

März Deutscher Bautechniktag 2019

Messestand der BAW auf dem Deutschen Bautechniktag 2019: Prof. Dr.-Ing. Christoph Heinzelmann, Leiter der BAW, im Fachgespräch mit Prof. Dieter Kempf, Präsident Bundesverband der Deutschen Industrie e.V. (BDI) am Modell der Schleuse Lüneburg.



MRZ

April Marktanalyse Ingenieurbau



Der Arbeitsmarkt für Bauingenieure weist einen deutlich erkennbaren Fachkräftemangel auf. Die BAW-Publikation „Marktanalyse Ingenieurbau“ beleuchtet diese Situation und widmet sich den Bereichen Arbeits- und Ausbildungsmarkt, dem Angebot an Ingenieurdienstleistern und Baufirmen sowie dem Bau- und Investitionsvolumen in Deutschland und darüber hinaus.

Download unter
<https://hdl.handle.net/20.500.11970/106286>

APR

Die Ermittlung der Uferbelastung durch Sportbootwellen war Ziel der Naturuntersuchungen der BAW. Die Erkenntnisse des Naturversuchs sollen helfen, die Berechnung der Wellenhöhen von Sportbooten im Programm GBBSOft+ und somit eine Dimensionierung von technischen und technisch-biologischen Ufersicherungen an Bundeswasserstraßen zu verbessern.

Mai Sportbootwellenmessungen am Rhein



MAI

April Wehranlage Viereth

An der Wehranlage Viereth findet der Umbau des rechten Wehrfeldes statt. Die alte Wehrwalze wird in mehrere Teile zerlegt und anschließend ausgehoben. Das Foto zeigt die dafür notwendigen Vorarbeiten.



Juni



BAW-Strategie 2030

Die BAW-Strategie 2030 setzt mittelfristig den fachlichen und organisatorischen Rahmen für die Arbeit der BAW und berücksichtigt dabei neue politische, gesellschaftliche, technische und wissenschaftliche Entwicklungen.

Download unter
<https://henry.baw.de/handle/20.500.11970/106482>

JUN

Das Jahr 2019

Juli Cool Summer Jazz

Jazzmusik und Wasserbau – bereits zum fünften Mal fand die Sommerveranstaltung „Cool Summer Jazz“ der Hemingway Lounge in der BAW statt. Auf der Bühne in einer der großen Versuchshallen: die Big Band der Hochschule für Musik unter Leitung von Peter Lehel.



JUL



August JuWi-Treffen

Wissenschaft lebt von Vernetzung, Austausch und Kooperation der Akteure. Darum war die BAW sehr gerne Gastgeberin für das jährlich stattfindende, dreitägige „Treffen junger WissenschaftlerInnen deutschsprachiger Wasserbauinstitute“.

AUG

September HTG-Förderpreis

Den HTG-Förderpreis für Dissertationen, den die Hafentechnische Gesellschaft (HTG) alle zwei Jahre anlässlich ihres Kongresses verleiht, erhielt der BAW-Wissenschaftler Dr.-Ing. David Gisen für seine Dissertation mit dem Titel: „Modeling upstream fish migration in small-scale using the Eulerian-Lagrangian-agent method (ELAM)“.



September Die Taufe der ATAIR



„Ein Großprojekt, wie der Neubau der ATAIR, kann nur erfolgreich sein, wenn alle Projektpartner gut und vertrauensvoll zusammenarbeiten. Diese Zusammenarbeit ist uns während der gesamten bisherigen Projektlaufzeit gelungen, und ich bin sicher, dass uns dies auch bis zur Indienststellung der ATAIR weiter gelingen wird. Ich möchte deshalb die Gelegenheit nutzen, allen am Projekt Beteiligten sehr herzlich für die gute und vertrauensvolle Zusammenarbeit zu danken.“ Prof. Dr.-Ing. Christoph Heinzelmann anlässlich der Tauffeierlichkeiten

SEP

August Fahrrinnenanpassung Unterweser Nord und Außenweser



Die Wasserstraßen im Weserästuar sind als priorisierte Maßnahmen anzupassen, um u. a. die Erreichbarkeit der Seehäfen in Bremerhaven und Brake zu verbessern. Die fachgutachterliche Begleitung der WSV als Träger des Vorhabens wird durch die BAW am Standort Hamburg gewährleistet. Eine besondere Herausforderung ergibt sich dabei aus der Vielzahl der zu berücksichtigenden Prozesse, wie tidebedingt wechselnde Wasserstände und Salzgehalte, die dieses Gebiet von hoher ökologischer Bedeutung kennzeichnen. Der Bildausschnitt zeigt beispielhaft den Tidepolder Luneplate im Bereich des Blexer Bogens bei Bremerhaven.

