

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Periodical Part, Published Version

Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.)

Forschungskompodium Verkehrswasserbau 2020

BAWForschungskompodium

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/107481>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2021): Forschungskompodium Verkehrswasserbau 2020. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAWForschungskompodium).

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

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

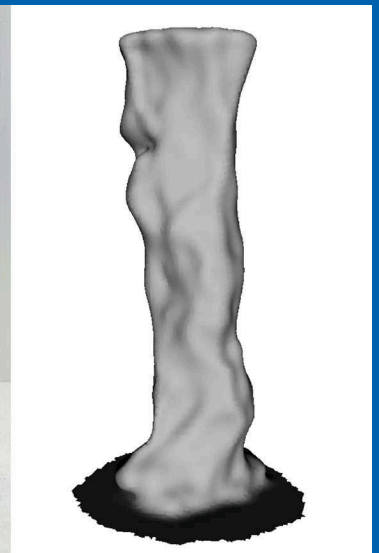
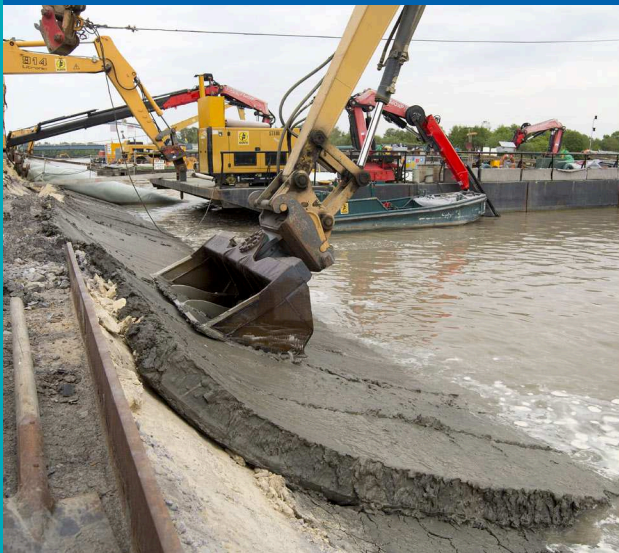
Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply;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



Forschungskompodium

Verkehrswasserbau

2020



Impressum

Herausgeber (im Eigenverlag):
Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)
Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe
Postfach 21 02 53, 76152 Karlsruhe
Telefon: +49 (0) 721 97 26-0
Telefax: +49 (0) 721 97 26-4540
E-Mail: info@baw.de, www.baw.de



Creative Commons BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Soweit nicht anders angegeben, liegen alle Bildrechte bei der BAW.

Karlsruhe · April 2021

Forschungskompodium

Verkehrswasserbau

2020

Vernetzte Forschung schafft neue Möglichkeiten

Liebe Leserin, lieber Leser,

Vernetzung ist einer der Megatrends unserer Zeit. Sie durchzieht viele unserer Lebensbereiche und macht neue Denk- und Arbeitsweisen möglich. Vernetzung zwischen unterschiedlichen Disziplinen sowie zwischen verschiedenen Institutionen ist heute eine zwingende Voraussetzung für die Lösung der immer komplexer werdenden Fragestellungen.

In der Forschung ist die Bundesanstalt für Wasserbau in vielfältiger Weise und auf verschiedenen Ebenen vernetzt, denn erfolgreiche Forschung setzt den Austausch von Wissen, Ideen und Ressourcen voraus. Forschung benötigt den Diskurs, der in der Vernetzung der unterschiedlichen Akteure stattfindet. In der digitalen Vernetzung verfolgen wir eine Open-Access-Strategie. Wissenschaftliche Methoden und die Ergebnisse unserer Forschung stellen wir webbasiert zur Verfügung. Veröffentlichungen und Forschungsdaten werden in Repositorien digital bereitgestellt. Neben der digitalen Vernetzung, die derzeit in großen Entwicklungsschritten vorstättengeht, bleibt die analoge Vernetzung, und das meint insbesondere die Vernetzung von Institutionen und Menschen, ein wichtiges Merkmal unserer Arbeit in der BAW.

Innerhalb der Wissenschaftsgemeinschaft sind wir beispielsweise in Form von ca. 30 Kooperationsverträgen mit anderen Forschungseinrichtungen, überwiegend mit Universitäten und Hochschulen sowie mit außeruniversitären Forschungseinrichtungen, vernetzt. Zumeist erfolgt dies in Form gemeinsamer Forschungsvorhaben, die in vielen Fällen in erfolgreich abgeschlossene Promotionen von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der BAW oder des Kooperationspartners münden. Auch beteiligen wir uns regelmäßig als Partner an Forschungsprojekten anderer Institutionen, sofern die Fragestellungen für uns strategische Bedeutung haben.

Innerhalb des Geschäftsbereichs des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur sind wir Partner im BMVI-Expertennetzwerk. Dieses Netzwerk ist das verkehrsträgerübergreifende Forschungsformat in der Ressortforschung des BMVI, das seit dem Jahr 2016 besteht und sich aus sieben Ressortforschungseinrichtungen und Fachbehörden zusammensetzt. Ziel ist es, drängende Verkehrsfragen der Zukunft zu erforschen und durch Innovationen eine resiliente und umweltgerechte Gestaltung der Verkehrsträger Straße, Schiene und Wasserstraße zu erreichen.

Vernetzung findet auch beim Transfer unserer Forschungsergebnisse in die Praxis statt. Dies geschieht auf unterschiedliche Weise: Zum einen fließen unsere Ergebnisse direkt in unsere Politikberatung für das BMVI sowie unsere Projektberatung für die Dienststellen der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) ein. Darüber hinaus dienen sie auch der Entwicklung von Standards in Form von Regelwerken und Planungshilfen, die wir gemeinsam mit BMVI und WSV erarbeiten und deren Geltungsbereich oftmals über die Wasserstraßen hinaus reichen. Zum anderen sind wir in den einschlägigen nationalen und internationalen Normungsgremien und Fachgesellschaften vertreten und gestalten dort die Normen auf Arbeits- und Managementebene mit.

Das vorliegende Forschungskompodium 2020 gibt einen vollständigen Überblick über die im Berichtsjahr neu begonnenen, laufenden und abgeschlossenen Forschungs- und Entwicklungsvorhaben. Auch diese Informationen sind Teil unserer Vernetzung, in diesem Fall mit Ihnen.

Ihr



Prof. Dr.-Ing. Christoph Heinzelmann
Leiter der BAW



Dr.-Ing. Jan Kayser
Forschungsbeauftragter der BAW

Karlsruhe, im April 2021

Inhalt

Teil I: Allgemeine Angaben zur Forschung der BAW	VII
Teil II: Einzelvorhaben	XI

Teil I: Allgemeine Angaben zur Forschung der BAW

1 Aufgabe der BAW

Angesichts der hohen Erwartungen an die Zuverlässigkeit des Verkehrssystems Schiff/Wasserstraße stellt sich insbesondere die Frage, welche Strategien zu ergreifen sind, um die künftigen Anforderungen der Schifffahrt vor dem Hintergrund der alternden Infrastruktur, gewachsener wasserwirtschaftlicher und ökologischer Anforderungen sowie möglicher klimabedingter Veränderungen sicher, wirtschaftlich und umweltfreundlich zu bewältigen. Neben Sicherheits- und Zuverlässigkeitsaspekten, Maßnahmen zur Bauwerkserhaltung, Fragen der Qualitätssicherung sowie Möglichkeiten der Standardisierung verkehrswasserbaulicher Lösungen werden hierbei einem erweiterten Wasserstraßenmanagement, der Bereitstellung aktueller Informationen mittels moderner Telematiksysteme sowie der Bewertung von Ausbaupotenzialen auf der Basis hoch genauer fahrdynamischer Analysen zentrale Bedeutung zukommen. Als Ressortforschungseinrichtung des Bundes führt die BAW stets angewandte, praxisorientierte Forschung und Entwicklung durch. Dabei sind die Forschungsthemen auf die aktuellen und zukünftig zu erwartenden Fragestellungen, letztere im Sinne einer vorausschauenden Forschung („Vorlauftforschung“), ausgerichtet. Eng damit verknüpft ist die „Antennenfunktion“ der Forschung und Entwicklung der BAW. Dabei gilt es, neue Entwicklungen, Chancen und Risiken für das Verkehrssystem Schiff/Wasserstraße möglichst frühzeitig zu erkennen und rechtzeitig geeignete Handlungsempfehlungen zu entwickeln. Die auf diese Weise gebildete Kompetenz steht direkt für Beratungs- und Unterstützungsleistungen zur Verfügung. In der kurzfristig abrufbaren wissenschaftlichen Kompetenz und der Fähigkeit, langfristig angelegte Fragestellungen kontinuierlich bearbeiten zu können, liegt eine besondere Stärke der BAW.

2 Forschungsfelder

Das Forschungsprogramm bildet den mittelfristigen, strategischen Rahmen der BAW-Forschung und gliedert sich auf der obersten Ebene in die drei Forschungsfelder: Infrastruktur, Mobilität und Umwelt. Diese Forschungsfelder werden jeweils durch Themenfelder untersetzt, die wiederum ein oder mehrere Oberthemen umfassen. Die Oberthemen bilden schließlich den Rahmen für die konkreten Forschungsprojekte.

Infrastruktur

- Zuverlässigkeit der Infrastruktur
- Erhaltung der Infrastruktur
- Wirtschaftlichkeit der Infrastruktur
- Nachhaltiges Sedimentmanagement
- Strombau der Zukunft

Mobilität

- Schiffssteuerung und Verkehrslenkung
- Anpassungen an den Klimawandel

Umwelt

- Fischdurchgängigkeit an Wasserstraßen
- Energiewende
- Baubedingte Emissionen und Immissionen
- Technisch-biologische Ufersicherungen

3 Forschungscluster

Für die Forschung kann über Finanzmittel aus mehreren Forschungsclustern verfügt werden. Die Finanzmittel stehen für Personal- und Sachausgaben zur Verfügung. Sie werden für Eigenforschung und für Kooperationen mit anderen Wissenschaftseinrichtungen eingesetzt. Die Größenordnung der Finanzmittel wird absehbar konstant bleiben.

Finanzierungsarten der BAW im Bereich Forschung und Entwicklung

- Die überwiegende Zahl der FuE-Vorhaben wird aus dem Bundeshaushalt Kapitel 1203 Titelgruppe 02 (**Eigenmittel Forschung**) finanziert.
- Das BMVI-Expertenetzwerk ist ein Forschungsformat in der Ressortforschung. Unter dem Leitmotiv „Wissen – Können – Handeln“ haben sich sieben Ressortforschungseinrichtungen und Fachbehörden des BMVI 2016 zu einem Netzwerk zusammengeschlossen. Die FuE-Vorhaben des Experten-/Forschungsnetzwerks zu Querschnittsthemen im Geschäftsbereich des BMVI werden aus dem Bundeshaushalt Kapitel 1210 Titelgruppe 03 finanziert.
- Beim KFKI handelt es sich um einen Zusammenschluss von Verwaltungen aus Bund und Küstenländern, die in der Küstenforschung tätig sind. Das KFKI verfolgt das Ziel, Naturvorgänge an der Küste zu erfassen und zu prognostizieren. Die Geschäftsstelle des KFKI ist bei der BAW am Standort Hamburg angesiedelt. Die beteiligten Länder sind an der Finanzierung beteiligt.
- Im Rahmen der Forschungsinitiative **mFUND** fördert das BMVI Forschungs- und Entwicklungsprojekte rund um digitale datenbasierte Anwendungen für die Mobilität 4.0. Die Finanzierung der FuE-Vorhaben unterliegt den Regeln des Zuwendungsrechts.
- Außerdem werden eine Reihe von FuE-Vorhaben durch Zuwendungen des BMBF und EU-Fördermittel finanziert, hierbei handelt es sich um die sogenannte Drittmittelforschung.

4 Ausgaben und Einnahmen der BAW im Jahr 2020

Personalausgaben:	32.919 T€
Sächliche Verwaltungsausgaben inkl. IT:	19.222 T€
Bauinvestitionen:	526 T€
Investitionen in Geräte und Anlagen inkl. IT:	6.726 T€
Summe Ausgaben:	59.393 T€
Einnahmen:	2.716 T€

5 Finanzplanung 1203 Tgr. 02

Angaben in T€

2020 Ist	2021 Soll	2022 Soll	2023 Soll
15.400	11.954	11.954	11.954

davon BAW

2020 Ist	2021 Soll	2022 Soll	2023 Soll
6.740	5.977	5.977	5.977

6 Personal

	2018	2019	2020
Beamte	59	62	63
Tarifbeschäftigte	372	397	420
Auszubildende	9	11	11
Beschäftigte gesamt	440	470	494

Neben dem Stammpersonal werden im Bereich Forschung und Entwicklung 57 befristet beschäftigte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter eingesetzt. Davon sind 10 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter im Rahmen des Expertennetzwerks beschäftigt.

7 Anteil Forschung und Entwicklung

	2018	2019	2020
Anteil FuE/externe Produkte	27,4	28,4	28,1

Prozentualer Anteil der für Forschung und Entwicklung aufgewendeten Arbeitszeit, bezogen auf die externen fachlichen Produkte.

8 2020 – Daten und Fakten

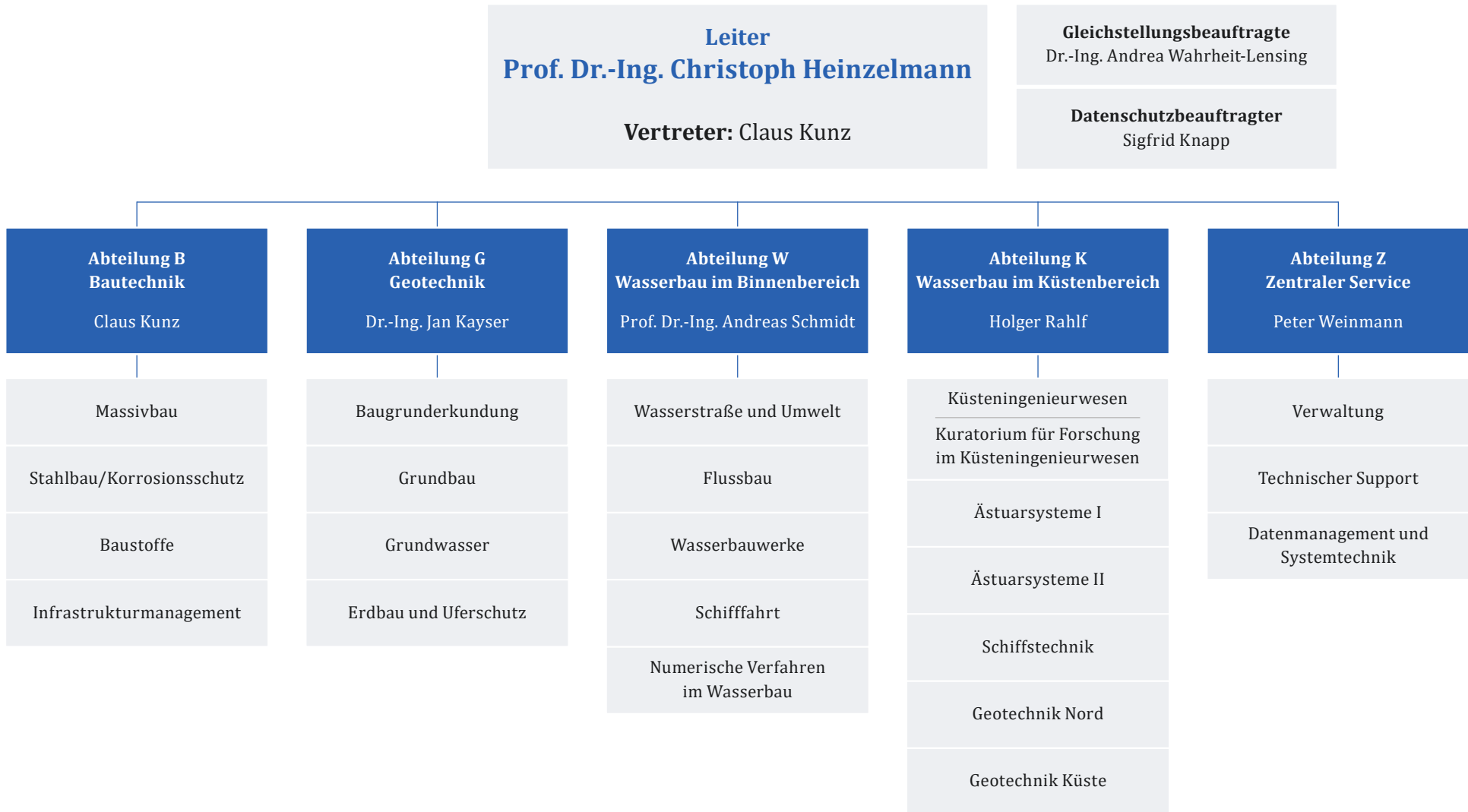
- Tätigkeiten in Ausschüssen: 258
- Promotionen: 2
- Veröffentlichungen und Vorträge: 75
- Lehraufträge: 9
- Forschungsvorhaben: 120
 - beendet: 16
 - laufend (neu + aktiv): 104
- Veranstaltungen: 4
(2 Kolloquien und 2 Aussprachetage mit insges. 704 Teilnehmern (373/331))

9 Forschungsmanagement

Forschung und Entwicklung sind Leitungsaufgabe in der BAW. Die BAW verfügt über ein zentrales und unmittelbar an die Leitung angebundenes Forschungsmanagement. Der Leitung der BAW obliegen insbesondere die strategische Zielbestimmung und Priorisierung. Der Forschungsbeauftragte nimmt übergreifende Koordinierungsaufgaben wahr und berät die Leitung in allen grundsätzlichen Forschungsangelegenheiten. Weiter obliegen ihm die interne Koordinierung der Vorhaben, der zur Verfügung stehenden Haushaltsmittel und die Abstimmung mit dem BMVI. Die von der Leitung ernannte Forschungsreferentin unterstützt den Forschungsbeauftragten in der Wahrnehmung seiner Aufgaben.

Zur abteilungsinternen Koordination des Managements von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben werden von den Abteilungsleitungen Forschungskordinatorinnen und -koordinatoren als Ansprechpersonen benannt. Dabei handelt es sich um wissenschaftliches Personal mit ausgewiesener langjähriger Forschungserfahrung, das die Abteilungsleitungen bei der Steuerung und Organisation der Forschungsaktivitäten in ihrem jeweiligen Fachbereich unterstützt. Darüber hinaus ist die Forschungskoordination bestrebt, die Ergebnisorientierung und Transparenz der Vorhaben zu erhöhen, die Abstimmung und Verzahnung der Vorhaben auch abteilungsübergreifend untereinander zu intensivieren, den internen und externen Wissenstransfer zu verstetigen, die wissenschaftlichen Kooperationen mit nationalen und internationalen Forschungseinrichtungen auszubauen sowie den Zugang zu Fördermöglichkeiten durch Drittmittel zu erleichtern.

10 Organigramm der BAW



Stand: Dezember 2020

Teil II: Einzelvorhaben

Inhaltsverzeichnis

I. Berichte zu abgeschlossenen FuE-Vorhaben in 2020

Titel	Auftragsnummer FuE-Vorhaben	Referat	Forschungs- bereich*	Seite
Querkrafttragfähigkeit schubunbewehrter Stahlbetonquerschnitte	B3951.01.04.70005	B1	I	3
Korrosionsschutzuntersuchungen – Vergleich Naturlagerung zu Labortestverfahren	B3951.02.04.70006	B2	I	5
Smart Repair	B3951.02.04.70009	B2	I	7
Digitalisierung im Verkehrswasserbau	B3951.04.04.70005	B4	I	9
Hydraulische Wechselwirkungen zwischen Grund- und Oberflächenwasser	B3952.03.04.70002	G3	U	11
Hydraulische Dimensionierung von Fischaufstiegsanlagen	B3953.01.04.70002	W1	U	13
Betroffenheitsanalyse und Anpassungsoptionen für Binnenwasserstraßen zur Aufrechterhaltung eines wirtschaftlichen und konkurrenzfähigen Verkehrsträgers	B3953.02.04.70006	W2	M	15
EU-Vorhaben PROMINENT	B3953.04.04.70007	W4	U	17
Betroffenheitsanalyse und Anpassungsoptionen für Binnenwasserstraßen zur Aufrechterhaltung eines wirtschaftlichen und konkurrenzfähigen Verkehrsträgers im Rahmen des BMVI-Expertennetzwerkes „Wissen – Können – Handeln“	B3953.04.04.70010	W4	M	19
Schiffshydrodynamik von Seeschiffen	B3955.01.04.70225	K1	M	21
EasyGSH-DB	B3955.02.04.70229	K2	I	23
Verbesserung der Validität und der Prognosefähigkeit des morphodynamischen Verfahrens SediMorph	B3955.03.04.70178	K3	U	25

* I = Infrastruktur, M = Mobilität, U = Umwelt

Titel	Auftragsnummer FuE-Vorhaben	Referat	Forschungs- bereich*	Seite
MudEstuary	B3955.03.04.70235	K3	U	27
BMVI-Expertennetzwerk: Küste	B3955.03.04.70236	K3	I	29
EXTREMENESS-C	B3955.03.04.70237	K3	M	31
BASEWAD – BALancing SEDiment deficits in the WADden Sea	B3955.03.04.70238	K3	U	33

II. Berichte zu aktiven FuE-Vorhaben¹

Titel	Auftragsnummer FuE-Vorhaben	Referat	Forschungs- bereich*	Seite
Reliability Analysis of Existing Hydraulic Structures	B3951.00.04.70002	B0	I	37
Numerische Untersuchungen an massiven Wasserbauwerken	B3951.01.04.70006	B1	I	39
Monitoring für massive Wasserbauwerke	B3951.01.04.70007	B1	I	41
Entwicklung eines Bemessungskonzeptes für den Nachweis der Tragfähigkeit von Schlauchwehrmembranen	B3951.02.04.70007	B2	I	43
Bemessung galvanischer Anoden im Stahlwasserbau	B3951.02.04.70008	B2	I	45
Mikrobiell induzierte Korrosion	B3951.02.04.70010	B2	I	47
Ermittlung der Systemtragfähigkeit unter Berücksichtigung von Schädigungsgraden an Stahlwasserbauten	B3951.02.04.70011	B2	I	49
Frostwiderstand zementgebundener Baustoffe	B3951.03.04.08099	B3	I	51
Messverfahren Hydratationswärme	B3951.03.04.70004	B3	I	53
Betone für Verkehrswasserbauwerke mit Hydroabrasionsbeanspruchung	B3951.03.04.70008	B3	I	55
Instandsetzung von Schleusenanlagen unter Betrieb (IuB)	B3951.03.04.70011	B3	I	57
Chemischer Angriff auf Gründungselemente	B3951.03.04.70015	B3	I	59

¹ (Stand: 01.01.2021)

* I = Infrastruktur, M = Mobilität, U = Umwelt

Titel	Auftragsnummer FuE-Vorhaben	Referat	Forschungs- bereich*	Seite
Betonstahlkorrosion im Rissbereich von Verkehrswasserbauwerken	B3951.03.04.70016	B3	I	61
Instandsetzungssysteme aus textilbewehrten Mörteln und Betonen für Wasserbauwerke	B3951.03.04.70017	B3	I	63
Risikoklassifikation von Verkehrswasserbauwerken	B3951.04.04.70002	B4	I	65
Tragfähigkeitskennzahlen für bestehende Konstruktionen	B3951.04.04.70003	B4	I	67
Resilienz kritischer Verkehrsinfrastrukturen am Beispiel der Wasserstraßen	B3951.04.04.70006	B4	I	69
Tragfähigkeitsorientierte Bewertung von Bauwerksschäden	B3951.04.04.70008	B4	I	71
Ermittlung geotechnischer Parameter aus geophysikalischen Messungen	B3952.01.04.70003	G1	I	73
GeoValML – Das interoperable Austauschformat für boden- und felsmechanische Kennwerte	B3952.01.04.70004	G1	I	75
Böden unter Stoßbelastung	B3952.02.04.10014	G2	I	77
Modellierung der Verformung nichtbindiger Böden unter zyklischer Belastungseinwirkung von Schleusenbauwerken	B3952.02.04.10045	G2	I	79
Ermittlung charakteristischer Kennwerte veränderlicher Gesteine unter Berücksichtigung des Porenwasserdrucks	B3952.02.04.70005	G2	I	81
Chemischer Angriff auf geotechnische Elemente	B3952.02.04.70006	G2	I	83
Untersuchung des Bodeneintrags in den Frischbeton von Ort betonbohrpfählen	B3952.02.04.70007	G2	I	85
Numerik für Boden-Wasser-Wechselwirkung	B3952.00.04.70001	G3	I	87
Kolmation als Schlüsselgröße der Wechselwirkung Oberflächenwasser – Grundwasser	B3952.03.04.70003	G3	U	89
Interaktion Oberflächenwasser – Grundwasser in den tidebeeinflussten Gebieten der deutschen Nordsee-Ästuare	B3952.03.04.70004	G3	U	91

* I = Infrastruktur, M = Mobilität, U = Umwelt

Titel	Auftragsnummer FuE-Vorhaben	Referat	Forschungs- bereich*	Seite
Chemischer Angriff auf geotechnische Elemente	B3952.03.04.70005	G3	I	93
Hydraulischer Widerstand feinkörniger Böden	B3952.03.04.70006	G3	I	95
Geohydraulische Anisotropie des Untergrunds	B3952.03.04.70007	G3	U	97
Geohydraulik Schleuse Hessigheim	B3952.03.04.70008	G3	I	99
Bestandsaufnahme vorhandener Deckwerke	B3952.04.04.10006	G4	I	101
Technisch-biologische Ufersicherungsmaßnahmen	B3952.04.04.10151	G4	U	103
Filterstabilität grober Gesteinskörnungen	B3952.04.04.70001	G4	I	105
Wellen-induzierte Porenströmungen im Gewässerbett und ihre Auswirkungen auf Erosionsprozesse	B3952.04.04.70008	G4	I	107
Zuverlässigkeitsbasierte Deckwerksbemessung	B3952.04.04.70009	G4	I	109
Entwicklung definiert abbaubarer Geotextilien zur Anwendung als temporäre Filter in technisch- biologischen Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen	B3952.04.04.70011	G4	U	111
Erosion bindiger Böden	B3952.04.04.70012	G4	I	113
Bestimmung der Widerstandsfähigkeit von Deichen	B3952.05.04.70318	K5	I	115
Störung des Baugrundes durch Kampfmittelsondierungen	B3952.05.04.70362	K5	I	117
Festigkeiten nichtbindiger Böden	B3952.05.04.70390	K5	I	119
Rückverankerung mit Stahlrammpfählen	B3952.05.04.70410	K5	I	121
Deckwerksanalyse mit der Diskrete-Elemente-Methode	B3952.06.04.70270	K6	I	123
Bestimmung des Tragverhaltens von offenen Stahlrohrpfählen	B3952.06.04.70378	K6	I	125
Ethohydraulische Versuche zur Passierbarkeit des Einstiegs von Fischaufstiegsanlagen	B3953.01.04.70006	W1	U	127
Berücksichtigung zeitabhängiger Strömungsprozesse bei der Beurteilung der Hydraulik von Fischaufstiegsanlagen	B3953.01.04.70008	W1	U	129
Fischabstieg an Wehranlagen – Untersuchungen zur Mehrphasenströmung beim Wehrüberfall	B3953.01.04.70009	W1	U	131

* I = Infrastruktur, M = Mobilität, U = Umwelt

Titel	Auftragsnummer FuE-Vorhaben	Referat	Forschungs- bereich*	Seite
Modellierung aufwärtsgerichteter Fischwanderung im Kraftwerksunterwasser	B3953.01.04.70010	W1	U	133
DANUBIUS-RI	B3953.02.04.70007	W2	U	135
Abbildung der Rauheitswirkung von Vorlandvegetation in der HN-Modellierung von Bundeswasserstraßen	B3953.02.04.70008	W2	U	137
Koordinierte Bewirtschaftung von Staustufenketten	B3953.03.04.70003	W3	I	139
Entwicklung von Verfahrensweisen zur Simulation bewegter Objekte mit OpenFOAM®	B3953.03.04.70004	W3	I	141
Fluid-Struktur-Wechselwirkung im Stahlwasserbau	B3953.03.04.70006	W3	I	143
Aktualisierung der Kriterien für die hydraulische Bemessung von Schleusen	B3953.03.04.70007	W3	I	145
Einwirkung des Propellerstrahls auf die Gewässersohle	B3953.04.04.10038	W4	I	147
Binnenschiffsführungssimulation	B3953.04.04.70003	W4	M	149
Fast-Time-Simulation von Binnenschiffen mit FaRAO	B3953.04.04.70008	W4	M	151
HN-Modellierung von Binnenschiffsbelastungen auf Ufer und Sohle	B3953.04.04.70009	W4	M	153
Minderung verkehrsbedingter stofflicher Belastungen in Luft, Wasser und Boden – Betriebliche und technische Optimierungen in der Binnenschifffahrt	B3953.04.04.70011	W4	U	155
AIS-basierte Bewertung des Schiffsverkehrs	B3953.04.04.70012	W4	M	157
Entwicklung eines neuen Verfahrens zur Modellierung der Strömungen mit freier Oberfläche gekoppelt mit der Umströmung von Schiffen in freifließenden Wasserstraßen	B3953.04.04.70013	W4	M	159
Projekt SCIPPER	B3953.04.04.70014	W4	M	161
Entwicklung eines Verkehrssimulationsmodells auf Binnenwasserstraßen	B3953.04.04.70015	W4	M	163
Automatisierung in der Binnenschifffahrt	B3953.04.04.70016	W4	M	165
Binnenschiffsemissionen (BinEm)	B3953.04.04.70017	W4	U	167

* I = Infrastruktur, M = Mobilität, U = Umwelt

Titel	Auftragsnummer FuE-Vorhaben	Referat	Forschungs- bereich*	Seite
Langfristsimulation in Fließgewässern	B3953.05.04.70004	W5	I	169
Integration von Zuverlässigkeitsanalysen in die hydro- und morphodynamische Modellierung von Binnenwasserstraßen	B3953.05.04.70005	W5	I	171
Implementierung numerischer Verfahren für flussbauliche Fragestellungen in der Entwicklungsumgebung DUNE	B3953.05.04.70006	W5	I	173
IMMERSE	B3955.00.04.70001	K0	I	175
Maßstabseffekte im schiffbaulichen Modellversuch	B3955.01.04.70174	K1	M	177
SafeZone: Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs	B3955.01.04.70226	K1	M	179
An- und Ablegemanöver großer Schiffe in der Schiffsführungssimulation	B3955.01.04.70233	K1	M	181
Sedimenttransport in der Trübungszone von Ästuaren	B3955.02.04.70230	K2	I	183
SMMS	B3955.02.04.70233	K2	I	185
Integration D-Flow FM	B3955.03.04.70221	K3	M	187
Prozessintegration und Performanzsteigerung des biogeochemischen Modells der Tideelbe	B3955.03.04.70239	K3	U	189
FuE: MudEms – Flüssigschlick im Emsästuar	B3955.03.04.70241	K3	I	191
Einsatz von alternativen Antriebstechnologien	B3955.04.04.70001	K4	M	193
Datenmanagement und Qualitätssicherung im Verkehrswasserbau (DMQS) 2.0	B3954.07.04.70006	Z3	I	195

* I = Infrastruktur, M = Mobilität, U = Umwelt

III. Berichte zu neuen FuE-Vorhaben in 2020

Titel	Auftragsnummer FuE-Vorhaben	Referat	Forschungs- bereich*	Seite
Einsatz von Fertigteilen im massiven Verkehrswasserbau	B3951.01.04.70008	B1	I	199
Beständigkeit von Korrosionsschutzbeschichtungen	B3951.02.04.70012	B2	U	201
Frischbetonfeuchtesonden	B3951.03.04.70018	B3	I	203
Entwicklung und Anpassung von AKR-Performance-Prüfungen	B3951.03.04.70019	B3	I	205
Ausschreibung, Vergabe und Abrechnung von Bauleistungen im Verkehrswasserbau	B3951.04.04.70007	B4	I	207
Innovative Methoden zur Zustandserfassung	B3951.04.04.70009	B4	I	209
Fuzzy-FMEA zur Steigerung der Aussagefähigkeit von Inspektionsergebnissen	B3951.04.04.70010	B4	I	211
Strukturierung und Verbesserung von Bestandsunterlagen der DVtU mit maschinellem Lernen und KI	B3951.04.04.70011	B4	I	213
3D-Bodenschichtmodell	B3952.02.04.70008	G2	I	215
Erfassung der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit mittels dreidimensionaler FE-Berechnungen in der Geotechnik	B3952.02.04.70009	G2	I	217
Mikroplastik als OW-GW-Indikator	B3952.03.04.70009	G3	U	219
Porenwasserüberdruck im Gewässerbett	B3952.04.04.70013	G4	I	221
Wurzeln zur Ufersicherung an Binnenwasserstraßen	B3952.04.04.70014	G4	U	223
Wissensbasierte Prognose der äußeren Tragfähigkeiten von Rückverankerungselementen	B3952.05.04.70420	K5	I	225
Wirkungen veränderter klimatischer Randbedingungen auf die Bundeswasserstraßen	B3953.02.04.70009	W2	I	227
Hydraulische und morphodynamische Untersuchungen in Krümmungstrecken mit Geschiebetransport	B3953.02.04.70010	W2	I	229

* I = Infrastruktur, M = Mobilität, U = Umwelt

Titel	Auftragsnummer FuE-Vorhaben	Referat	Forschungs- bereich*	Seite
Resiliente Abfluss- und Stauregelung der Wasserstraßen bei extremen Niederschlagsereignissen	B3953.03.04.70008	W3	I	231
Verkehrswirtschaftliche Analysen in der Binnenschifffahrt	B3953.04.04.70018	W4	M	233
RiverCloud	B3953.05.04.70007	W5	I	235
Direkte Identifikation der Manövriereigenschaften eines Schiffes aus Fahrtaufzeichnungen im Betrieb	B3955.01.04.70235	K1	M	237
Schiffserzeugte Belastung von Seeschiffen (Integra3D)	B3955.01.04.70379	K1	M	239
Numerische Simulation der Schiffswelle-Struktur-Interaktion (NumSiSSI)	B3955.01.04.70380	K1	I	241
HERKULIS – Worum geht es?	B3955.02.04.70234	K2	U	243
BMVI-Expertennetzwerk: Küste (Phase 2)	B3955.03.04.70242	K3	M	245

I. Abgeschlossene FuE-Vorhaben in 2020



Querkrafttragfähigkeit schubunbewehrter Stahlbetonquerschnitte

Entwicklung eines alternativen Ingenieurmodells zur rechnerischen Tragfähigkeitsbewertung bestehender Wasserbauwerke

1 Aufgabenstellung und Ziel

Bei der Tragfähigkeitsbewertung älterer Wasserbauwerke aus Stahlbeton werden die heutigen strengeren Anforderungen an die Querkrafttragfähigkeit häufig nicht erfüllt. Dabei bleiben die Besonderheiten massiver Wasserbauwerke wie die flächenhafte Beanspruchung oder das statische System, die im Allgemeinen einen günstigen Einfluss auf die Querkrafttragfähigkeit haben, in den gängigen Bemessungsregeln unberücksichtigt.

Ziel war es daher, ein alternatives Ingenieurmodell zur Abschätzung der Querkrafttragfähigkeit von Bestandsbauwerken der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) zu erarbeiten, um diese unter Berücksichtigung ihrer wasserbauspezifischen Besonderheiten angemessen bewerten zu können und darüber hinaus gegebenenfalls erforderliche Tragfähigkeitssteigerungen einfacher Verstärkungsmaßnahmen abzuschätzen.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Bei Nachrechnungen im Zuge von Umbaumaßnahmen, Zustandsbewertungen oder der Neuerstellung statischer Berechnungen nach aktuellen Regeln weisen WSV-eigene Ingenieurbauwerke oft rechnerische Defizite in der Querkrafttragfähigkeit auf, auch wenn sich die Bauwerke augenscheinlich in einem guten Zustand befinden und der WSV zum entsprechenden Zeitpunkt keine Bauwerksschäden bekannt sind, die nachweislich auf Querkraftversagen zurückzuführen sind.

Normgerechte Querkraftverstärkungen sind meist extrem aufwändig, greifen stark in die Bausubstanz ein oder sind aus konstruktiven Gründen überhaupt nicht möglich. Mithilfe eines Rechenmodells, das die wasserbauspezifischen Besonderheiten auf Grundlage der neueren Erkenntnisse realitätsnah berücksichtigt, könnte das Sicherheitsniveau bestehender Bauwerke günstiger eingeschätzt, Verstärkungsmaßnahmen reduziert bzw. unnötige Verstärkungen oder Stilllegungen vermieden werden.

Auftragsnummer:

B3951.01.04.70005

Auftragsleitung:



Matthias Lutz
 matthias.lutz@baw.de

Laufzeit:

2013 bis 2020

3 Untersuchungsmethoden

Die Bewältigung dieser Forschungsaufgabe erfolgt in Zusammenarbeit mit dem Institut für Betonbau der Technischen Universität Graz unter Leitung von Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. N. V. Tue.

Auf Grundlage einer intensiven Auseinandersetzung mit vorhandenen Querkraft-Rechenmodellen wurde ein alternatives Rechenmodell für die Ermittlung des kritischen Schubrisses entwickelt und im zweiten Schritt durch eine ganzheitliche Betrachtung des Tragverhaltens von Balken ohne Querkraftbewehrung ergänzt (Tue et al. 2015).

Zu dessen Überprüfung waren Querkraftversuche an Kragbalken und Durchlaufträgern unter Streckenlasten erforderlich, da Versuche in der Vergangenheit überwiegend an Einfeldträgern durchgeführt wurden und weitere Schubfeldtypen bisher fehlten (Tue et al. 2015). In mehreren Versuchsreihen wurde an Stahlbetonträgern im Labor für konstruktiven Ingenieurbau in Graz das Trag- und Verformungsverhalten der Träger bis zum Bruch dokumentiert. Eine Besonderheit war die Verwendung eines Feuerwehrschauchs zur Aufbringung einer echten Streckenlast.

Neben konventionellen Techniken wurden fotogrammetrische Messmethoden mit einem dualen Kamerasystem zur optischen Verformungsanalyse der Schubrissbildung eingesetzt. Daneben kam bei einigen Versuchen mit querkraftbewehrten Balken ein faseroptisches Verfahren zum Einsatz, bei dem Messkabel in einen gefrästen Schlitz entlang der Bügel- und der Längsbewehrung eingeklebt wurden, wodurch eine kontinuierliche Dehnungsverteilung in hoher Ortsauflösung erzielt werden konnte (Bild 1).

4 Ergebnisse

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde ein neuer Ansatz zur Beschreibung des Querkraftverhaltens von schubslanken Biegebauteilen erarbeitet und der Einfluss des statischen Systems und der Belastungsart auf das Querkrafttragverhalten durch experimentelle Untersuchungen bestätigt.

Gemäß dem neuen Rechenmodell, dem Schubbandmodell „SBM“, sind die prognostizierten Tragfähigkeiten für die mehrheitlich vorliegenden Gegebenheiten bei Wasserbauwerken merklich günstiger als nach den gängigen Bemessungsvorschriften. Die Höhe der zu erwartenden Differenzen wurde auf Grundlage einer Parameterstudie für die vereinfachte Abschätzung nachzurechnender Bauwerke quantifiziert.

Durch weitere Versuche wurde die Grundlage für eine ganzheitliche Betrachtung des Querkrafttragverhaltens von Balken mit und ohne Querkraftbewehrung unterschiedlicher Belastungsarten und Systeme geschaffen. Mithilfe der experimentell erfassten Risskinematik und des gemessenen Dehnungsverlaufes in der Bewehrung konnte eine mechanische Beschreibung der Kraftübertragung über den kritischen Schubriss von Balken mit geringer Querkraftbewehrung entwickelt werden. Bereits kleine Schubbewehrungsgrade bei Balken des Schubtyps 2 und 3 bewirken eine Steigerung der Traglast (Betschoga et al. 2018).

Das Forschungsvorhaben ist abgeschlossen und ein Abschlussbericht (Bundesanstalt für Wasserbau 2020) wurde erstellt. Für eine praxismgerechte Verwendung des Berechnungskonzepts im Rahmen der gutachterlichen Beurteilung von Wasserbauwerken müssen noch Rahmenbedingungen formuliert werden und es muss eine normgerechte Einbindung in das Sicherheitskonzept erfolgen.

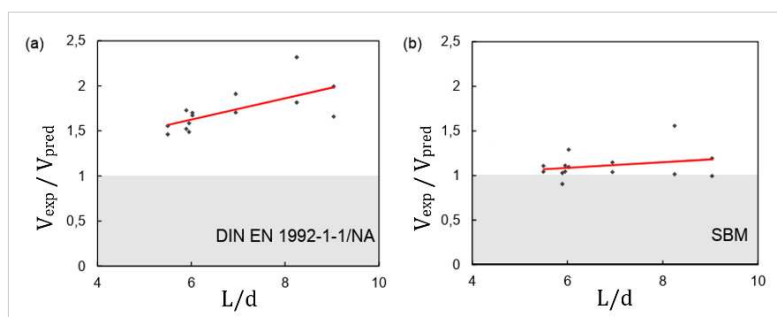


Bild 1: Verhältnis von rechnerischer zu tatsächlicher Querkrafttragfähigkeit aus Versuchen an Kragträgern unter Streckenlasten. a) nach EC 2, b) nach dem neuen Berechnungskonzept „SBM“ (Tue et al. 2019).