September Anpassung der seewärtigen Zufahrt zum Seehafen Rostock



Die Zufahrt zum Seehafen Rostock, hier im Abschnitt des Molensystems bei Waremünde mit den beiden charakteristischen Leuchtuern dargestellt, soll für 15 m tiefgehende Schiffe angepasst werden. Die BAW unterstützt die WSV als Träger des Vorhabens dabei fachgutachterlich zu Themen aus Wasserbau und Geotechnik. Dazu wurden u. a. Gutachten zu vorhabenbedingten Änderungen der Belastung durch Schiffswellen und Änderungen der Hydrodynamik erstellt.

Das Jahr 2019

Oktober Coastal Structures Conference 2019 in Hannover



Die internationale Fachkonferenz deckt verschiedenste Aspekte des Küsteningenieurwesens ab und setzte durch ausgewählte Keynote Lectures in diesem Jahr Akzente in innovativen Bereichen, wie dem naturnahen Küstenwasserbau oder Machine learning in der Modellierung von Küstenbauwerken. Ein Veranstaltungshighlight war die Technical Tour zu den hydraulischen Versuchseinrichtungen der Leibnitz Universität in Hannover-Marienwerder.

November Flächenvoruntersuchungen für Offshore-Windenergieanlagen



Die BAW unterstützt das „offshore“ zuständige Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) bei der staatlichen Voruntersuchung der Flächen für Offshore-Windparks, denn die Sicherheit der Windenergieanlagen auf dem Meer muss gewährleistet sein.

OKT

NOV

DEZ

November Ehrung der Azubis durch Minister Scheuer

Bundesverkehrsminister Andreas Scheuer ehrt die besten Auszubildenden aus dem Geschäftsbereich. Mit dabei Janis Hils aus der Abteilung Bautechnik der BAW.



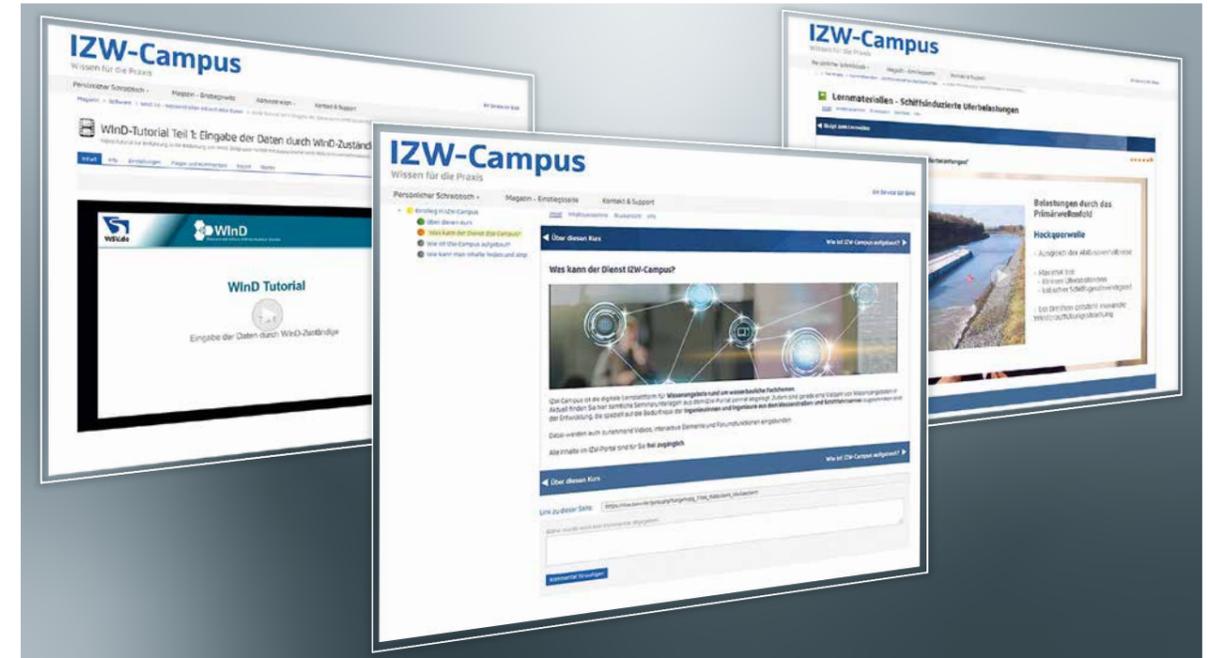
Dezember Zwei neue Mehrzweckschiffe für Nord- und Ostsee