Literatur:

Betschoga, C.; Tue, N. V.; Ehmman, R.; Tung, N. D. (2018): Shear tests on reinforced concrete beams with low amounts of shear reinforcement. Tagungsband zum FIB Congress 07.-11.10.2018, Melbourne.

Bundesanstalt für Wasserbau (2020): Querkrafttragfähigkeit von Stahlbetonbauteilen. FuE-Abschlussbericht B3951.01.04.70005.

Tue, N. V.; Tung, N. D.; Betschoga C. (2019): Querkrafttragverhalten von Stahlbetonbalken mit geringer Normalkraft. Endbericht des FUE Forschungsvorhabens im Auftrag der BAW, Technische Universität Graz.

Tue, N. V.; Ehmman, R.; Tung, N. D. (2015): Schubversuche an Stahlbetonbalken unterschiedlicher M/V-Kombinationen. In: Beton- und Stahlbetonbau (110), S. 446-457.



Korrosionsschutzuntersuchungen – Vergleich Naturauslagerung zu Labortestverfahren

1 Aufgabenstellung und Ziel

Zur Einschätzung bzw. Evaluierung von Kurzzeit-Labortestverfahren für den Korrosionsschutz müssen diese mit Langzeitauslagerungen in der Natur vergleichbar sein. Diese Fragestellung beschäftigt seit langem auch die internationale Normung, wobei immer noch verlässliche Daten fehlen (Binder 2008). Von den beiden Prüfarten können jedoch die Resultate wiederum nur dann sinnvoll verglichen werden, wenn Unterschiede in der Applikation der einzelnen Schutzsysteme ausgeschaltet werden. Auch die zwischenzeitlich, vor allem bei Langzeitversuchen, auftretenden Alterungserscheinungen an der zu untersuchenden Korrosionsschutzbeschichtung sollten Berücksichtigung finden. Bei diesem Vorhaben sollen deshalb erstmals beide Prüfplattenserien in denselben Beschichtungsvorgängen hergestellt und anschließend in der Natur und im Labor geprüft und verglichen werden. Korrosionsschutzbeschichtungen für Stahlwasserbauten der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) werden grundsätzlich nach Labortestverfahren der Richtlinien zur Prüfung von Beschichtungsstoffen (RPB-BAW) geprüft und zugelassen. Den Laboruntersuchungen folgt anschließend noch ein Naturauslagerungstest, u. a. um die Laborergebnisse zu verifizieren. Die Testdauer der Langzeitauslagerung in der Natur (LZA) beträgt hierbei fünf Jahre.

Ziel der Untersuchungen ist es, einen Vergleich der Labortests mit praxisnahen Belastungen der Natur zu ermöglichen. Es ist vorgesehen, beschichtete Prüfplatten mit Korrosionsschutzsystemen verschiedener Hersteller mit jeweils identischer Applikation sowohl für die Langzeitauslagerung in der Natur wie auch für Kurzzeittests im Labor zu verwenden. Als ein relativ objektives Bemessungskriterium für die Schutzwirkung kann die Unterrostung an einer künstlichen Verletzung herangezogen werden. Da bei allen relevanten bisherigen Testverfahren die Unterrostung an der spezifischen künstlichen Verletzung (2,0 mm-Frässchnitt) maßgeblich ist, ist zu prüfen, inwieweit noch praxisrelevantere Verletzungen, wie z. B. Stoß (durch Transport- oder Einbauschäden von Bauteilen), gefunden werden können.

Auftragsnummer:

B3951.02.04.70006

Auftragsleitung:



Dr. Matthias Schmid
 matthias.schmid@baw.de

Laufzeit:

2014 bis 2020

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Für die Bauwerke der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) müssen qualitätsgeprüfte Korrosionsschutzstoffe für den Bauwerkserhalt bereitgestellt werden. Es ist zunächst zu prüfen, ob die Laborverfahren die Kriterien für brauchbare Schutzsysteme in ausreichender Differenzierung abbilden. Im Detail ist zu untersuchen, ob weitere bzw. neue Kriterien, die als typische Belastungen von Stahlwasserbauten in Betracht kommen, getestet werden müssten. Diese beinhalten z. B. die Belastung von Stahlwasserbauteilen durch Schlag, Stoß oder Scherung, welche bisher in keinem Regelwerk konsequent umgesetzt worden sind. Darüber hinaus müssen sich die Labortestverfahren an der Wirklichkeit messen. Hierzu dient u. a. der Vergleich von Kurzzeit-Laborergebnissen mit jenen der Langzeitauslagerungen in der Natur unter Ausschluss von Präparationseinflüssen der Probeplatten.

3 Untersuchungsmethoden

Die Untersuchungen stützen sich auf unterschiedliche Vorgehensweisen, d. h. sowohl auf Labor- wie auch auf Naturauslagerungsversuche. Das Hauptkriterium ist die jeweilige Unterrostungstiefe der aufgetragenen Korrosionsschutzbeschichtung an den künstlichen Verletzungen. Daneben sollen noch Unterrostungsprüfungen an den Versuchsblechen mit neuartiger künstlicher Verletzung durch eine stoßartige Schlagverletzung (Impact-Test, in Anlehnung an DIN EN ISO 6272) durchgeführt werden. Diese erfolgt mit einem fallenden Gewicht aus definierter Fallhöhe und simuliert die Wirklichkeit von Schlagbeanspruchungen (Schiffstouchierung, Torausbau, mechanische Arbeiten am Verschlussorgan, Transportschäden) möglicherweise besser als eine einfache Fräsverletzung. Durch anschließende Prüfung der so geschädigten Probeplatten im neutralen Salzsprühnebeltest nach DIN EN ISO 9227 (NSS) kann die Korrosionsschutzwirkung des Beschichtungssystems für diesen Extremfall ebenfalls abgeschätzt werden. Die Ergebnisse der Unterrostungen sollen statistisch ausgewertet werden, um eventuell existierende Korrelationen mit den anderen Testreihen zu ermitteln.

4 Ergebnisse

Die Auslagerungskampagne 2013 bis 2018 konnte erfolgreich abgeschlossen werden. Alle Langzeitauslagerungsplatten wurden von den vier Binnen- und Küstenstandorten eingeholt, gereinigt und bewertet (Bild 1). Nach Abschluss des eigentlichen Zulassungsverfahrens wird im Anschluss der Vergleich der Natur- und Laborergebnisse erfolgen. Ein besonderes Augenmerk liegt dabei auf der Korrelation einzelner Laborverfahren mit den Ergebnissen der Langzeitauslagerung.



Bild 1: Probeplatten nach der Naturauslagerung.

Literatur:

Binder, G. (2008): Determine usable coating systems – results of laboratory tests versus long term trials in nature. In: NACE corrosion 2008, New Orleans, paper 08001 (2008), 1–15.

Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2011): BAWRichtlinie Prüfung von Beschichtungssystemen für den Korrosionsschutz im Stahlwasserbau (RPB). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien).



Smart Repair

Reparatur bzw. Ersatz von Korrosionsschutzmaßnahmen zum Erhalt des Korrosionsschutzes und der Stahlkonstruktion

1 Aufgabenstellung und Ziel

Da ein Großteil der Infrastruktur der Bundeswasserstraßen bereits ein fortgeschrittenes Betriebsalter erreicht hat, drängt sich in vielen Fällen die zeitnahe Umsetzung eines Neubaus bzw. einer größeren Instandsetzungsmaßnahme auf. Häufig werden diese Maßnahmen im Vorfeld über einen sehr langen Zeitraum geplant und anschließend von Fachfirmen ausgeführt. Dieses Vorgehen kann durch eine gezielte Reparatur der Beschichtungen für den Korrosionsschutz hinausgezögert werden. Daher ist es besonders wichtig, entsprechende Lösungen zu erarbeiten, damit es für den Anwender ohne viel Aufwand möglich ist, diese Reparaturarbeiten durchzuführen.

Dazu sollen die gewonnenen Erkenntnisse aus den Labor- und Felduntersuchungen dieses FuE-Vorhabens einen ersten Ansatzpunkt liefern, der darüber hinaus in ein etablierbares Prüfzenario für Reparaturprodukte einbezogen werden kann. Dieses Forschungsprojekt ist Teil des 2016 initiierten BMVI-Expertennetzwerks.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Durch eine frühzeitige Reparatur bzw. den Einsatz von intelligenten Maßnahmen zum Erhalt des Korrosionsschutzes von Stahlwasserbauwerken ergeben sich sowohl langfristige Kosteneinsparungen als auch Sicherheitsgewinne. Sogenanntes „Smart Repair“ von Korrosionsschutzbeschichtungen kann als kurzfristige Ausbesserungsmethode zu einer Verlängerung der Zeitspanne bis zur Grundinstandsetzung oder gar bis zum Ersatzneubau führen. Im Zusammenhang mit Ausbesserungsbeschichtungen bzw. spezifischen Reparaturlösungen soll die WSV beraten und unterstützt werden.

3 Untersuchungsmethoden

Zur Prüfung der Anwendbarkeit bzw. der Funktionalität von Ausbesserungs- bzw. Reparaturprodukten im Stahlwasserbau und im Stahlhochbau wurden Untersuchungen sowohl im Labor als auch am Bauwerk durchgeführt. Dabei

Auftragsnummer:

B3951.02.04.70009

Auftragsleitung:



Mario Hörnig
 mario.hoernig@baw.de

Laufzeit:

2016 bis 2020

spielte die Untersuchung von Aspekten der Handhabung genauso eine Rolle wie die Einsatzfähigkeit und auch das Langzeitverhalten. Hierfür standen in der WSV verschiedene Bauwerke zur Verfügung, welche es ermöglichen, bestimmte Produkte „vor Ort“ anzuwenden und über einen längeren Zeitraum zu überwachen.

Darüber hinaus waren jedoch Untersuchungen im Labor unabdingbar, um z. B. Extrembelastungen simulieren zu können. Wurden die Produkte und Lösungen an ihre Einsatzgrenzen gebracht, konnten Aussagen über das langfristige Verhalten am Bauwerk getroffen werden.

Genauso war es von entscheidender Bedeutung zu erkennen, welche Schäden grundsätzlich als reparierbar einzustufen sind und bei welchen Schäden eine vollwertige Instandsetzung vorzuziehen ist. Da eine große Anzahl der Bauwerke in der WSV bereits ein fortgeschrittenes Alter erreicht haben und dementsprechend mit ebenso alten Beschichtungssystemen ausgestattet sind, wurde zudem die Kompatibilität von modernen Reparatursystemen mit Altbeschichtungen untersucht.

4 Ergebnisse

Ein Aspekt der Laborversuche behandelte die Tauglichkeit verschiedener Fehlstellenbreiten zur Untersuchung von Reparaturmaßnahmen. Dabei hat sich gezeigt, dass die schmalen Fehlstellen aus etablierten Norm-Prüfverfahren nicht ausreichen, um Effekte durch verschiedene Oberflächenvorbereitungen oder den Einsatz von verschiedenen Applikationswerkzeugen deutlich abzubilden (Hellmann 2017). Besser eignen sich breitere Verletzungen, die eine spezifischere Bearbeitung und Analyse ermöglichen (Bild 1). Der Einsatz von Handgeräten zur Oberflächenvorbereitung bleibt aber im Hinblick auf die nötige Reproduzierbarkeit eine Herausforderung.

Entgegen der Erwartung hat sich bei den im Gegensatz zur Praxis relativ kleinen Schadstellen auf den Probenplatten kein nennenswerter Einfluss durch verschiedene Oberflächenvorbereitungen bemerkbar gemacht. Eine sehr gründliche Oberflächenvorbereitung lieferte keine signifikante Verbesserung der Ergebnisse im Vergleich mit einer weniger gründlichen (Pepernik 2019). Eine allgemeingültige Übertragbarkeit dieser Ergebnisse in die Praxis steht noch aus, da eine Skalierung von kleinen Prüfflächen auf große Bauteilflächen nicht untersucht wurde. Einige Smart-Repair-Systeme lassen sich jedoch grundsätzlich auch auf nicht gründlich vorbereitete Oberflächen erfolgreich auftragen. Dies belegen die Applikationsversuche aus dem Feld, bei denen Korrosionsschutzschäden auch auf Oberflächen mit begrenzter Restfeuchte oder Anhaftungen ausgebessert werden konnten (Hörnig 2018).

Die Auswertung der verschiedenen Versuchsansätze hat zudem gezeigt, dass sich individuelle Ausführungsparameter auf die Ergebnisse auswirken. Mit einer möglichst großen Probenzahl kann jedoch bestehenden Unsicherheiten entgegengewirkt werden. Gleichzeitig müssen alle Rahmenparameter der Versuche, der Belastungsszenarien und der Messungen möglichst identisch sein, um derartige Einflüsse auf die Ergebnisse weitgehend ausschließen zu können. Nachdem die Auswirkungen der verschiedenen Prüfparameter bekannt sind, soll der Fokus zukünftiger Untersuchungen auf Prüfverfahren liegen, bei denen eine ausreichend gute Reproduzierbarkeit sichergestellt werden kann.

Da dieses Projekt einen hohen direkten Praxisbezug hat, wurde bereits in dessen Laufzeit ein Programm zum Erfahrungsaustausch und Wissenstransfer aufgestellt. Dieses mündete in sehr erfolgreichen halbtägigen Workshops in den Ämtern der WSV, wo theoretische, aber vor allem auch praktische Einblicke in das Thema der Reparatur von Korrosionsschutzbeschichtungen ermöglicht wurden. Dieses Format soll auch über das Ende des Forschungsprojektes hinaus weitergeführt werden und langfristig um digitale Wissensdatenbanken und Hilfe-Elemente erweitert werden.



Bild 1: Laborprobenplatten mit verschiedenen hergestellten Fehlstellenbreiten nach der Belastung in der Salzsprühnebelkammer.

Literatur:

Hellmann, J. (2017): Untersuchungen der Eignung organischer Beschichtungen für Reparaturen im Stahlwasserbau. Karlsruhe: BAW (Bachelorthesis, Hochschule Kaiserslautern).

Hörnig, M. (2018): Erfahrungen und Möglichkeiten zur Prüfung von Ausbesserungsmitteln im Stahlwasserbau, Korrosionsschutz für Meerwasserbauwerke. HTG-Workshop.

Pepernik, S. (2019), Leistungsuntersuchungen von Reparaturprodukten von Korrosionsschutzbeschichtungen im Stahlwasserbau. Karlsruhe: BAW (Bachelorthesis, KIT).



Digitalisierung im Verkehrswasserbau

1 Aufgabenstellung und Ziel

Im Rahmen des Stufenplans „Digitales Planen und Bauen“ (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2015) soll die BIM-Methodik ab 2020 flächendeckend für den Neubau von Infrastrukturbauwerken eingesetzt werden. Die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) hat dazu eine Projektgruppe eingerichtet und den Ersatzneubau der Schleusen Lüneburg und Wedtlenstedt als Pilotprojekt ausgewählt. Das wesentliche Ziel dabei ist die Erprobung der BIM-Methode sowie die Vorbereitung der Implementierung von BIM in der WSV. Die bisherigen Arbeiten der Gruppe zeigen jedoch, dass die Implementierung der BIM-Methode in der WSV ein langfristiger Prozess ist. Grund hierfür ist die erforderliche Prozessanalyse als Basis für die nachgeordnete Standardisierung von Informationslieferungen. Eine grundlegende Aufarbeitung der Thematik ist erforderlich. Daher müssen zeitlich überschaubare Bauprojekte herangezogen werden, deren Planungsphasen in einem kurzen Zeitraum abgewickelt werden können.

Das Ziel des FuE-Vorhabens ist es, auf Basis eines überschaubaren Bauprojektes die Prozesse der Planungsphase zu analysieren und darauf aufbauend ein Implementierungskonzept zur Digitalisierung für vergleichbare Vorhaben aufzustellen. Dabei soll die besondere Rolle der WSV ebenso Berücksichtigung finden wie bereits vorhandene IT-Komponenten. Abschließend soll in einer RoadMap dokumentiert werden, wie langfristig und nachhaltig WSV weit eine Digitalisierung des gesamten Lebenszyklus der Verkehrswasserbauwerke erreicht werden kann.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Während der Planungsphase von Baumaßnahmen der WSV interagieren viele Beteiligte, was hohe Anforderungen an Transparenz und Sicherheit bei der Planung stellt. Mit der Digitalisierung wird eine effiziente und bessere Planung von Baumaßnahmen möglich sein. Durch eine konsequente digitale Prozessabbildung können die Prozesse transparent, strukturiert und sicher ablaufen, sodass der Prozessablauf beschleunigt wird und bessere Entscheidungen getroffen werden können. Die Entscheidungen werden auf Basis definierter Austauschforderungen optimal unterstützt.

Auftragsnummer:

B3951.04.04.70005

Auftragsleitung:

Dr. Zorana Duric
 zorana.duric@baw.de

Laufzeit:

2018 bis 2020

3 Untersuchungsmethoden

Im Rahmen des Forschungsvorhabens ist zum einen die Analyse einer überschaubaren Verkehrswasserbau- maßnahme vorgesehen. Die Untersuchung beinhaltet die Betrachtung der Planungsprozesse. Dabei sind be- teiligte Rollen, Informationsproduzenten und -konsumenten, Interaktionen und Transaktionen sowie Ent- scheidungsmomente zu identifizieren und festzuhalten. Für die Dokumentation der Ergebnisse aus der Prozessanalyse soll eine standardisierte grafische Spezifikations- sprache (Business Process Model and Nota- tion) verwendet werden.

Um die identifizierten Informationen nutzerorientiert bereitstellen zu können, ist zu untersuchen, wie für die WSV ein einheitliches Informationsmodell, das relevante Informationen aus verschiedenen IT-Systemen ver- netzt, aufgebaut werden kann. Hierfür ist der Blick auf die für die Prozesse Planen, Bauen und Betreiben wes- entlichsten IT-Systeme der WSV, wie z. B. die digitale Verwaltung technischer Unterlagen (DVtU), zu richten und deren Metadaten hinsichtlich einer entsprechenden Vernetzung zu analysieren.

Ferner ist zu erkunden, ob in der WSV bereits Erfahrungen mit der Anwendung digitaler Methoden bei der Umsetzung von Bauprojekten gesammelt werden. Dazu sind im Rahmen von Befragungen die bewährten Methoden bzw. Vorgehensweisen zu erfassen, zu dokumentieren und bei der Entwicklung des Implemen- tierungskonzepts zur Digitalisierung zu beachten. Ebenso sind die durch eine Vernetzung mit Wissenschaft und anderen Infrastrukturbetreibern gewonnenen Erkenntnisse zu berücksichtigen.

4 Ergebnisse

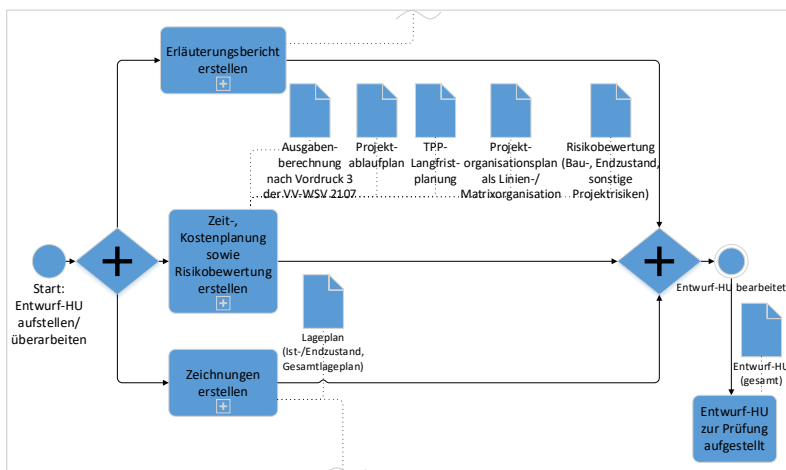
Für die Beschreibung von Prozessen in verschiedenen Planungsphasen wurde das Projekt „Instandsetzung Wehr Geesthacht“ herangezogen. Hierbei wurden zunächst sämtliche zum Entwurf-HU gehörenden Doku- mente sowie Regelwerke intensiv gesichtet und darauf aufbauend die Aktivitäten, die von verschiedenen Rol- len ausgeführt werden, anhand eines Prozessdiagramms in standardisierter Form (siehe Bild 1) modelliert.