Mit der Planung und Konzeption sowie der Ausschreibung und Bauabwicklung beauftragte die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) die Bundesanstalt für Wasserbau, Referat Schiffstechnik. Durch die Spezialausstattung dieser innovativen Neubauten werden die operativen Möglichkeiten deutlich verbessert. Damit machen die neuen Mehrzweckschiffe die Nord- und Ostsee noch sicherer.



IZW-Campus: E-Learning für die Ingenieurpraxis

Kürzere Innovationszyklen im Bauwesen, ein erhöhter Umfang von technischen Regelwerken und zahlreiche neue Anforderungen durch Digitalisierungsprozesse in der öffentlichen Verwaltung sind nur einige der Handlungsfelder, die den Ingenieurbereich aktuell bewegen. Um den steigenden Know-how Bedarf für die Wasserstraßen und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) zu bedienen, hat die Bundesanstalt für Wasserbau bereits im Jahr 2016 das Fachinformationsportal „Infozentrum Wasserbau“ (IZW) etabliert. Mit „IZW-Campus“, dem neuen E-Learning Dienst der BAW, werden die Vorzüge dieses Portals nun auch für den Lern- und Weiterbildungsbereich erschlossen.



Brückenschlag von Wissenschaft und Praxis

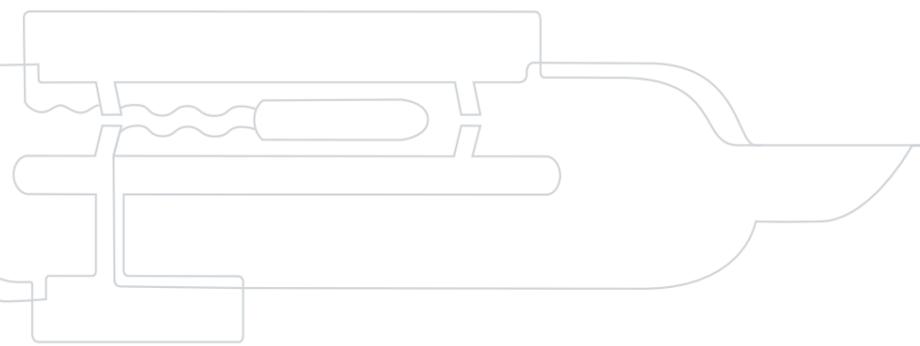
Durch die Einführung von „IZW-Campus“ verfügt die WSV nun über eine zeitgemäße E-Learning Plattform für den Verkehrswasserbau. Zielsetzung des neuen Dienstes ist es, Lernangebote auf dem neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisstand bereitzustellen, die gleichzeitig auf die praktische Anwendung und Anforderungen der Ingenieurinnen und Ingenieure in der WSV zugeschnitten sind. Dies wird möglich, da die BAW als Ressortforschungseinrichtung in der Beratung wie auch in der Forschung zu wasserbaulichen Fachthemen gleichermaßen aktiv und mit den Projekten, Bauwerken und Prozessen der WSV vertraut ist.

Methodenvielfalt in der Beratung nutzen

Die Idee hinter der E-Learning-Plattform ist dabei zunächst dieselbe, wie auch die von Kolloquien, Präsenzs Schulungen oder einer individuellen Beratung vor Ort. IZW-Campus dient dem Wissenstransfer und bietet mit seinen zahlrei-

chen, digitalen Schulungsformaten eine ideale Ergänzung zu den bestehenden Angeboten. Digitalisierte Wissensvermittlung eignet sich besonders gut, wenn es darum geht, Wissen für einen großen Personenkreis orts- und zeitunabhängig zugänglich zu machen. Dies geschieht zukünftig allerdings nicht mehr nur in der klassischen Konstellation von Dozent und Teilnehmer.

Im laufenden Geschäftsjahr 2020 entstehen beispielsweise Fachforen, in denen sich WSV-Ingenieure ämterübergreifend zu ihren Sachthemen austauschen können. Ebenso werden gezielt Inhalte in Zusammenarbeit mit Fachexperten aus der WSV und dem Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) entwickelt, um auch deren Expertise in die Plattform einfließen zu lassen. Sämtliche Angebote auf IZW-Campus sind für Mitarbeiter der WSV unter www.izw-campus.baw.de frei verfügbar. Längerfristig ist zudem geplant, einzelne Kurse auch für externe Kooperationspartner, wie Universitäten oder Ingenieurbüros, zu öffnen.



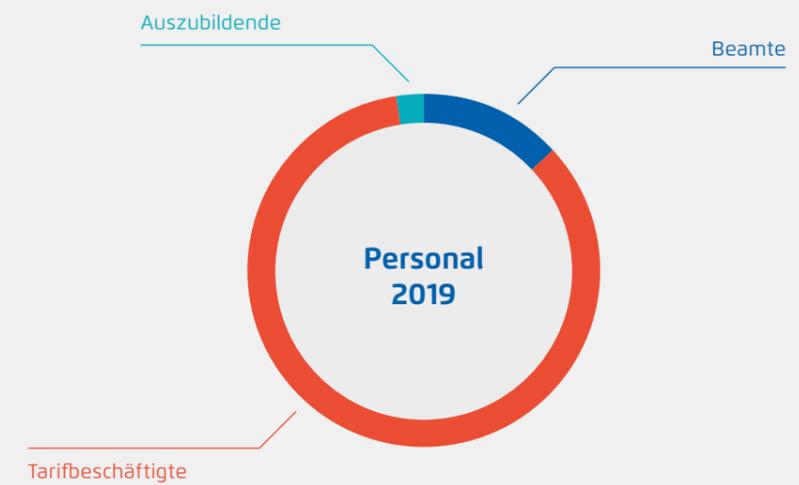
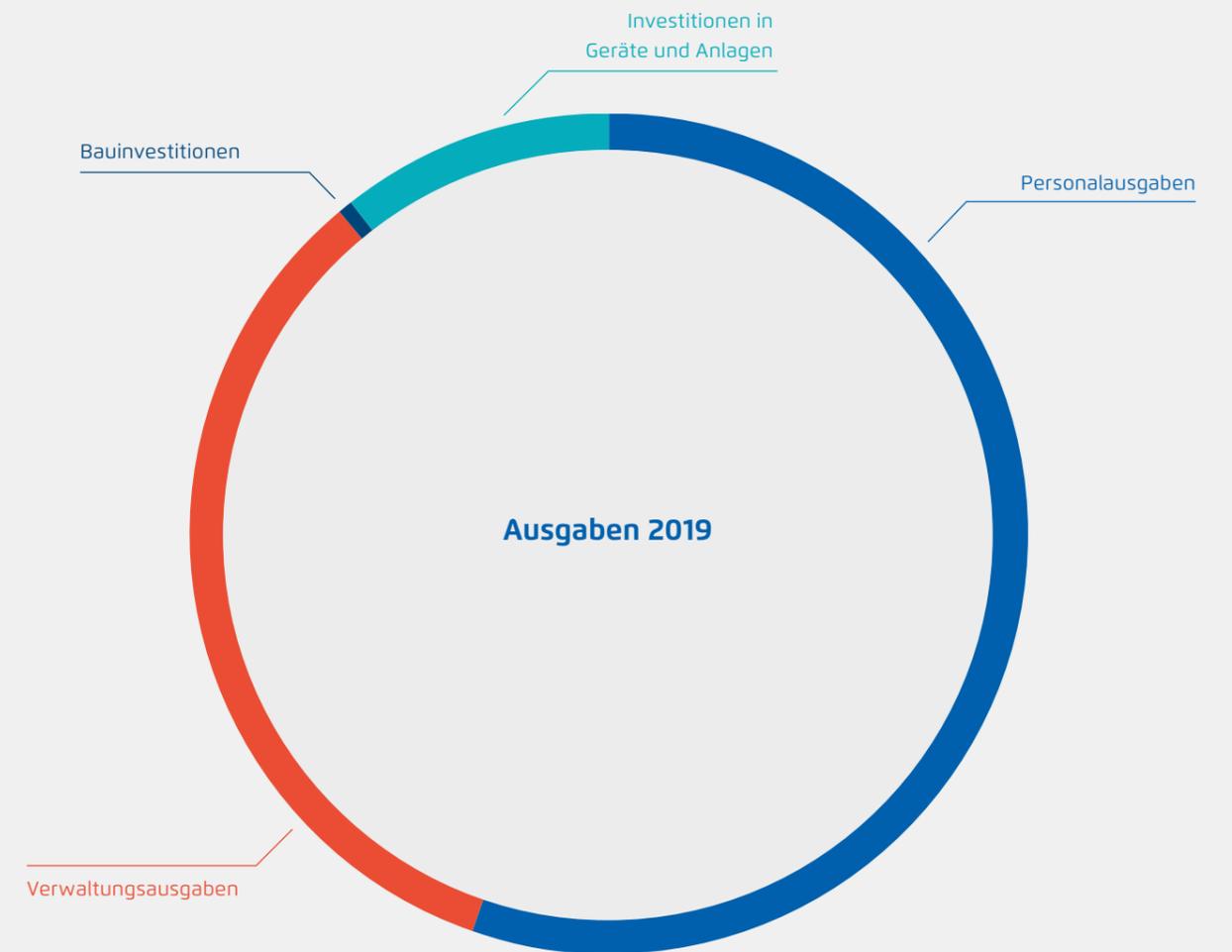
Daten & Fakten