Des Weiteren wurden Interviews zu verschiedenen Projekten durchgeführt. Die Interviews zeigten, dass die Ämter bereits erfolgreich digitale Methoden zur Bestandserfassung, Visualisierung und virtueller Inbetrieb- nahme nutzen. Um auch andere Ämter innerhalb der WSV bei der Implementierung von digitalen Methoden zu unterstützen, wurden diese beispielhaften Anwendungsfälle in Form von Steckbriefen beschrieben sowie deren Nutzen und Implementierungsvoraussetzungen erläutert und mit Bildern aus den Projekten belegt.

Ferner wurde ein Konzept zum Wissensmanagement aufgestellt, welches den schnellen Zugriff und den Aus- tausch von Wissen bzw. Informationen ermöglicht und der Dokumentation des Erfahrungswissens besondere Bedeutung zuschreibt.

Im Zuge der Projektbearbeitung zeigte sich, dass die DVtU das zentrale, bautechnische IT-Verfahren der WSV ist, das in allen Lebenszyklusphasen von Bauwerken Daten generiert und verarbeitet. Die DVtU unterstützt bei der Erstellung von Unterlagen der Planung, einschließlich der Prüfung und Genehmigung, und ist gleichzeitig auch das primäre Ablagesystem für Bestandsunterlagen. Allerdings wird aktuell die DVtU nicht flächende- ckend einheitlich von allen Nutzern angewendet. Um die Ursachen dafür zu identifizieren und das Potential der DVtU besser auszuschöpfen, wurden zunächst einige Interviews mit den Nutzern des IT-Verfahrens sowie eine Analyse der Metadaten durchgeführt. Darauf aufbauend wurden erste konkrete Maßnahmen zur Optimie- rung der DVtU herausgearbeitet.

Die im Rahmen des Projekts gewonnenen Erkenntnisse wurden in den Empfehlungen für einen Masterplan „Digitalisierung für das Planen, Bauen und Betreiben der Wasserstraßeninfrastruktur“ (BAW 2019) verankert.



Literatur:
 BAW (2019): Planen, Bauen und Be- treiben der Wasserstraßeninfrastruktur. Empfehlungen zur Erstellung ei- nes Masterplans Digitalisierung (B3954.00.01.00001).
 Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2015): Stufen- plan Digitales Planen und Bauen. Ein- führung moderner, IT-gestützter Pro- zesse und Technologien bei Planung, Bau und Betrieb von Bauwerken.

Bild 1: Auszug aus dem Prozessdiagramm für den Entwurf-HU Wehr Geesthacht (Rolle: Projektleitung).



Hydraulische Wechselwirkungen zwischen Grund- und Oberflächenwasser

1 Aufgabenstellung und Ziel

Flussauen stellen Ökosysteme dar, die von der hydraulischen Anbindung zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser geprägt sind. Aufgrund des üblicherweise geringen Flurabstandes spielt die Grundwasserdynamik für den Wasserhaushalt dieses Ökosystems eine herausragende Rolle. Änderungen der Abflussverhältnisse und/oder des hydraulischen Anschlusses zwischen Oberflächen- und Grundwasserkörper wirken sich auf die Grundwasserdynamik und letztlich auf den Wasserhaushalt der Aue aus. In Lenzen an der Elbe, wo eine der größten Deichrückverlegungsmaßnahmen Europas umgesetzt wurde, bietet sich ein Untersuchungsgebiet an, um die Wirkungszusammenhänge zwischen Abfluss- und Grundwasserdynamik eingehend zu studieren.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Flussbauliche Unterhalts- bzw. Ausbaumaßnahmen können sowohl die Abflussdynamik als auch die Beschaffenheit der Flusssohle verändern, was den hydraulischen Austausch zwischen den als Wasserstraßen genutzten Flüssen, Seen und Kanälen und dem Grundwasser in den Uferbereichen beeinflussen kann. Gestiegene Anforderungen an die Belastbarkeit von Prognosen der Auswirkungen wasserbaulicher Unterhalts- und Ausbaumaßnahmen auf den ökologischen Zustand von Flussauen setzen ein besseres Verständnis der komplexen Wechselwirkungen zwischen Oberflächengewässern und Grundwasser voraus.

3 Untersuchungsmethoden

Um die hydraulischen Wechselwirkungen zwischen Abfluss- und Grundwasserdynamik vor, während und nach Überflutungsereignissen zu studieren, wurden im Untersuchungsgebiet Lenzen acht Messstellen zur Erfassung der oberflächigen Wasserstände (s. Bild 1) sowie zwölf Messstellen zur Aufzeichnung der Grundwasserstände eingerichtet. Die Oberflächenwassermessstellen sowie das darin befindliche Datenerfassungssystem wurden so ausgelegt, dass sie den hydraulischen und mechanischen Beanspruchungen (Treibgut)

Auftragsnummer:

B3952.03.04.70002

Auftragsleitung:



Dr. Héctor Montenegro
 hector.montenegro@baw.de

Laufzeit:

2010 bis 2020

während einer Überflutung standhalten. Im Überflutungsfall, wenn das Gelände mehrere Meter überstaut sein kann, werden die Messwerte in einem Datenlogger zwischengespeichert und nach Ablauf der Hochwasserwelle, wenn der Messstellenkopf wieder aus dem Wasser herausragt, per Funk an einen Datenserver übertragen. Im Beobachtungszeitraum kam es ungewöhnlich häufig zu Hochwasser und damit einhergehend zur Einströmung in das Deichrückverlegungsgebiet bis hin zur Durchströmung. Das Messsystem hat sich dabei als hinreichend robust erwiesen, selbst bei dem im Bereich Lenzen höchsten jemals aufgetretenen Hochwasserereignis mit einem Überstau des Geländes von ca. 5 Metern. Die gewonnenen Messdaten der ober- und unterirdischen Wasserstände wurden mittels numerischer Modelle (hydronumerische Berechnung mit UNTRIM2D und Grundwasserströmungsberechnung mit FeFLOW) analysiert. Dieses FuE-Vorhaben fokussiert sich auf die Analyse der Grundwasserströmungsprozesse.

4 Ergebnisse

Ein instationäres 3D-Grundwasserströmungsmodell (GW-Modell) wurde zur Untersuchung der hydraulischen Austauschvorgänge zwischen den Wasserkörpern im Bereich der Deichrückverlegung während der Einströmung und der Überflutung aufgestellt. Generell liegen nur relativ wenige Informationen über die hydraulische Durchlässigkeit des Untergrunds sowie die Mächtigkeit und Beschaffenheit der den hydraulischen Austausch bestimmenden Auelehmdeckschichten vor. Dieser Mangel lässt nur eine vergleichsweise einfache Modellstruktur mit wenigen Modellparametern zu. Die Eigenschaften des quartären Grundwasserleiters im gesamten Modellgebiet wurden durch einen Parametersatz bestehend aus hydraulischer Durchlässigkeit, effektiver Porosität sowie spezifischem Speicherkoeffizienten charakterisiert. Zur Berücksichtigung des Wasseraustausches zwischen dem Grundwasser und den Fließgewässern (Elbe und Löcknitz), dem Grabensystem sowie den neu angelegten Flutmulden wurde jeweils ein konstanter Leakage-Parameter zur Berücksichtigung des Fließwiderstands bei Exfiltration und Infiltration angesetzt ($\lambda_{ex} = \lambda_{in}$). Die Modellkalibrierung (Anpassung der oben beschriebenen Parameter an die Messwerte) erfolgte zunächst für eine Phase ohne Einströmung/Überflutung und mit geringer Abflussdynamik. Bei der Modellkalibrierung betragen die mittleren Abweichungen zwischen Modell und Beobachtung (Wurzel der Summe der quadratischen Abweichungen, RMSE) ca. 1 Dezimeter. Dieses Maß verdoppelte sich bei der Berechnung eines Zeitraumes mit höherer Abflussdynamik (Modellvalidierung). Für die Modellierung der Einströmungs- und Überflutungsereignisse mit Überstauhöhen von teilweise mehr als 5 Metern wurde der Überstau durch (zeitlich veränderliche) lineare Interpolation der gemessenen Oberflächenwasserstände abgebildet. Für diese extremen Bedingungen ergab die Berechnung einen mittleren Modellfehler der Grundwasserstände von etwa 3 Dezimetern.

Generell basieren Planungen zur Umgestaltung von Flussauen auf hydronumerischen Strömungsmodellen (HN-Modelle), die Prognosen der Oberflächenwasserstände während der Ein- und Überströmung einer Aue liefern. Diese Oberflächenwasserstände stellen eine wesentliche hydraulische Randbedingung für GW-Modelle dar. Es wurden unterschiedliche Kopplungsansätze zwischen HN-Modell und GW-Modell untersucht. Zunächst wurde eine unidirektionale Schnittstelle (Wasseraustausch zwischen den Wasserkörpern wird im HN-Modell nicht berücksichtigt) zwischen HN- und GW-Modell erstellt. Das GW-Modell greift zu bestimmten Zeitpunkten auf vorab mittels HN-Modells berechneter Oberflächenwasserstände zurück und behandelt diese als räumlich und zeitlich veränderliche Randbedingungen. Zusätzlich wurde eine bidirektionale Kopplung untersucht, bei der der Wasseraustausch zwischen Grund- und Oberflächenwasser in beiden Modellen berücksichtigt wird (ifmMI-KE11). Beide Kopplungsansätze lieferten vergleichbare Ergebnisse, der Modellfehler (bezogen auf die gemessenen GW-Stände) zwischen uni- und bidirektionaler Kopplung erwies sich als marginal. Angesichts der erheblichen Durchströmungsraten im Hochwasserfall vermag eine bidirektionale Berücksichtigung der Austauschraten die Prognosen der Grundwasserdynamik nicht maßgeblich zu verbessern.



Bild 1: Manche Messstellen im Untersuchungsgebiet (hier OW-Messstelle) wurden während des Hochwassers 2013 um ca. 5 m überstaut.

Literatur:

Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) (Hg.) (2013): Die Deichrückverlegung bei Lenzen an der Elbe. BAWMitteilungen 97. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW).

Heinzelmann, C.; Alexy, M.; Montenegro, H. (2016): Hochwasserschutz im Einklang mit Naturschutz – Die Deichrückverlegung Lenzen an der Elbe. In: Mobil oder Nicht-Mobil? Konventioneller und innovativer Hochwasserschutz in Praxis und Forschung, 46. IWSA-Tagung, Aachen.



Hydraulische Dimensionierung von Fischaufstiegsanlagen

Zur Durchfluss-Fließtiefen-Relation in Schlitzpässen

1 Aufgabenstellung und Ziel

Der in Deutschland und vermutlich weltweit am häufigsten eingesetzte Bautyp einer Fischaufstiegsanlage ist der Schlitzpass. Das Prinzip beruht darauf, dem Fisch über eine Aneinanderreihung von Becken die Überwindung eines großen Höhenunterschieds zu ermöglichen. Die Becken sind durch Schlitze miteinander verbunden, an denen sich kleine, für den Fisch überwindbare Wasserspiegeldifferenzen einstellen.

Mit dem Merkblatt DWA-M 509 erschien 2014 ein Standardwerk für die Bemessung von Fischaufstiegsanlagen. Auch wenn sich das Merkblatt in der Praxis in weiten Teilen bewährt hat, gibt es nach wie vor eine Anzahl offener Fragen, die nationale und internationale Forschungsaktivitäten insbesondere auch zur Hydraulik eines Schlitzpasses zur Folge haben. Das vorliegende Forschungsprojekt hat zum Ziel, einige dieser offenen Fragen zu beantworten und so eine verbesserte Grundlage für die Dimensionierung von Schlitzpässen zu erarbeiten. Neben einer Reihe weiterer Themen, wie dem Strömungsmuster und der Fließgeschwindigkeit (z. B. Höger et al. 2014, 2015), wurde die Durchfluss-Fließtiefen-Relation in Schlitzpässen untersucht. Die Resultate werden im vorliegenden Beitrag präsentiert.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Seit der Novellierung des Wasserhaushaltsgesetzes zum 1. März 2010 ist die Erhaltung bzw. Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit, soweit dies zur Erreichung der einschlägigen Bewirtschaftungsziele erforderlich ist, gesetzlicher Auftrag der WSV. Im Hinblick auf die Dringlichkeit der Maßnahmen und der großen Zahl von ca. 250 durchgängig zu gestaltenden Stauanlagen besteht ein großer Bedarf an belastbaren Bemessungskriterien, der angesichts des noch unzureichenden Wissens auf diesem Gebiet einen entsprechenden Forschungsbedarf begründet. Der Betriebsdurchfluss und die Fließtiefe sind fundamentale Größen für die Bemessung einer Fischaufstiegsanlage. Aufgrund der oft beengten Platzverhältnisse wird an vielen Standorten der WSV ein Schlitzpass zum Einsatz kommen. Vertiefte Kenntnisse über dessen hydraulische Dimensionierung sind deshalb von wesentlicher Relevanz.

Auftragsnummer:

B3953.01.04.70002

Auftragsleitung:



Dr. Roman Weichert
 roman.weichert@baw.de

Auftragsbearbeitung:



Frederik Prinz
 frederik.prinz@baw.de

Laufzeit:

2010 bis 2020

3 Untersuchungsmethoden

Die Untersuchungen zum Projekt wurden in Kooperation mit dem Institut für Wasser und Gewässerentwicklung des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) auf Basis von gegenständlichen Modelluntersuchungen am KIT und an der BAW durchgeführt.

Grundsätzlich wurde darauf geachtet, dass die Untersuchungen den im Merkblatt DWA-M 509 (2014) beschriebenen Parameterbereich abdecken. Eine wesentliche Unterscheidung der beiden Versuchsreihen liegt in der unterschiedlichen Gestaltung der Schlitze. Während in den Untersuchungen an der KIT-Rinne ein scharfkantiger Schlitz zum Einsatz kam, sind die Schlitze in der BAW-Rinne abgerundet. Des Weiteren wurden die Versuche in der KIT-Rinne ohne Sohlrauheit durchgeführt, wohingegen an der BAW drei unterschiedliche Bedingungen vorlagen: ohne Sohlrauheit (glatt), mit einer idealisierten Sohlrauheit in Form von Halbkugeln und mit Granitschotter.

4 Ergebnisse

Die Untersuchungen am KIT und an der BAW bestätigen den linearen Zusammenhang zwischen Durchfluss und Fließtiefe in einem Schlitzpass. Basierend auf den KIT/BAW-Daten wurde eine lineare Gleichung zur Beschreibung dieses Zusammenhangs entwickelt, die auch der Prüfung unabhängiger Rinnendaten standhielt (siehe Bild 1). Der Gültigkeitsbereich der Gleichung bezieht sich dabei auf den Anwendungsbereich des Merkblattes DWA-M 509 (2014) hinsichtlich der dort empfohlenen Geometrien, Mindestfließtiefen und Gefällebereiche für die Kaulbarsch-Flunder-, Brachsen- und Barbenregion.

Der Vergleich der KIT/BAW-Daten mit dem Ansatz im Merkblatt DWA-M 509 ist unterschiedlich zu beurteilen. Die DWA-Gleichung für das stabile Strömungsmuster führt nicht zu brauchbaren Ergebnissen, wohingegen die Gleichung für das dissipierende Strömungsmuster grundsätzlich gute Resultate liefert – unabhängig davon, welches Strömungsmuster vorhanden ist. Ein direkter Vergleich des entwickelten linearen Ansatzes mit dem DWA-Ansatz für strömungsdissipierende Verhältnisse zeigt, dass Abweichungen existieren, grundsätzlich jedoch ähnliche Ergebnisse produziert werden. Der Vorteil des entwickelten linearen Ansatzes ist eine im Vergleich zum DWA-Ansatz vereinfachte Berechnung für rückgestaute Verhältnisse. Die Ergebnisse zeigen weiterhin, dass die Durchfluss-Fließtiefen-Relation in Schlitzpässen unabhängig von der Sohlrauheit ist.

Im Gegensatz zu den vorgestellten Untersuchungen an geraden Versuchsrinnen kommen in realisierten Schlitzpässen häufig auch andersartige Becken zum Einsatz, wie etwa Wendebecken, kanalartige Abschnitte oder geknickte Becken. Für eine entsprechende Weiterentwicklung ist somit die Validierung des Berechnungsansatzes mit Naturdaten ein wichtiger nächster Schritt.

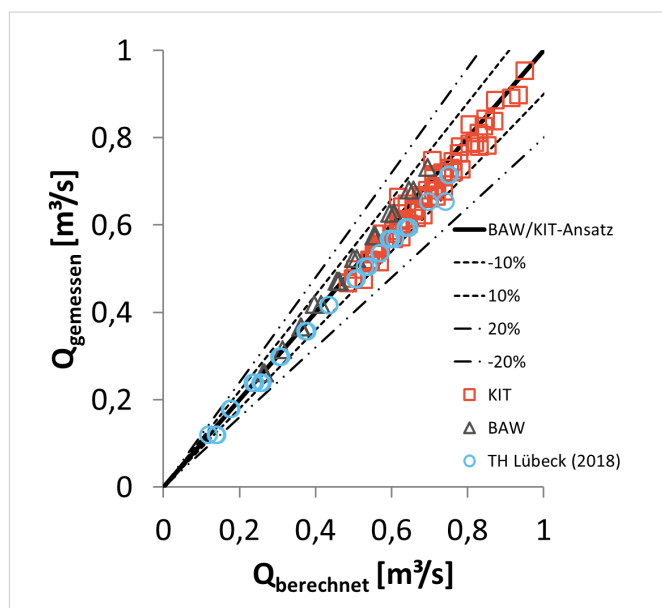


Bild 1: Vergleich der im Modell gemessenen Durchflüsse mit den nach dem linearen Ansatz berechneten Durchflüssen. Zusätzlich Vergleich mit an der TH Lübeck erhobenen Daten (z. B. Klein und Oertel 2018).

Literatur:

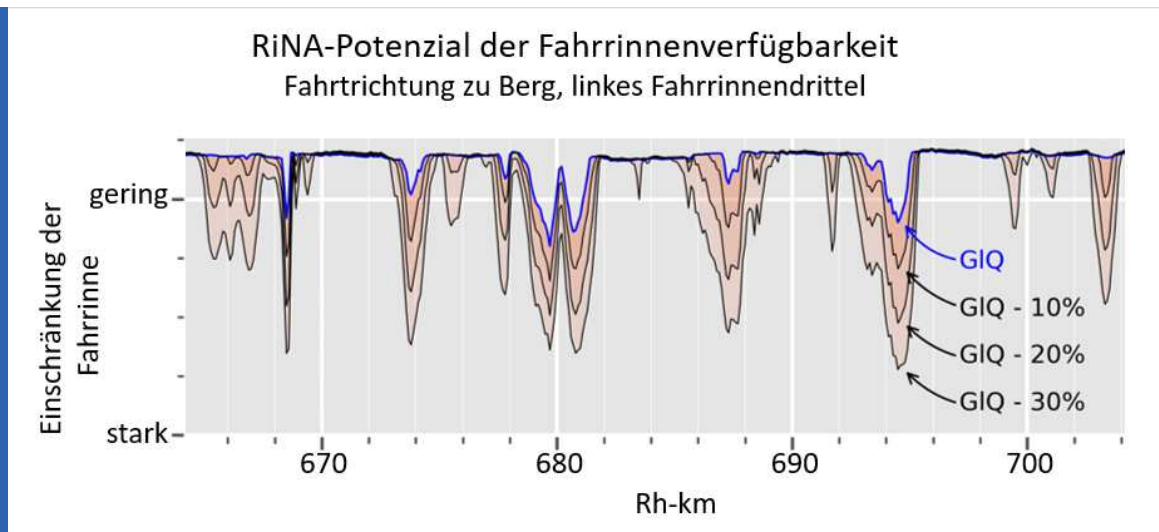
DWA (2014): Merkblatt DWA-M 509 der Deutschen Vereinigung für Wasser und Abfall.

Höger V.; Henning, M.; Nestmann, F. (2014): Experimental study on the influence of pool geometry on flow patterns in vertical-slot fishways. In: Proceedings of the 10th International Symposium on Ecohydraulics, Trondheim, Norway.

Höger, V.; Henning, M.; Nestmann, F. (2015): Experimental study on flow patterns in vertical slot fishways. In: Proceedings of Fish Passage, Groningen.

Klein, J.; Oertel, M. (2018): Influence of Inflow and Outflow Boundary Conditions on Flow Situation in Vertical Slot Fishways. In: Bung D., Tullis, B.: 7th IAHR, Aachen, Germany, 15–18 May 2018.