Ausgaben und Einnahmen

	2017	2018	2019
Personalausgaben	27.297.053 €	28.403.744 €	29.981.312 €
Verwaltungsausgaben	17.700.927 €	16.755.804 €	18.118.051 €
Bauinvestitionen	743.721 €	245.202 €	350.585 €
Investitionen in Geräte und Anlagen	5.717.005 €	3.915.283 €	5.623.250 €
Gesamtausgaben	51.458.706 €	49.320.033 €	54.073.198 €
Einnahmen aus Drittmittelprojekten	2.602.323 €	2.217.645 €	1.821.165 €

Personal

	2017	2018	2019
Beamte	60	59	62
Tarifbeschäftigte*	364	372	397
Auszubildende	10	9	11
Beschäftigte gesamt	434	440	470
*davon befristet Beschäftigte (ohne Auszubildende)	93	98	99



Daten & Fakten



262
TÄTIGKEITEN IN AUSSCHÜSSEN



12
LEHRAUFTRÄGE



14
KOLLOQUIEN & AUSSPRACHETAGE



2
PROMOTIONEN

Bergholz, Katharina
An extended bounding surface model for the application to general stress paths in sand

Simons, Franz
A robust high-resolution hydrodynamic numerical model for surface water flow and transport processes within a flexible software framework



95
VERÖFFENTLICHUNGEN
UND VORTRÄGE



118
FORSCHUNGSVORHABEN
IN 2019 BEENDET: 14
AKTIV: 104

Veranstaltungen 2019

	Anzahl	Teilnehmer
Kolloquien	8	991
Aussprachetage	6	285
Insgesamt	14	1.276

Anhang

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



Veranstaltungen

Weitere Informationen finden Sie unter



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

Veröffentlichungen & Vorträge

Weitere Informationen finden Sie unter



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

Mitarbeit in Ausschüssen

Weitere Informationen finden Sie unter



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

Forschung und Entwicklung

Weitere Informationen finden Sie unter



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

Aktuelle Kooperationspartner

Weitere Informationen finden Sie unter



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

Social Media Kanäle

Weitere Informationen finden Sie unter



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

Impressum

Herausgeber (im Eigenverlag):
Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)
Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe
Postfach 21 02 53, 76152 Karlsruhe
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 aus-
zugsweise – ist nur mit Genehmigung des Herausgebers gestattet.

ISSN 2190-9156
Karlsruhe · Mai 2020

Fotonachweis:

Seite 4	Quelle: Annual Report and Accounts 2012, Keller group plc; © W. Sondermann
Seite 6/7	Quelle: Wasserstraßen Neubauamt Hannover
Seite 16, Bild 1	Quelle: Luftbilder © LGL, www.lgl-bw.de
Seite 21, Bild 7	Quelle: WSA Weser, Fotograf: Herr Kay Gottschalk, CopterService-OWL
Seite 25, Bild 2	Quelle: Fassmer Werft
Seite 26, Bild 3	Quelle: Fassmer Werft
Seite 27, Bild 4	Quelle: Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrografie
Seite 27, Bild 5	Quelle: Fassmer Werft
Seite 43, li. oben	© Christian Augustin / HTG
Seite 44, unten	Quelle: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
Seite 45, unten	Quelle: Abeking & Rasmussen
Seite 52	Floral Deco/Shutterstock.com
Seite 53 unten	iStock.com/Tommel
Seite 54 oben	hxdbzxy/Shutterstock.com
Seite 54 unten	iStock.com/mediaphotos
Seite 55 unten	Bloomicon/Shutterstock.com