Sokoray-Varga, B.; Weichert, R.; Nestmann, F. (2015): Untersuchungen zu hydraulischen Berechnungsansätzen von Schlitzpässen, WasserWirtschaft 7-8 2015, 61–66.



Betroffenheitsanalyse und Anpassungsoptionen für Binnenwasserstraßen zur Aufrechterhaltung eines wirtschaftlichen und konkurrenzfähigen Verkehrsträgers

1 Aufgabenstellung und Ziel

Im Zusammenhang mit aktuell beobachteten Änderungen der klimatischen Rahmenbedingungen wird allgemein mit einer Zunahme extremer Witterungs- und Wettererscheinungen gerechnet. Damit einhergehend sind intensivere Niedrigwasserperioden, aber auch häufigere Starkregenereignisse und damit eventuell Flusshochwasser mit untypischen Verläufen zu erwarten. Beide Extrema haben direkte Folgen für die Binnenschifffahrt.

Das Referat Flussbau bearbeitet in diesem Kontext Fragestellungen des Themenfelds 1 „Verkehr und Infrastruktur an Klimawandel und extreme Wetterereignisse anpassen“, Teil des Projekts BMVI-Expertenetzwerk, und setzt damit das Vorgängerprojekt KLIWAS fort. Dabei wird aufgrund seiner verkehrlichen Bedeutung innerhalb des TEN-T-Korridors „Rhein-Alpen“ und seiner Ballungsräume mit Industriestandorten besonderes Augenmerk auf den Niederrhein gelegt. Im Rahmen dieses Vorhabens soll die Betroffenheit des Niederrheins durch den Klimawandel in seiner Funktion als Wasserstraße beurteilt werden, und flussbauliche und/oder bewirtschaftende Maßnahmen zur Reduzierung von der Betroffenheit sollen untersucht werden.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Die potenziellen Folgen des rezenten Klimawandels haben direkte Auswirkungen auf die Nutzbarkeit sowie die Unterhaltung der Wasserstraßen und somit auf mittel- und langfristige Planungen der WSV. Mit den Arbeiten des Expertenetzwerks werden Methoden zur Einschätzung der klimawandelbedingten Beeinträchtigung der Schifffahrt und die Ableitung von Anpassungsoptionen erarbeitet und pilothaft angewendet.

Auftragsnummer:

B3953.02.04.70006

Auftragsleitung:



Dr. Regina Patzwahl
 regina.patzwahl@baw.de

Auftragsbearbeitung:



Dr. Martin Hämmerle
 martin.haemmerle@baw.de

Laufzeit:

2016 bis 2020

3 Untersuchungsmethoden

Ausgehend von Klimamodellen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) wird über Wasserhaushaltsmodelle der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) ein Ensemble an projizierten Ganglinien und Pegelkennwerten (GIQ, MQ, MHQ) bestimmt. Diese dienen als Randbedingungen für ein zweidimensionales hydrodynamisch-numerisches Modell (Telemac-2D, Rhein-km 654,4 bis 852,0), welches räumlich differenzierte Aussagen über Wassertiefen ermöglicht und ein eindimensionales Feststofftransportmodell (1D-FTM, HEC-6T, Rhein-km 640,0 bis 867,0), das Abschätzungen über die langfristige und großräumige Sohlentwicklung erlaubt. Ergänzt werden die Berechnungen durch Einsatz des Befahrbarkeitsanalyse-Werkzeugs RiNA (Harlacher 2016), das für die jeweilige Fragestellung relevante hydraulische und weitere Parameter in Eignungspotenzialwerte integriert.

In Fortführung der Sensitivitätsanalysen bezüglich der Niedrigwasserabflüsse sowie der Untersuchungen besonders betroffener Streckenabschnitte werden unter anderem Potenzialwerte für Fahrrinnenverfügbarkeit (Titelbild) und Fahrrinnenbreite bei Niedrigwasser (Bild 1) betrachtet, die nach der o. g. RiNA-Methode berechnet wurden. Für die Strecke Bonn bis Emmerich (Rhein-km 655,8 – 848,9) wurden hierzu Potenzialwerte für den aktuellen GIQ und weitere, vom aktuellen GIQ ausgehend reduzierte Abflüsse abgeleitet. Eine Reduzierung z. B. um 10 % entspricht der extremsten Ausprägung der Abflussprojektionen für den Zeitraum 2031 bis 2060 unter Annahme unveränderter Treibhausgas-Emissionen (Weiter-wie-bisher-Szenario RCP8.5 des IPCC); und eine Reduzierung um 30 % entspricht der extremsten Ausprägung der Abflussprojektionen für den Zeitraum 2071 bis 2100 und Szenario RCP8.5.

4 Ergebnisse

Schlaglichtartig lassen sich die Ergebnisse der Untersuchungen wie folgt zusammenfassen: Das Potenzial der Fahrrinnenverfügbarkeit des Niederrheins sinkt bei klimawandelbedingt sinkenden Abflüssen stellenweise deutlich. Intensiveren sommerlichen Niedrigwasserphasen stehen intensivere winterliche Hochwasserereignisse und damit größere Umlagerungstendenzen gegenüber, die bei Niedrigwasser wiederum verstärkt negativ auf die Verfügbarkeit der Fahrrinne wirken. Generell sind mehr Fehlstellen zu erwarten. Dabei ist eine Tendenz zu mehr Einschränkungen in der Fahrrinnenmitte zu erkennen, welche eine besondere Herausforderung für Binnenschifffahrt und Flussbau darstellen. Tendenzen zurückgehender Fahrrinnenverfügbarkeiten können sich mit Veränderungen der Flotte und damit eventuell höheren Anforderungen an die Fahrrinnenverfügbarkeit überlagern. Bewährte flussbauliche Ansätze zum Umgang mit Fehlstellen wie z. B. Baggerungen können in Zukunft in steigendem Maße an ihre Grenzen stoßen.

Die Ergebnisse aus der ersten Forschungsphase des BMVI-Expertenetzwerkes werden in einer Reihe von Projektberichten veröffentlicht. Die Berichte decken dabei unterschiedliche Detail- und Abstrahierungsgrade für verschiedene Zielgruppen ab: Im Synthesebericht (BMVI 2020) sind die wichtigsten und markantesten Ergebnisse als Übersicht für Entscheidungsträger zusammengestellt. Die Themenfeldberichte bieten eine detailliertere Zusammenschau der bearbeiteten Projekte (z. B. BMVI-Expertenetzwerk 2020), und die Schwerpunktberichte des Themenfeldes 1 bereiten schließlich die entwickelten Methoden und erarbeiteten Ergebnisse im Detail auf (so z. B. auch die umfangreicheren Varianten und Beschreibungen des Titelbildes und zu Bild 1; Nilson et al. 2020).

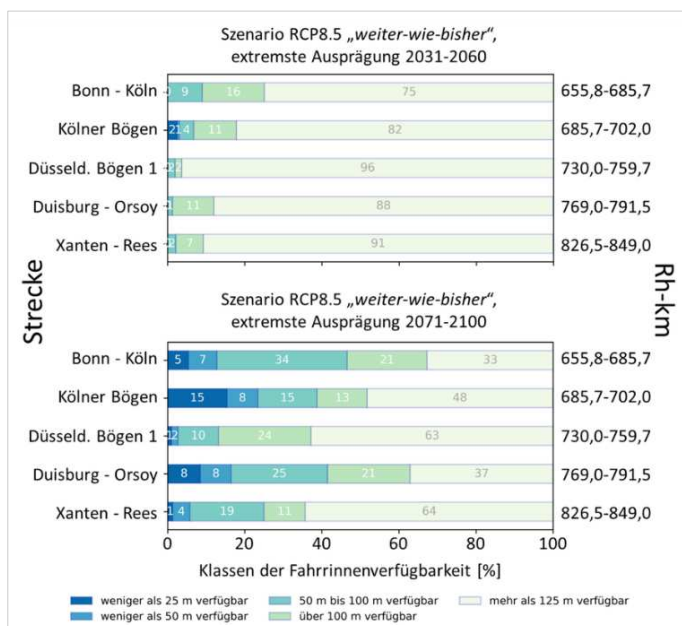


Bild 1: Potenzielle Fahrrinnenbreiten für zwei Szenarien ohne Unterhaltung, ausgewertet für ausgewählte Niederrhein-Strecken.

Literatur:

BMVI (2020). Das BMVI Expertenetzwerk „Wissen – Können – Handeln“: Synthesebericht zur Forschungsphase 2016–2019. Berlin: BMVI. DOI: 10.5675/ExpNBmvi2020.2020.17

BMVI-Expertenetzwerk (2020): Verkehr und Infrastruktur an Klimawandel und extreme Wetterereignisse anpassen. Ergebnisbericht des Themenfeldes 1 im BMVI-Expertenetzwerk für die Forschungsphase 2016–2019. Berlin: BMVI.

Harlacher, D. (2016): Beurteilung, Bewertung und flächige Visualisierung der Befahrbarkeit von Binnenwasserstraßen. Universität Duisburg-Essen (Diss.).

Nilson, E. et al. (2020) Beiträge zu einer verkehrsträgerübergreifenden Klimawirkungsanalyse: Wasserstraßenspezifische Wirkungszusammenhänge – Schlussbericht des Schwerpunktthemas Schifffahrt und Wasserbeschaffenheit (SP-106) im Themenfeld 1 des BMVI-Expertenetzwerkes. DOI: 10.5675/ExpNNE2020.2020.07

Forschung Xpress



EU-Vorhaben PROMINENT

Automatisierte Erfassung von Sohlenhöhen und Strömungsgeschwindigkeiten im laufenden Schiffsbetrieb

1 Aufgabenstellung und Ziel

Im Rahmen des europäischen Forschungs- und Innovationsprogramms Horizon 2020 beteiligt sich die BAW am Vorhaben PROMINENT (Promoting Innovation in the Inland waterways transport sector; <http://www.prominent-iwt.eu>). Das Vorhaben hat zum Ziel, den Treibstoffbedarf und die Luftschadstoffemissionen der Binnenschiffe durch technische Maßnahmen und energieeffiziente Navigation zu reduzieren.

Im Rahmen des Vorhabens soll u. a. ein Assistenzsystem entwickelt werden, das dem Schiffsführer Hinweise geben soll, wie er seinen Zielhafen treibstoffsparend und termingerecht erreichen kann. Dafür werden neben Motor- und Verbrauchsdaten von Schiffen auch Informationen zur Wassertiefe, Strömungsgeschwindigkeit und Wasserspiegellage für den zu befahrenden Flussabschnitt benötigt. Da präzise Peildaten und mehrdimensionale numerische Modelle nicht flächendeckend für alle Wasserstraßen innerhalb der EU verfügbar sind, besteht die Aufgabe der BAW darin, Binnenschiffe mit Sensortechnik zur Erfassung von Position, Tiefe und Strömung sowie von Motor- und Verbrauchsdaten auszurüsten, die Messdaten im laufenden Schiffsbetrieb zu erheben und an einen zentralen Server zu übermitteln.

Ziel der BAW-Untersuchungen ist daher die Entwicklung möglichst effizienter Methoden zur Erhebung, Übertragung und Validierung von Tiefen-, Strömungs- und Motordaten im laufenden Schiffsbetrieb sowie die Bewertung des Aufwandes für Installation und Betrieb.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Durch die Erhebung von hydrografischen Daten im laufenden Betrieb von Binnenschiffen wird die Möglichkeit eröffnet, der Binnenschifffahrt hochaktuelle Peildaten der Wasserstraße zur Verfügung zu stellen. Bereiche mit signifikanten Sohlveränderungen im Fahrwasser werden zeitnah erkannt und Kontroll- oder Verkehrssicherungspeilungen der WSV können gezielt in diesen Bereichen durchgeführt werden.

Auftragsnummer:

B3953.04.04.70007

Auftragsleitung:



Andreas Orlovius

andreas.orlovius@baw.de

Laufzeit:

2015 bis 2020

Darüber hinaus besteht ein großer Nutzen für das Binnenschiffahrtsgewerbe durch die Möglichkeit zur besseren Ausnutzung des nautisch nutzbaren Fahrwassers bzw. zur optimalen Wahl der Abladetiefe. Die Kenntnis aktueller Fahrwasserinformation erhöht die Sicherheit und Verlässlichkeit im Schiffsverkehr und eröffnet die Möglichkeit zur weiteren Optimierung des Schiffsverkehrs.

3 Untersuchungsmethoden

Die BAW hat ein Messkonzept erarbeitet und in den Jahren 2015 bis 2017 auf drei Schiffen (einem Fahrgastschiff, zwei Frachtschiffen) umgesetzt, um hydrografische Daten des Gewässers und Informationen über den aktuellen Betriebszustand der Antriebsmotoren im laufenden Schiffsbetrieb zu erfassen und zu übertragen.

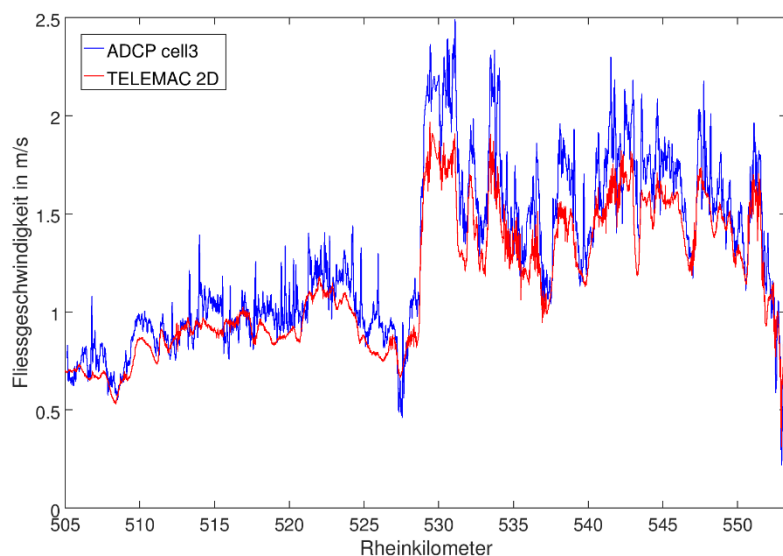
4 Ergebnisse

Das EU-Vorhaben PROMINENT wurde offiziell Ende 2017 beendet. Die Messtechnik an Bord der im Rahmen des Vorhabens ausgerüsteten Schiffe GMS Monika Deymann und GMS Baden-Württemberg wird aber weiterhin von der BAW betrieben und die aufgezeichneten Daten für vielfältige Fragestellungen genutzt.

Mittlerweile liegen Messdaten von circa 250 Fahrten des GMS Monika Deymann vor. Im Jahr 2019 erfolgte die Validierung der Messdaten des an Bord installierten 1D-Horizontal-ADCPs anhand eines TELEMAC-2D-Modells (opentelemac.org). Der 1D-ADCP ist rund 0,90 m oberhalb des Schiffsbodens im Bugstrahlkanal angeordnet und ermittelt die Strömungsgeschwindigkeiten in einem Bereich von 10 m bis 40 m vor dem Bug des Schiffes. Im Rahmen der Validierung wurden die bei unterschiedlichen Abflüssen und Tiefgängen des Schiffes aufgezeichneten Strömungsdaten mit Modelldaten im Bereich des Mittelrheins (Rhein-km 500 bis Rhein-km 560) verglichen. Den Vergleich von an Bord gemessenen Strömungsgeschwindigkeiten mit den Modelldaten bei einer Talfahrt bei GW zeigt beispielhaft Bild 1.

Die Auswertungen haben gezeigt, dass die Übereinstimmung zwischen Modell- und Naturdaten und die Qualität der Messdaten insbesondere vom Verhältnis der Wassertiefe zur Abladetiefe sowie von der Geschwindigkeit des Schiffes gegenüber Wasser abhängt. Die besten Messergebnisse werden demnach erzielt, wenn das Messvolumen weit vor dem Bug liegt, die Abladetiefe im Verhältnis zur Wassertiefe klein und die Geschwindigkeit gegenüber Wasser gering ist. Je näher das Messvolumen am Schiff liegt, desto mehr werden die Messergebnisse durch die Umströmung des Schiffes beeinflusst, die mit abnehmendem Verhältnis von der Wassertiefe zur Abladetiefe und der Geschwindigkeit gegenüber Wasser zunimmt. Bei kleinen Wassertiefen kann die Reichweite des installierten Horizontal-ADCPs zudem durch die Sohle begrenzt werden. Gleiches gilt bei sehr geringen Abladetiefen, bei denen die Schallkeule des ADCPs an der Wasseroberfläche reflektiert werden kann.

Die Validierung hat gezeigt, dass die Messung von ungestörten Strömungsgeschwindigkeiten von Binnenschiffen aus grundsätzlich möglich ist. Zwar ist der Aufwand für die Installation und den Betrieb größer als bei einer konventionellen bootgestützten ADCP-Messung, dafür werden aber die Strömungsgeschwindigkeiten in den schiffahrtrelevanten Bereichen bei unterschiedlichen Randbedingungen erfasst. Diese Daten können zukünftig auch weiteren Schiffen zur Verfügung gestellt werden und bieten damit die Möglichkeit, den Schiffsbetrieb hinsichtlich einer treibstoffsparenden und emissionsarmen Fahrt zu optimieren.



Literatur:

Orlovius, A.; Schulz, A.-C. (2017): Mit Sensoren für eine saubere Fahrweise. In: BAWAktuell (01/2017), S. 6–8.

Orlovius, A.; Schulz, A.-C. (2017): Das Binnenschiff als Messplattform. In: Hydrographische Nachrichten (106), S. 14–19.

Bild 1: Vergleich gemessener Strömungsgeschwindigkeiten mit tiefengemittelten Werten aus einem Telemac-2D-Modell (Wert am Pegel Kaub: Natur: 72 cm, Modell: 71 cm).



Betroffenheitsanalyse und Anpassungsoptionen für Binnenwasserstraßen zur Aufrechterhaltung eines wirtschaftlichen und konkurrenzfähigen Verkehrsträgers

Im Rahmen des BMVI-Expertennetzwerkes „Wissen – Können – Handeln“

1 Aufgabenstellung und Ziel

Das FuE-Vorhaben „Betroffenheitsanalyse und Anpassungsoptionen für Binnenwasserstraßen zur Aufrechterhaltung eines wirtschaftlichen und konkurrenzfähigen Verkehrsträgers“ ist Teil des BMVI-Expertennetzwerkes, das 2016 durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastrukturen (BMVI) initiiert wurde. Drängende Probleme der Verkehrsinfrastrukturen wie ihre Anpassung an den Klimawandel, ihre umweltgerechte Gestaltung sowie die Erhöhung ihrer Zuverlässigkeit werden gemeinsam von sieben Ressortforschungseinrichtungen und Fachbehörden des BMVI aufgegriffen. Das vorliegende FuE-Vorhaben ist im Themenfeld 1 „Verkehr und Infrastruktur an Klimawandel und extreme Wetterereignisse anpassen“ angesiedelt.

Infolge des Klimawandels sind veränderte Bedingungen zu erwarten, die auch vor den Bundeswasserstraßen und der Schifffahrt nicht haltmachen. Diese Auswirkungen auf die Schifffahrt und Wasserbeschaffenheit werden im Schwerpunktthema 106 im Rahmen einer Modell- und Verfahrenskette untersucht, die von Klimamodellen über hydrologische und hydrodynamische Modelle zu den fahrdynamischen Modellen der BAW reicht. Mit letzteren wird pilothaft die Betroffenheit der Binnenschifffahrt an Mittel- und Niederrhein hinsichtlich Befahrbarkeit und Wirtschaftlichkeit mittels Betrachtungen der Gütertransportmengen untersucht. Die dazu entwickelte Methodik wird auch für die Bewertung von (flussbaulichen) Anpassungsmaßnahmen verwendet, mit denen die Resilienz des Verkehrsträgers „Binnenschifffahrt“ gesteigert werden soll.

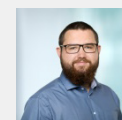
2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Im Projekt können Breiten- und Tiefenengstellen identifiziert werden, die unter den veränderten hydrologischen Bedingungen auftreten können. Um in diesen Bereichen Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs aufrechtzuerhalten zu können, werden verschiedene flussbauliche Anpassungsoptionen

Auftragsnummer:

B3953.04.04.70010

Auftragsleitung:



Hauke Stachel

hauke.stachel@baw.de

Laufzeit:

2016 bis 2020

entwickelt und modelltechnisch untersucht. Zielführende Maßnahmen werden dann fahrdynamisch hinsichtlich der Auswirkungen auf die Befahrbarkeit sowie hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit bewertet. Damit erhält die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes frühzeitig Informationen über potentielle Anpassungsmaßnahmen, die geeignet sind, die Sicherheit, Leichtigkeit und Wirtschaftlichkeit der Binnenschifffahrt auch unter veränderten klimatisch-hydrologischen Bedingungen zu fördern.

3 Untersuchungsmethoden

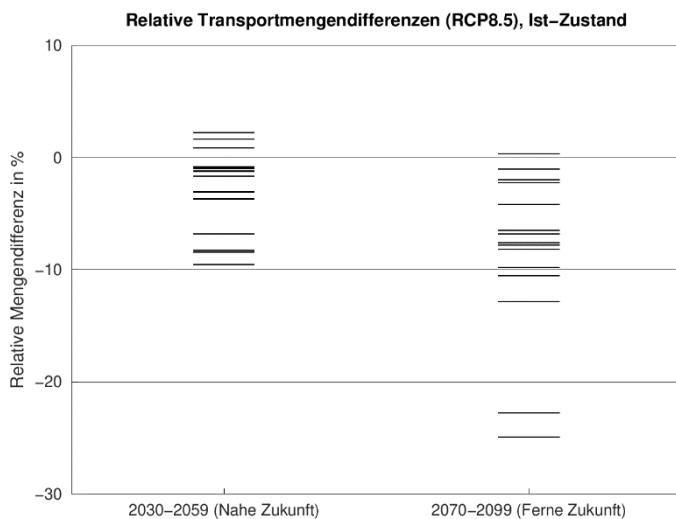
Durch den Klimawandel ergeben sich Veränderungen des Abflusses, der Gewässersohle und damit auch der Strömungsgeschwindigkeiten und Fließtiefen in einer Wasserstraße. Die Änderungen wirken sich auch auf die Fahrdynamik der Binnenschiffe aus. Das in der BAW entwickelte Simulationsprogramm FaRAO (Fahrdynamische Routenanalyse und Optimierung) wird für die Ermittlung der (geänderten) Schiffsgeschwindigkeit, der Fahrspurbreiten, der möglichen Abladetiefen und des hydrodynamischen Einsinkens (squat) genutzt (Linke 2015). Durch den im Programm integrierten Regler wird das Schiff auf einem vorher definierten Kurs gehalten, der aus eingemessenen Trajektorien von Binnenschiffen abgeleitet wird. Mit dieser Methodik wird eine Sensitivitätsstudie bei veränderten Abflüssen durchgeführt. Dadurch kann eine Klimawirkungsanalyse im Hinblick auf mögliche Abladetiefen und Transportzeiten erstellt werden.

Für die Berechnung der Transportmengen wurde eine vereinfachte Methode entwickelt, für die die sogenannten Abladeregeln genutzt werden. Abladeregeln sind von der Schifffahrt angewandte Zuschläge auf die Pegelwerte der Hauptpegel (z. B. Mittelrhein bei Niedrigwasser: Pegel Kaub +1,0 m). Mit Pegelwert und Abladeregel lässt sich so die maximal mögliche Abladetiefe eines Schiffes bestimmen, das auf dem jeweiligen Abschnitt fährt.

Zur Kalibrierung des Modells wurden die Verkehrsverflechtungsanalysen des Bundesverkehrswegeplans (BVWP) genutzt. Mit den Schiffszahlen und Transportmengen des BVWPs sowie den Pegelständen für das Jahr 2010 können für das Modell u. a. die Teilabladungen von Schiffen kalibriert werden (Nilson et al. 2019). Für die Anwendung des Modells auf den Klimawandel werden die Projektionen der Pegelwerte genutzt. Die nötigen Abflussberechnungen werden im Rahmen des Expertennetzwerks von der Bundesanstalt für Gewässerkunde auf Basis der Klimamodellierungen des Deutschen Wetterdienstes durchgeführt.

4 Ergebnisse

Im Schwerpunktthema 106 wurden im Rahmen einer Klimawirkungsanalyse für den Mittelrheinabschnitt zwischen Mainz und St. Goar die Transportmengen nach oben genannter Methodik berechnet. Es wurden nur Klimamodelle der RCP-8.5-Szenarien verwendet, die von weiterhin sehr hohen Emissionen ausgehen (IPCC 2014). Die Ergebnisse für den jetzigen Sohlzustand (Ist-Zustand) wurden für die nahe Zukunft (2030 – 2059) und ferne Zukunft (2070 – 2099) im Vergleich zur Referenzperiode (1970 – 1999) ausgearbeitet (Bild 1). Für die nahe Zukunft zeigt das Ergebnisband eine moderate Verringerung von -10 % bis +2 %, für die ferne Zukunft ergibt sich eine deutliche Verringerung der Transportmengen von -25 % bis +3 %. Aufgrund der Unsicherheiten der Klimaprojektionen nimmt die Bandbreite in der fernen Zukunft zu.



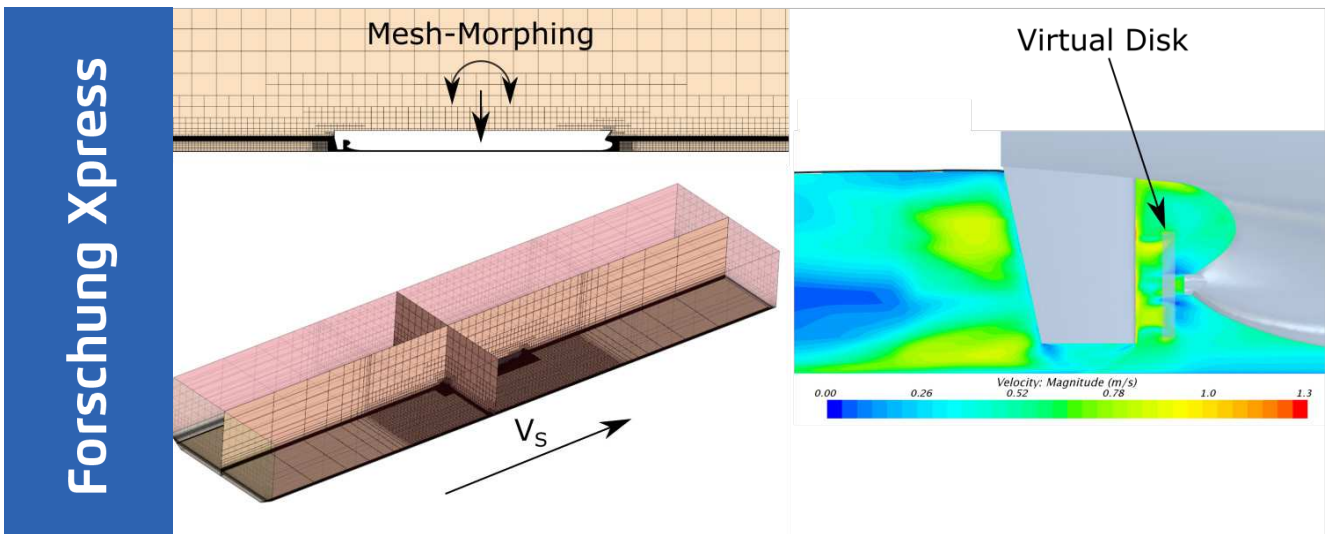
Literatur:

Linke, T. et al. (2015): Recent developments in the application of shallow water ship hydrodynamics in inland waterway design. SMART RIVERS Conference. Buenos Aires.

Nilson, E. et al. (2019): Beiträge zu einer verkehrsträgerübergreifenden Klimawirkungsanalyse: Wasserstraßenspezifische Wirkungszusammenhänge.

IPCC (2014): Climate Change 2014: Synthesis Report. Genf.

Bild 1: Berechnete relative Transportmengendifferenz für den Ist-Zustand für die Zeitperioden 2030-59 (nahe Zukunft) und 2070-2099 (ferne Zukunft), Referenz ist die Periode 1970-1999.



Schiffshydrodynamik von Seeschiffen

Robuste Berechnung im seitlich begrenzten Flachwasser

1 Aufgabenstellung und Ziel

Die Berechnung der Schiffsumströmung eines Seeschiffs mit der CFD-Methode sowie die Berechnung der schiffsdynamischen Parameter Squat und Trimm sind Ziele dieses Forschungsprojektes. Dabei liegt der Fokus auf einer robusten Berechnung: Robust meint hier die Berechnung von sich unterschiedlich verhaltenden Seeschiffen im Trimm, sodass ein breites Spektrum von Verhaltensmöglichkeiten von Schiffen abgedeckt werden kann. Die in BAW Aktuell (Kastens 2015) dokumentierten Ergebnisse bilden dabei die Grundlage.

Neben der robusten Berechnung steht die Verwendung neuerer Software-techniken im Fokus, die eine naturähnlichere Abbildung des bisherigen numerischen Versuchsaufbaus versprechen. Hierbei geht es vor allem um eine Optimierung des bestehenden Simulationssetups und die Untersuchung von Sensitivitäten. Die Simulationsergebnisse werden mit Messungen aus dem physikalischen Modell verglichen, um die Güte der Simulationen zu dokumentieren. Die Kenntnis der Güte oder die Validität ist für die Bewertung von Simulationsergebnissen unerlässlich: Sie zeigt mögliche Defizite von Simulationsergebnissen auf, die bei der Interpretation Berücksichtigung finden müssen.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

In der Fachaufgabe Wechselwirkung Seeschiff/Seeschiffahrtsstraße werden u. a. physikalische Modelle verwendet, um Fragestellungen der WSV – wie auftretende dynamische Kräfte bei der Begegnung von Post-Panmaxschiffen – zu beantworten. Um diese Fachaufgabe zukünftig effizienter durchführen zu können, wird der physikalische Modellversuch um die Methode der numerischen Strömungssimulation (CFD) ergänzt. Diese bietet zentrale Vorteile: So können beispielsweise Veränderungen im Versuchsaufbau mit vergleichsweise geringem Zeitaufwand gegenüber den Umbauten in einer Versuchshalle durchgeführt werden. Ebenso sind Berechnungen direkt unter dem Rumpf eines Schiffes möglich, ohne die Strömung durch Messgeräte selbst zu stören. Vergleichbare Messungen im Schiffswellenbecken wären nur mit sehr großem Aufwand möglich. Die Verfügbarkeit eines numerischen Mo-

Auftragsnummer:

B3955.01.04.70225

Auftragsleitung:



Marko Kastens
 Marko.Kastens@baw.de

Auftragsbearbeitung:



Jonas Bechthold
 Jonas.Bechthold@baw.de

Laufzeit:

2016 bis 2020

dellverfahrens zur Vorhersage fahrdynamischer Größen (Trimm und Squat), Wellen und Strömungen im Flachwasser ist bei vielen Aufgaben der WSV erforderlich.

Ergebnisse aus Untersuchungen zur Schiffsumströmung können zukünftig auch in die Schiffsführungssimulation einfließen und diese realitätsnäher gestalten. Durch sie kann eine Bemessung und wirtschaftliche Ausnutzung (Befahrbarkeitsanalyse) der Seeschiffahrtsstraßen optimiert werden.

3 Untersuchungsmethoden

Das kommerziell verfügbare und bereits bei der BAW im Einsatz befindliche Softwarepaket STAR-CCM+® wird genutzt, um die numerischen Strömungssimulationen durchzuführen. Werte aus Messungen in der Natur und dem physikalischen Modellversuch werden – soweit vorhanden – zur Plausibilisierung und Validierung herangezogen.

4 Ergebnisse

Zu Projektbeginn wurde eine numerische Schiffsflotte zur Durchführung einer großen Anzahl von Simulationen nach schiffbaulichen Qualitätskriterien aufbereitet und zusammengestellt (Kastens und Bechthold 2018). Anschließend sind die bestehenden CFD-Simulationen auf Basis eines Schiffes weiter optimiert worden (Kastens und Bechthold 2019). Die Simulationen und deren Ergebnisse für drei verschiedene große Postpanmax-Containerschiffe in unterschiedlichen Kanalkonfigurationen wurden im Jahr 2019 auf einer internationalen Konferenz veröffentlicht (Bechthold und Kastens 2019), auf der die Robustheit des entwickelten Setups sowie eine gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Modellversuche gezeigt wurde. Die Simulationen hierfür wurden ohne Propeller durchgeführt.

Um den Einfluss des Propellers zu bestimmen, wurde in den folgenden Simulationen der Propeller berücksichtigt. Das grundlegende Setup hierfür ist auf dem Titelbild gezeigt. Der Propeller wird durch ein Volumenstrommodell (Virtual Disk) abgebildet, in dem die Propellerkräfte durch Impulsquellterme berücksichtigt werden. Die sehr aufwendigen Simulationen mit einem geometrisch aufgelösten Propeller sind durch dieses Modell nicht notwendig. In der Simulation fährt das Schiff selbstangetrieben mit der aus dem Propellerschub resultierenden Geschwindigkeit V_s durch das umgebende Wasser. Tiefertauchung und Trimm werden durch Gitterverformung (Mesh-Morphing) innerhalb des Berechnungsgebiets realisiert.

In Bild 1 sind für das 52 m breite Postpanmax-Containerschiff in einem Kanalquerschnitt mit einem Querschnittsverhältnis von $n = 11$ und einem Verhältnis von Wassertiefe zu Tiefgang von 1.17 Tiefertauchung, Trimm, Squat am vorderen (F.P.) und hinteren Lot (A.P.) gezeigt. Ergebnisse der Simulationen ohne Propeller, mit Propeller und der Modellversuche (EFD) werden miteinander verglichen. Die Tiefertauchung ist für die Simulation mit Propeller größer als ohne Propeller und stimmt besser mit den Modellversuchen überein. Der Trimmwinkel zeigt einen stärker den Modellversuchen entsprechenden Verlauf und ist mehr zum Heck des Schiffes gerichtet. Für den Squat am vorderen Lot ist kein Unterschied durch Berücksichtigung des Propellers zu erkennen, wohingegen der Squat am hinteren Lot mit Propeller größer ist und besser mit den Modellversuchen übereinstimmt. Die Berücksichtigung des Propellers führt zu einer besseren Übereinstimmung der CFD-Simulationen mit den Modellversuchen für alle drei Containerschiffe. In Zukunft kann dieses Setup für die effiziente numerische Simulation der Schiffsdynamik verwendet werden.

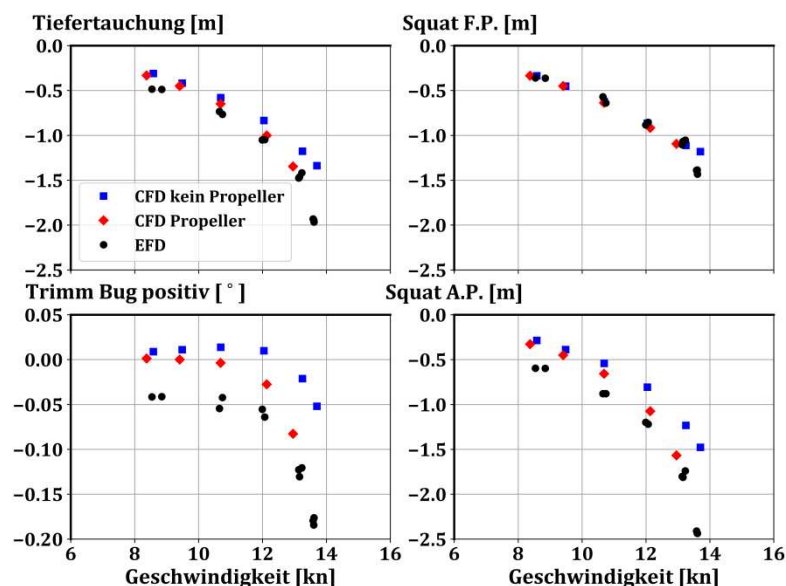


Bild 1: Tiefertauchung, Trimmwinkel, Squat am vorderen (F.P.) und hinterem Lot (A.P.) für das 52 m breite Postpanmax-Containerschiff.

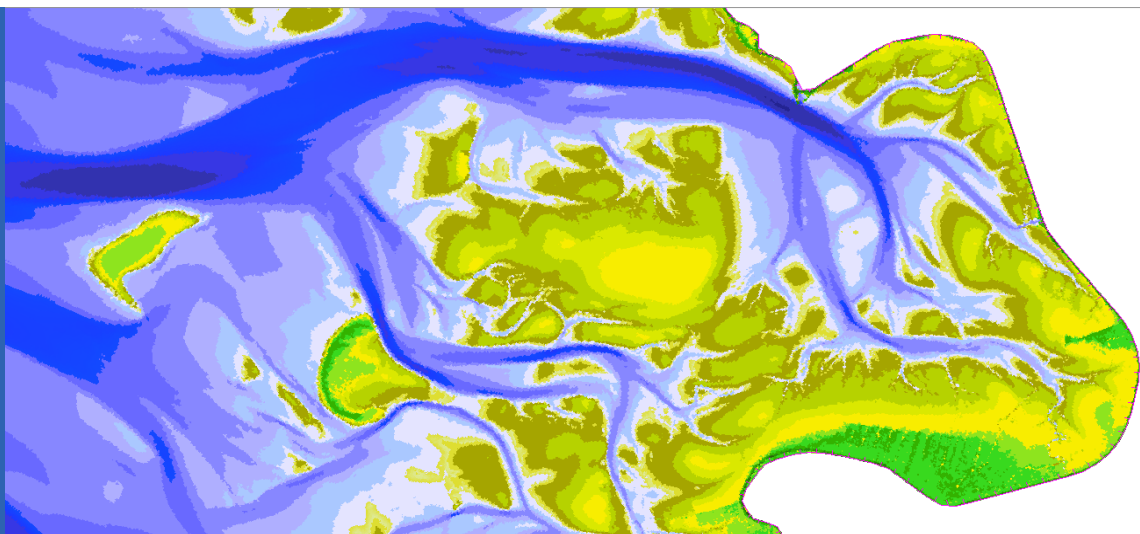
Literatur:

Bechthold, J.; Kastens, M. (2019): Robustness and Quality of Squat Predictions in Shallow Water Conditions Based on RANS-Calculations. In: Proceedings of the 5th International Conference on Ship Manoeuvring in Shallow and Confined Water, Ostend, Belgium.

Kastens, M. (2015): Numerische Simulation der Schiffsdynamik. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): BAWAktuell 2, Karlsruhe.

Kastens M.; Bechthold, J. (2018): Schiffshydrodynamik von Seeschiffen. Robuste Berechnung im seitlich begrenzten Flachwasser. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Forschung Xpress 11/2018, Karlsruhe.

Kastens M.; Bechthold, J. (2019): Schiffshydrodynamik von Seeschiffen. Robuste Berechnung im seitlich begrenzten Flachwasser. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Forschung Xpress 05/2019, Karlsruhe.



EasyGSH-DB

Erstellung anwendungsorientierter, **synoptischer Referenzdaten** zur **Geomorphologie, Sedimentologie und Hydrodynamik** in der Deutschen Bucht

1 Aufgabenstellung und Ziel

Ziel von EasyGSH-DB ist es, aus den sektoralen, verteilt vorliegenden, heterogenen behördlichen Datenbeständen flächendeckende, harmonisierte und qualitätsgesicherte Datensätze zur Geomorphologie, Sedimentologie und Hydrodynamik in der gesamten Deutschen Bucht zu erzeugen. Hierfür werden 20 Jahre durch die hydrodynamisch-numerischen Modellsysteme UnTRIM²-SediMorph-UnK bzw. TELEMAC-SISYPHE-TOMAWAC im Hindcast berechnet. Als Analysegrößen werden zum Projektende unter anderem folgende Parameter vom 01.01.1996 bis 31.12.2015 zur Verfügung gestellt:

- Jahresbathymetrien
- Analysen zur Hydrodynamik (Wasserstand, Strömung, Seegang)
- Stofftransport

Das Projekt wird vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) im Rahmen des *mFUND* gefördert. Darin übernimmt die BAW zusammen mit der Technischen Universität Hamburg (TUHH) die numerische Modellierung, smile consult GmbH die Pflege und Erweiterung des funktionalen Bodenmodells, das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) die Erstellung der Sedimentologie sowie Küste und Raum GbR die Produktentwicklung und den Dialog mit potentiellen Stakeholdern. Die Bereitstellung der Ergebnisdaten erfolgt durch die BAW über das Projektportal (<http://www.easygsh-db.org>) und über die *mCLOUD* (<https://www.mcloud.de/>) des BMVI. Dabei kommen die etablierten OGC Webdienste zur Visualisierung (WMS) und zum Download (WFS) sowie der Katalogdienst (CS-W) auf Basis des BAW Metadaten-Profiles zum Einsatz. Ferner wird durch die TU-Hamburg ein Informationsportal zur Verfügung gestellt (<http://easygsh.wb.tu-harburg.de/>).

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Ziel des *mFUND* ist es, die vorhandenen behördlichen Daten für Dritte verfügbar zu machen, die daraus einen potenziellen Nutzen ziehen können. Als Mehrwert wird damit der Informationsbedarf Dritter bedient bzw.

Auftragsnummer:

B3955.02.04.70229

Auftragsleitung:

Dr. Andreas Plüß
andreas.pluess@baw.de

Auftragsbearbeitung:

Robert Hagen
robert.hagen@baw.de
 Janina Freund
janina.freund@baw.de
 Romina Ihde
romina.ihde@baw.de

Laufzeit:

2017 bis 2020

bestehenden Informationspflichten umfassend nachgekommen. Für die WSV ist es von Vorteil, die Anwenderfreundlichkeit und Nutzbarkeit der hier erzeugten, homogenisierten und qualitätsgesicherten Daten und Metadaten für Planungsaufgaben bei Infrastrukturprojekten sowie als Grundlage für Berichtspflichten im Rahmen geltender EU-Rahmenrichtlinien für unterschiedliche Fragestellungen über etablierte Internet-Portale im Geschäftsbereich des BMVI zur Verfügung gestellt zu bekommen.

3 Untersuchungsmethoden

Die Bereitstellung der unter 1) genannten Datensätze erfordert eine Reihe an Werkzeugen. Die flächenhafte Berechnung von Hydrodynamik, Salztransport und Seegang wird mit numerischen Modellen durchgeführt. Eingangsdaten für diese Modelle werden aus dem funktionalen Bodenmodell (FBM) erzeugt (Milbradt et al. 2015). Die Besonderheit des FBM ist die zeit- und ortsvariable Interpolation von Jahresbathymetrien auf Grundlage qualitätsgesicherter Messdaten u. a. des Bundes und der WSV. Die Oberflächensedimentzusammensetzung bzw. -verteilung wird aufgrund der geringen Datenlage einmal für alle Simulationsjahre erzeugt und vorgehalten. Die Ergebnisse der numerischen Modelle werden mit den erprobten Analysemethoden der BAW in Produkte aufbereitet und stehen dann der Fachöffentlichkeit kostenlos zur Verfügung. Die permanente Qualitätssicherung wird über den Multi-Modell-Ansatz mit den Modellfamilien UnTRIM² und TELEMAC, der sorgfältigen Dokumentation in Metadaten sowie durch das Vier-Augen-Prinzip bei allen Analysen gewährleistet und dokumentiert.

4 Ergebnisse

Alle anvisierten 20 Jahre des Projektzeitraums von 2006 bis 2015 wurden berechnet und validiert (BAW 2019). Die vom Modell abgebildete Dynamik in der Nordsee stellt eine gute Nachbildung der natürlichen Tidedynamik einschließlich der Sturmfluten dar. Zur Dokumentation der spezifischen meteorologischen und hydrodynamischen Verhältnisse inklusive des Oberwasserzuflusses wurde für jedes Jahr ein Kennblatt erstellt. Basierend auf den umfangreichen Modellsimulationen erfolgten die Tidekennwertanalysen für den Wasserstand und die Strömungsverhältnisse. Mit Hilfe der Jahreskennblätter und Tidekennwertanalysen steht somit eine detaillierte Beschreibung der hydrodynamischen Systemzustände zur Verfügung.

Alle Produkte stehen im Datenportal (<http://mdi-de.baw.de/easygsh/index.html>) zur allgemeinen Verfügung. EasyGSH-DB stellt erstmalig zusätzlich zu den Analysedaten die synoptischen Modelldaten bereit. Mit diesen, auf eine 1000 m Auflösung gerasterten, netCDF Dateien können Nutzer z. B. eigene Modelle antreiben oder Analysen durchführen. Es wurde für die Nutzer ein interaktiver Kartenviewer erstellt, um so einen schnellen Überblick der Produkte von EasyGSH-DB auf dem Portal zu gewinnen.

Das Projekt wurde planmäßig zum 30.04.2020 beendet. Davor sollte eine Abschlussveranstaltung am 17.03.2020 mit Präsentationen der erreichten Ergebnisse zu Daten, Analysen und Dokumenten durchgeführt werden. Auf Grund der Corona-Pandemie musste diese Veranstaltung leider ausfallen. Alle geplanten Vorträge sind jedoch digital auf der Projektseite unter Veröffentlichungen (<http://mdi-de.baw.de/easygsh/index.html#publication>) zu finden.

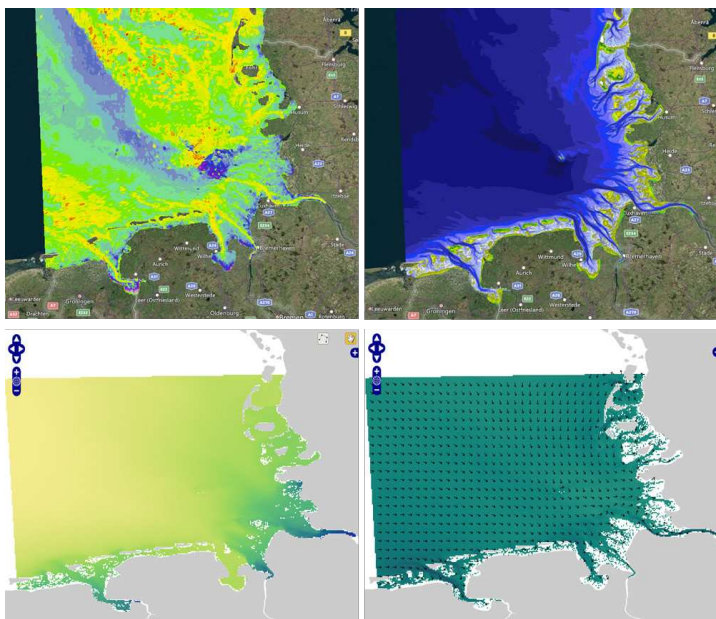


Bild 1: Kartenviewer im EasyGSH-DB-Portal.

Literatur:

BAW (2019): Validierungsdokument EasyGSH-DB Nordseemodell. Teil. UnTRIM2 – SediMorph – UnK. Bundesanstalt für Wasserbau, online verfügbar unter: https://doi.org/10.18451/k2_easygsh_1

Milbradt, P.; Valerius, J.; Zeiler, M. (2015): Das Funktionale Bodenmodell: Aufbereitung einer konsistenten Datenbasis für die Morphologie und Sedimentologie. In: DIE KÜSTE 83, S. 19–38.

Plüß, A. (2004): Das Nordseemodell der BAW zur Simulation der Tide in der Deutschen Bucht. In: DIE KÜSTE 69, S. 84–127.



© H. Weilbeer

Verbesserung der Validität und der Prognosefähigkeit des morphodynamischen Verfahrens SediMorph

Ein etwas anderes FuE-Projekt

1 Aufgabenstellung und Ziel

Die Fragen nach Veränderungen der Hydrodynamik, des Sedimenttransportregimes und damit auch nach der vergangenen und einer zukünftigen morphodynamischen Entwicklung des Gewässers gehören auch im Küstenraum zu den primären Fragen, die im Zusammenhang mit veränderten Bedingungen, wie z. B. infolge von Baumaßnahmen oder infolge des Klimawandels, gestellt werden. Das Titelbild steht symbolisch für die hydro- und bodenmechanische Komplexität dieser Aufgabe im Küstenraum: Mit der Anordnung von Tetrapoden, unterstützt durch regelmäßige Aufspülungen großer Sandmengen, wird versucht, die Südspitze der Insel Sylt vor Erosion durch Strömung und Seegang zu schützen. Eine detaillierte und umfassende Kenntnis der Hydrodynamik und der Transportprozesse des Gewässers ist die wichtigste Grundlage für das Verständnis des Systems und somit eine unverzichtbare Voraussetzung für prognostische Aussagen.

Der Sedimenttransport unterliegt in einem natürlichen System aufgrund der Heterogenität der Sedimente und deren Transporteigenschaften einer starken räumlichen und zeitlichen Variabilität. Eine exakte Berechnung des natürlichen Sedimenttransportes und damit auch der Prognose einer morphodynamischen Entwicklung ist unmöglich. Modellansätze sind stets parameterbehaftet und analytische Lösungen gibt es nur für wenige idealisierte Systeme. Diese Aussagen gelten sowohl für dreidimensionale, kurzfristige und prozessorientierte Modelle als auch in zunehmendem Maße für vereinfachte Modelle, bei denen zugunsten des Prognosezeitraumes die räumliche und zeitliche Auflösung, die Intensität der Kopplung und die Komplexität der Modellierung reduziert werden. Dennoch ist der Einsatz solcher Modelltypen für morphodynamische Fragestellungen erforderlich. Die steten Weiterentwicklungen der Modelltechnik und der Computerressourcen haben es ermöglicht, einen großen Teil des Weges von qualitativen hin zu quantitativen Aussagen zurückzulegen. Bei guter Datengrundlage und fachkundiger Modellierung können durchaus plausible Ergebnisse erzielt werden, die ein wichtiges Hilfsmittel bei der Beantwortung der oben genannten Fragestellung darstellen. Die Vertrauenswürdigkeit der Modellergebnisse muss aber kontinuierlich verbessert werden.

Auftragsnummer:

B3955.03.04.70178

Auftragsleitung:



Dr. Holger Weilbeer
 holger.weilbeer@baw.de

Auftragsbearbeitung:



Benjamin Fricke
 benjamin.fricke@baw.de

Laufzeit:

2010 bis 2020

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Die zukünftige morphodynamische Entwicklung von Bundeswasserstraßen an sich und als Folge von Bau- oder Unterhaltungsstrategien oder als Folge des Klimawandels ist eine zentrale Frage des Verkehrswasserbaus. Die morphologische Entwicklung der Gewässersohle kann die Sicherheit und Leichtigkeit der Schifffahrt gefährden, verursacht Baggerkosten und steht auch im Zentrum umweltrelevanter Fragestellungen, da z. B. Schadstoffe an Feinsedimente gebunden sind. Die inhärente Unsicherheit einer morphodynamischen Modellierung ist zudem häufig ein Angriffspunkt von Klägern bei Planfeststellungsverfahren wie z. B. der Fahrrinnenanpassung der Tideelbe.

3 Untersuchungsmethoden

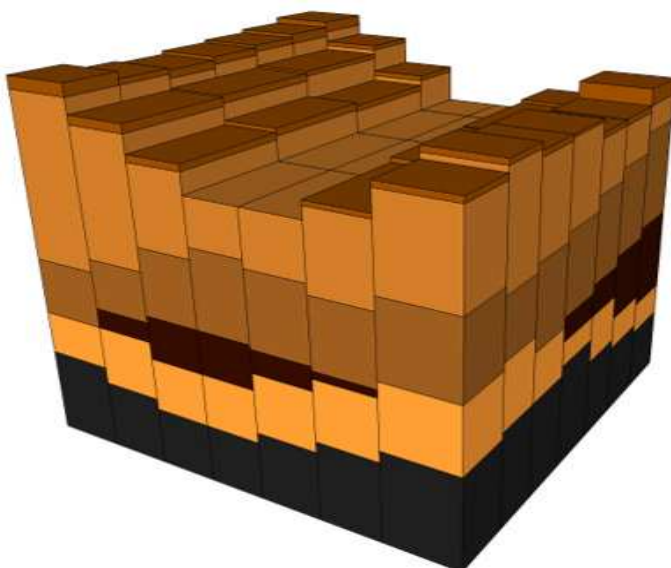
Neben einer stets zu aktualisierenden Literaturrecherche stehen die Weiterentwicklung von Bausteinen des morphodynamischen Moduls SediMorph, dessen Schnittstellen zu anderen Simulationspaketen sowie die numerische Modellierung von Fallbeispielen im Zentrum der Arbeiten. Ein Ensemble morphodynamischer Testfälle unterschiedlicher Komplexität aus dem Labor und der Natur macht die Stärken und Schwächen des Modellverfahrens sichtbar. In einem iterativen Prozess zwischen Verbesserung des Modellverfahrens und Durchlaufen der Testfälle werden die Validität und die Prognosefähigkeit verbessert.

4 Ergebnisse

In einem komplexen Modellierungssystem muss an verschiedenen Stellen eingegriffen werden, nicht nur im morphologischen Modul, um die Modellierung des Sedimenttransportes zu verbessern. Neu- und Weiterentwicklungen umfassen für diesen Berichtszeitraum im einfachsten Fall die Implementierung neuer Formulierungen zur Beschreibung bzw. Modifizierung des Geschiebetransportes z. B. aufgrund von Sohlgradienten und über Hiding- und Exposure-Funktionen. Die Einführung einer neuen Transportart, des intermittierenden Transportes, bei dem eine Sedimentfraktion als Geschiebe, aber bei ausreichenden hydrodynamischen Bedingungen auch in Suspension transportiert werden kann, erfordert weitergehende Eingriffe an mehreren Modulen. Die für den resultierenden Transport so wichtige Vertikalverteilung der Schwebstoffe ergibt sich wiederum im Wesentlichen aus der Wechselwirkung zwischen der Sinkgeschwindigkeit und der vertikalen Turbulenz und der entsprechend angepassten Modellierung. Ob der Übergang zum Flüssigschllick und zum konsolidierten Boden „fließend“ ist, also kontinuierlich modelliert werden kann, wird in separaten FuE-Projekten untersucht, deren Erkenntnisse unmittelbar der hier beschriebenen Aufgabe zu Gute kommen.

Für langfristige Modellstudien ist die 3D-Funktionalität des Bodens bedeutend. Hierzu wurde u. a. ein Bodenmodell entwickelt, das eine variable vertikale Diskretisierung – und damit auch die Abbildung einer Stratigraphie – ermöglicht. Hierzu wurden Bodenklassen und Bodenarten eingeführt. Die im Modell verwendeten diskreten Sedimentfraktionen werden zum Zweck der Klassifizierung anhand ihres Korndurchmessers einzelnen Bodenklassen zugeordnet. Diese können z. B. Sand, Schluff und Ton sein. Über die prozentuale Verteilung dieser Bodenklassen lässt sich dann eine eindeutige Bodenart bestimmen. Die Diskretisierung erfolgt dabei nicht über räumliche Parameter wie z. B. feste Mächtigkeiten oder Tiefenvorgaben, sondern die Bildung von Schichten ist dann abhängig von Änderungen der Sedimentverteilung. Bild 1 illustriert dieses Konzept.

Mit der Integration erster Ansätze zur Berücksichtigung von Subgrid-Informationen bei der Simulation der Morphodynamik wurde dieses etwas andere FuE-Projekt abgeschlossen und in eine Grundsatzaufgabe überführt, die dauerhaft fortgeführt werden muss.



Literatur:

Fricke, Benjamin; Malcherek, Andreas (2014): A Stratigraphic Soil Model for Coastal Morphodynamics. ICHE 2014 – 11th International Conference on Hydroscience & Engineering. <https://hdl.handle.net/20.500.11970/99475>

Bild 1: 3D-Struktur des Bodens mit variabler Diskretisierung.



MudEstuary

Die Beeinflussung der Dynamik der Tideästuare durch Flüssigschlick

1 Aufgabenstellung und Ziel

Wie wird die Tidedynamik der Ästuare durch Flüssigschlick beeinflusst? Die Erforschung dieser Fragestellung war Gegenstand des KFKI-Verbundprojekts MudEstuary. Das Forschungsprojekt wurde durch das BMBF gefördert (Förderkennzeichen: 03KIS113) und in Kooperation mit der Universität der Bundeswehr in München (UniBwM) bearbeitet. In dem Forschungsprojekt lag das Hauptziel auf einer Analyse der Interaktion des Flüssigschlicks mit der Wassersäule von hoch- bis zu niedrigkonzentrierten Sedimentsuspensionen. Während die UniBwM Laborversuche durchführte, ging es im Teilprojekt MudEstuary_B der BAW um die Weiterentwicklung der Methoden für eine numerische Simulation des Emsästuars.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Über die letzten Jahrzehnte ist es zu einer zunehmenden Verschlickung an der deutschen Küste gekommen. Insbesondere das Emsästuar ist von hohen Schwebstoffkonzentrationen bis zu 300 kg/m^3 und Flüssigschlickschichten bis zu einer Mächtigkeit von 2 m betroffen (Schrottke 2006).

Besonders gravierend ist dabei die Tatsache, dass das Auftreten von hochkonzentrierten Sedimentsuspensionen oder einer Flüssigschlickschicht dazu führen kann, dass nur eine sehr geringe Rauigkeit auf den darüber strömenden Wasserkörper wirkt. Es kann daher passieren, dass die Gezeitendynamik in einem schlickhaltigen Ästuar anders gedämpft wird als in einem vollständig turbulent strömenden Ästuar. Mit einer zunehmenden Verschlickung kann dies eine Verformung der Tidewelle zur Folge haben.

Das Systemverhalten der Ems hat sich über die letzten Jahrzehnte deutlich verändert. So hat sich die Fortschrittsgeschwindigkeit des Tidehochwassers im Bereich der Unterems von Pogum bis Papenburg verdoppelt (BAW 2000). Unter besonderen Randbedingungen kann das Tidehochwasser (Thw) in der Unterems stromauf (bei Papenburg) früher als stromab (bei Pogum) eintreten. Dieses sind Phänomene, die auch auf ein unterschiedliches Fließverhalten zwischen Wasser- und Schlickkörper hinweisen können. Um

Auftragsnummer:

B3955.03.04.70235

Auftragsleitung:



Holger Rahlf
 holger.rahlf@baw.de

Auftragsbearbeitung:

Marie Naulin
 marie.naulin@baw.de
 Julia Benndorf
 julia.benndorf@baw.de

Laufzeit:

2015 bis 2020

die Ursachen und die Entwicklung zu diesem Systemverhalten zu analysieren, ist es notwendig, die prozessübergreifende Modellierung der turbulenten und rheologischen Viskosität einschließlich der Übergänge zwischen diesen Zuständen zu entwickeln und in einem numerischen Modell umzusetzen. Dieses wird sowohl für die Beschreibung des derzeitigen Zustands der Ems als auch für vergangene Zustände der letzten Jahrzehnte notwendig sein. Darauf aufbauend ermöglicht das prognostische numerische Verfahren die Entwicklung neuer Lösungsansätze durch ein vertieftes Prozessverständnis. Das langfristige Ziel ist es, notwendige Vorhaben zur Verringerung der Verschlickungsproblematik, die auch gegenwärtig im Rahmen des Masterplans Ems 2050 untersucht werden, für das Gesamtsystem Ems prognostisch abzusichern.

3 Untersuchungsmethoden

Basierend auf einem kontinuierlichen Modellansatz (Le Hir et al. 2001) wurde zunächst ein linearer Zusammenhang der turbulenten und rheologischen Viskosität angenommen. So kann die effektive Viskosität eingeführt werden, die sowohl die turbulente als auch die rheologische Viskosität beinhaltet. Weiterhin wird für die Viskosität auch eine Dämpfung der Turbulenz sowie laminares Fließverhalten berücksichtigt.

Im Teilprojekt MudEstuary_A (UniBwM) wurden grundlegende Modellkonzepte in einem numerischen 1D-Modell weiterentwickelt. In Laborversuchen zur Turbulenzdämpfung in Suspensionen wurden rheologische und turbulente Viskositäten gemessen und zur Validierung nachgerechnet. Des Weiteren wurde der Einfluss der Salinität und anderer Effekte auf die Rheologie der Flüssigschlicke untersucht.

Im Teilprojekt MudEstuary_B (BAW) wurde der entwickelte Modellansatz in einem numerischen 3D-Modell implementiert. Es fand eine Anwendung und Validierung auf das Labormodell sowie schematische Modelle statt. Weiterhin wurden historische Zustände der Ems und die Ursachen der Verschlickung analysiert.

4 Ergebnisse

Im Rahmen der Weiterentwicklung des Simulationsmodells erfolgte eine Implementierung eines kontinuierlichen Modellansatzes in einem 3D-Modell unter Berücksichtigung folgender Komponenten:

- Hindered-Settling-Ansätze (Reduktion der Sinkgeschwindigkeit bei hohen Konzentrationen) und Flokkulation (Erhöhung der Sinkgeschwindigkeit durch Flockenbildung)
- Rheologische Viskosität in Abhängigkeit des Feststoffgehalts unter Berücksichtigung einer Fließgrenze und scherverflüssigenden Verhaltens des Flüssigschlicks
- Dämpfung bzw. Abschaltung der Turbulenz im Bereich des Flüssigschlicks

Der Modellansatz wurde zur Simulation der Laborversuche (Bild 1) sowie schematischer Ästuarmodelle angewandt. Die Ergebnisse stellen die Grundlage für eine spätere Anwendung auf das Emsästuar und die Untersuchung von historischen Zuständen dar.

Mit der Untersuchung historischer Zustände wurden Indikatoren für die Ursachen der Verschlickung abgeleitet. Für diese Analyse wurden drei Szenarien historischer Zustände ausgewählt: (i) 1923–1952 (vor größeren Ausbaumaßnahmen wie z. B. Häfen, Eindeichungen etc.); (ii) Unterems 1981 (vor den maßgeblichen Ausbaumaßnahmen in der Unterems) und (iii) 2015 (aktueller Vergleichszustand). Die Topografien wurden entsprechend aufgebaut, notwendige Anpassungen am Gitter durchgeführt sowie die Szenarien anhand von Tidehoch- und Tideniedrigwassermessungen kalibriert. Anschließend wurden die Simulationsergebnisse hinsichtlich der Hydrodynamik analysiert.

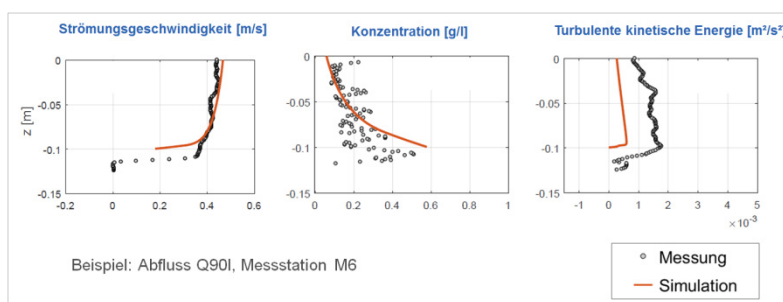


Bild 1: Vergleich zwischen Messung und Simulation der Laborversuche.

Literatur:

BAW (2000): Verifikation des Emsmodells 1998. Sachstandsbericht. Hamburg.

Le Hir et al. (2001): Application of the continuous modelling concept to simulate high-concentrated suspended sediment in a macrotidal estuary. In: McAnally, W. H.; Mehta, A. J. (Hg): Coastal and Estuarine Fine Sediment Processes 3. Elsevier Science, S. 229–247.

Schrottko, K. (2006): Dynamik fluider Schlicke im Weser- und Ems-Ästuar. BAW/BfG-Kolloquium im Nov. 2006.



BMVI-Expertennetzwerk: Küste

Wissen – Können – Handeln

1 Aufgabenstellung und Ziel

Unter dem Namen Expertennetzwerk haben sich sieben Ressortforschungseinrichtungen und Fachbehörden des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) zusammengeschlossen (DWD, BSH, BfG, BAW, EBA, BASt und BAG). Im BMVI-Expertennetzwerk werden unter anderem die durch Klimaveränderungen und extreme Wetterereignisse bedingten Betroffenheiten für Verkehr und Infrastruktur bestimmt und beispielhaft Anpassungsoptionen entwickelt. Der Netzwerkcharakter spiegelt sich im Austausch von Daten und jeweiliger Expertise zwischen den Fachbehörden des BMVI wider. Schwerpunkte der BAW Hamburg liegen unter anderem auf der Fragestellung, welche Änderungen von Hydrodynamik und Sedimenttransport in den Küstenbereichen der Deutschen Bucht bei einem Meeresspiegelanstieg zu erwarten sind und welche Folgen sich daraus für den Verkehrsträger Wasserstraße ergeben. Neue Aspekte dieser Untersuchungen im Vergleich zum Projekt KLIWAS (Seiffert et al. 2014) sind eine breitere Abdeckung möglicher Szenarien, die sowohl Meeresspiegelanstieg als auch topographische Änderungen im Wattenmeer beinhalten, sowie Untersuchungen zum Schwebstofftransport.

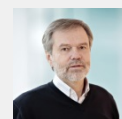
2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Die Abschätzung einer Bandbreite möglicher langfristiger Veränderungen von Tide- und Sedimentdynamik im Zuge des Klimawandels ist die Grundlage für eine fundierte und umfassende Beratung der WSV. Dazu gehört auch die morphologische Entwicklung der Wattgebiete, welche die Tidedynamik der Ästuare beeinflussen. Die Watten dissipieren Tideenergie und sind somit von großer Bedeutung für das Sedimentmanagement in den Seeschiffahrtsstraßen. Die bei Meeresspiegelanstieg möglichen langfristigen Entwicklungen der Morphologie von Watten sollen abgeschätzt und geeignete Anpassungsmaßnahmen im Sedimentmanagement entwickelt werden. Des Weiteren können aus den flächenhaften Ergebnissen der numerischen Modelluntersuchungen Daten zu Klimawandelwirkungen für einzelne relevante Streckenabschnitte oder Bauwerke gewonnen werden.

Auftragsnummer:

B3955.03.04.70236

Auftragsleitung:



Dr. Norbert Winkel
 norbert.winkel@baw.de

Auftragsbearbeitung:



Caroline Rasquin
 caroline.rasquin@baw.de

Benno Wachler
 benno.wachler@baw.de

Laufzeit:

2016 bis 2020

3 Untersuchungsmethoden

Die Simulationen erfolgen mittels des numerischen Modellverfahrens UnTRIM². Das Modellgebiet umfasst die gesamte Deutsche Bucht von Terschelling in den Niederlanden bis Hvide-Sande in Dänemark inklusive der Ästuar Ems, Weser und Elbe bis zu den Tidewehren. Im Rahmen des Projektes werden behördenübergreifend konsistente Randwerte zur Simulation möglicher Zukünfte generiert (BAW 2020). Hierbei wird für jede Zeitscheibe „Referenz“ (1971–2000), „Nahe Zukunft“ (2031–2060) bzw. „Ferne Zukunft“ (2071–2100) ein charakteristisches Jahr anhand der Windgeschwindigkeiten ermittelt und ein möglicher Meeresspiegelanstieg zugeordnet. Die untersuchten Meeresspiegelanstiege orientieren sich an den Erkenntnissen des aktuellen IPCC-Berichts (IPCC 2019). Zudem wird sich als Reaktion auf den Meeresspiegelanstieg die Topographie des Wattenmeers verändern. Bis zu einem gewissen Grad des Meeresspiegelanstiegs können die Wattflächen bei ausreichender Sedimentverfügbarkeit mitwachsen (Wachler et al. 2020). Daher wird jedem Meeresspiegelanstiegsszenario außerdem eine mögliche Topographieänderung zugeordnet (BAW 2020).

4 Ergebnisse

Für die Deutsche Bucht zeigt die Untersuchung für das Ende des Jahrhunderts (Ferne Zukunft) für einen Meeresspiegelanstieg von 0,80 m, dass große Bereiche des Wattenmeers deutlich länger überflutet sind (Bild 1, unten Mitte). Das angenommene Mitwachsen der Watten kann die Auswirkungen des Meeresspiegelanstiegs zu einem großen Teil kompensieren (Schade et al. 2019). Die mittlere Überflutungsdauer nimmt, je nach Untersuchungsort, um ein bis zwei Stunden, besonders am Elbe-Ästuar und an den Uferlinien zu (Bild 1). Zurückzuführen ist dies auf die vergrößerte mittlere Wassertiefe, die von dem angenommenen Wattwachstum nicht kompensiert werden kann. Durch das angenommene Aufwachsen der Watten bleiben die Änderungen in der Überflutungsdauer jedoch gering. Bei noch höheren Meeresspiegelanstiegsszenarien wird ein zusätzlicher Verlust an Wattflächen erwartet.

Ein Erhalt der Watten bei Meeresspiegelanstieg hat positive Auswirkungen unter anderem auf Tidedynamik und Küstenschutz, da durch die vorgelagerten Wattflächen Tideenergie bereits im Küstenvorfeld gedämpft werden kann. Modelluntersuchungen zeigen, dass der Sturmflutsscheitelwasserstand durch ein Aufwachsen der Watten in der gesamten Tideelbe gesenkt werden kann (BAW, in Vorbereitung). Um die

Watten auch bei höheren Meeresspiegelanstiegsszenarien zu schützen, sollten gezielt Maßnahmen entwickelt und rechtzeitig durchgeführt werden.

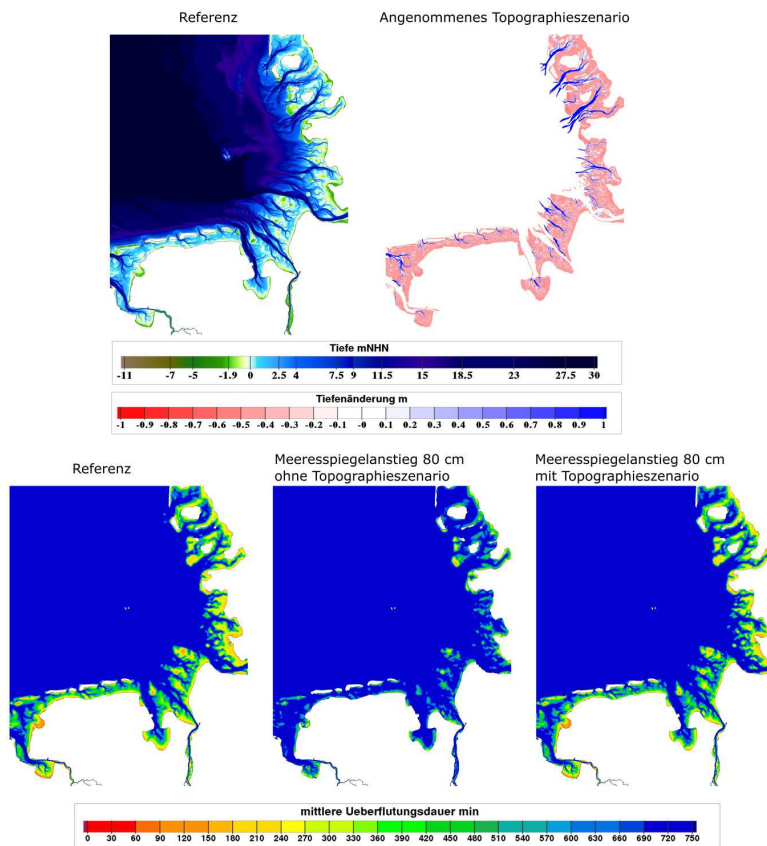


Bild 1: Topographie im Referenzzustand (links oben), Tiefenänderungen für das angenommene Topographieszzenario (rechts oben). Rot: erhöhte Watten, blau: vertiefte Rinnen. Mittlere Überflutungsdauern in Minuten (bezogen auf eine Tide) für den Referenzzustand ohne Meeresspiegelanstieg (links unten), das Szenario mit einem Meeresspiegelanstieg von 80 cm in der Referenz-Topographie (unten Mitte), sowie mit dem angenommenen Topographieszzenario (rechts unten).

Literatur:

BAW (Ed.): Expertennetzwerk: Küste, FuE-Abschlussbericht B3955.03.04.7023, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, 2020.

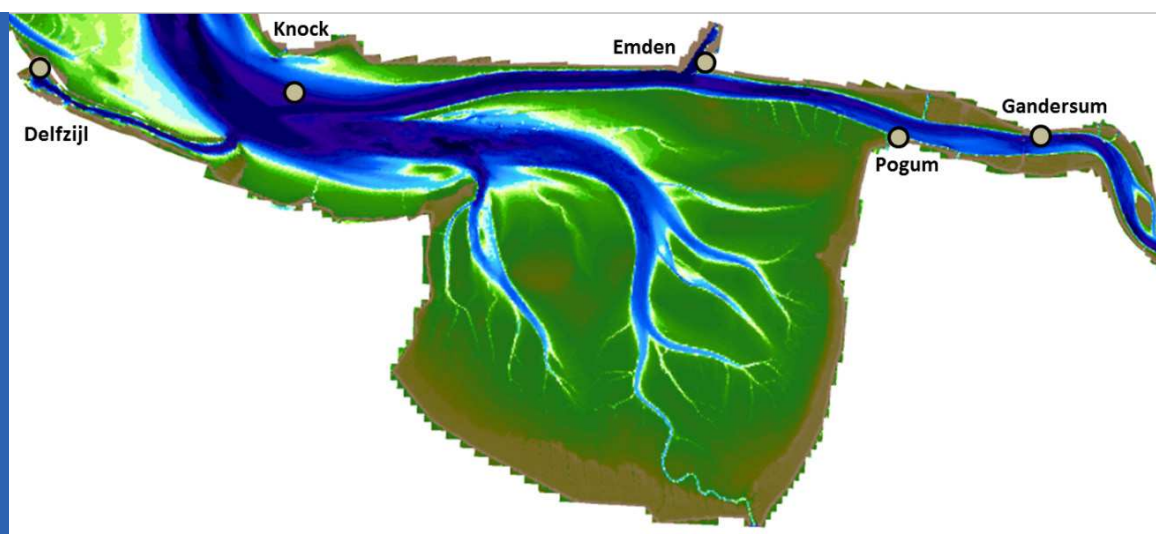
BAW (Ed.): BAWBildatlas. Sturmflutereignisse in der Tideelbe: Eine Sensitivitätsstudie zu Meeresspiegelanstieg und Topographieänderung der Wattflächen, in Vorbereitung.

IPCC: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate, 2019, in press.

Schade, N. H.; Hüttl-Kabus, S.; Ebner von Eschenbach, A.-D.; Hohenrainer, J.; Jensen, C.; Löwe, P.; Möller, J.; Rasquin, C.; Tinz, B.; Wachler, B.; Ganske, A.; Heinrich, H. (2019): Klimaänderungen und Klimafolgenbetrachtungen für das Bundesverkehrsssystem im Küstenbereich. Schlussbericht des Schwerpunktthemas „Fokusgebiete Küsten“ (SP-108) im Themenfeld 1 des BMVI Expertennetzwerks.

Seiffert et al. (2014): Schlussbericht KLIWAS-Projekt 2.04/3.02. KLIWAS Schriftenreihe 36.

Wachler, B.; Rasquin, C.; Seiffert, R.; Kösters, F.: Tidal response to sea level rise and bathymetric changes in the German Wadden Sea, submitted to Ocean Dynamics, 2020.



EXTREMENESS-C

Analyse von extremen Sturmfluten in den Ästuaren von Elbe und Ems und mögliche Verstärkungen

1 Aufgabenstellung und Ziel

Die Abschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeiten schwerer Sturmfluten sowie möglicher Änderungen im Zuge des anthropogenen Klimawandels sind für den Küstenschutz in der Deutschen Bucht sowie in den angrenzenden Ästuaren von z. B. Elbe und Ems von großer Bedeutung. Im Gegensatz zu bisher existierenden Untersuchungen, die sich typischerweise mit hohen Perzentilen oder Wiederkehrwerten und deren Änderungen beschäftigen, sollen in dem vom BMBF im Rahmenprogramm Forschung für Nachhaltige Entwicklung (FONA 3) geförderten Projekt EXTREMENESS Ereignisse untersucht werden, die extrem selten und höchst unwahrscheinlich, aber potentiell mit extremen Konsequenzen verbunden sind. Zu diesem Zweck werden zunächst verschiedene Methoden genutzt, um aus einer Vielzahl existierender Beobachtungsdaten, Reanalysen und Klimaszenarienrechnungen extreme Sturmflutereignisse und die zugehörigen meteorologischen Bedingungen zu identifizieren/selektieren. Anschließend wird mithilfe von Modellstudien untersucht, inwieweit diese Ereignisse innerhalb physikalisch plausibler Grenzen zu noch extremeren Sturmfluten hätten führen können. Dabei werden z. B. Effekte des Meeresspiegelanstiegs oder der Tatsache, dass der zeitliche Ablauf eines Sturms unabhängig von der Tidephase ist, berücksichtigt. Mit regionalen Stakeholdern der Stadt Emden wird anschließend eine transdisziplinäre reflexive Bewertung für die extremsten Fälle durchgeführt, wobei Konsequenzen bei unterstelltem Versagen von Schutzanlagen beispielhaft untersucht und in einem sozialwissenschaftlich begleiteten Diskussionsprozess mit Entscheidungsträgern hinsichtlich ihrer regionalen Auswirkungen und möglicher Anpassungsmaßnahmen bewertet werden.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Um mögliche, mit einer Klimaänderung verbundene Betroffenheiten für die Bundeswasserstraßen identifizieren und Anpassungsmaßnahmen entwickeln zu können, ist es wichtig, die zukünftigen Bedingungen unter dem Einfluss eines sich ändernden Klimas zu verstehen und zu analysieren. Das auf Basis der Modellergebnisse im Rahmen von EXTREMENESS analysierte

Auftragsnummer:

B3955.03.04.70237

Auftragsleitung:



Dr. Elisabeth Rudolph
 elisabeth.rudolph@baw.de

Auftragsbearbeitung:

Tabea Brodhagen
 tabea.brodhagen@baw.de

Laufzeit:

2016 bis 2020

veränderte Systemverhalten bei extremen Sturmfluten kann z. B. für die Entwicklung von Anpassungsoptionen für den Strombau und den Küsten- und Uferschutz sowie für Entwässerungskonzepte genutzt werden.

3 Untersuchungsmethoden

Extreme Sturmfluten mit den zugehörigen meteorologischen Bedingungen werden in den Teilprojekten EXTREMENESS-A (HZG) und EXTREMENESS-B (DWD) aus existierenden Datensätzen heutiger und möglicher zukünftiger Klimabedingungen herausgefiltert. Die Auswirkungen der ausgewählten extremen Sturmfluten sowie ihr Potential für eine mögliche Verstärkung, z. B. durch einen Meeresspiegelanstieg (SLR) oder eine Veränderung des Abflusses (Q), werden im Teilprojekt EXTREMENESS-C (BAW) mit dem numerischen Modellverfahren UnTRIM2009 untersucht (Casulli 2008). Das Modellgebiet umfasst neben der Deutschen Bucht auch die Ästuarie von Elbe, Weser und Ems und erlaubt somit die gleichzeitige Untersuchung der Auswirkungen von Sturmfluten in den Elbe- und Ems-Ästuaren. Die simulierten Wasserstandszeitreihen sind die Grundlage der Analyse verschiedener Sturmflutkenngößen, z. B. des Sturmflutscheitelwasserstandes, d. h. des höchsten während der Sturmflut erreichten Wasserstandes.

4 Ergebnisse

Für die weitere Betrachtung in der Fokusregion Ems zwischen Borkum und Herbrum haben die Teilprojekte EXTREMENESS-A und EXTREMENESS-B zwei extreme Nordseesturmfluten für Borkum aus Klimaszenarien ausgewählt: das höchste in den betrachteten Datensätzen gefundene Ereignis EH sowie das Ereignis mit der längsten Andauer von hohen Wasserständen EL/EC. Diese Sturmflutereignisse werden von EXTREMENESS-C in der Deutschen Bucht modelliert und analysiert. Dabei werden auch mögliche weitere Verstärkungen durch eine Zunahme des Abflusses Q in die Ems oder ein Meeresspiegelanstieg SLR in der Nordsee untersucht.

Bild 1 zeigt die analysierten Sturmflutscheitelwasserstände HW entlang der Fahrrinne der Ems zwischen Hubertgat in der Emsmündung und Herbrum für die drei Sturmflutereignisse 5. Allerheiligenflut (SF06, schwarz), EH (rot) und EL/EC (blau) ohne Meeresspiegelanstieg (SLR000). Bei offenem Sturmflutsperrwerk (SPWo, durchgezogen) ist der Einfluss der Sturmflut im gesamten Ästuar zu sehen. Eine Erhöhung des Abflusses im Sturmflutzeitraum auf 1200 m³/s (Q1200, strichpunktiert) erhöht die Sturmflutscheitelwasserstände im oberen Teil des Ems-Ästuars um mehrere Dezimeter und im breiteren und tiefen Bereich bei Emden um mehrere Zentimeter. Im sehr breiten Mündungsbereich verändert der Abfluss die Sturmflutscheitelwasserstände nicht. Das Schließen des Sperrwerkes (SPWg) bei einem Wasserstand von NHN + 3,50 m schützt den stromauf von Gandersum gelegenen Teil der Ems vor hohen Sturmflutwasserständen. Durch eine Erhöhung des Abflusses im Sturmflutzeitraum auf 1200 m³/s (Q1200, gestrichelt) erhöhen sich die Sturmflutscheitelwasserstände in diesem geschützten Bereich, bleiben jedoch bei allen Sturmflutereignissen unter den Sturmflutscheitelwasserständen bei offenem Sperrwerk. Im Bereich zwischen dem Sperrwerk und Dukegat bewirkt das geschlossene Sperrwerk eine Erhöhung der Sturmflutscheitelwasserstände um bis zu 30 cm (siehe hierzu auch BAW 2007). Eine Erhöhung des Abflusses im Sturmflutzeitraum verändert in den betrachteten extremen Sturmflutereignissen EH und EL/EC den Sturmflutscheitelwasserstand in gleicher Weise wie bei SF06.

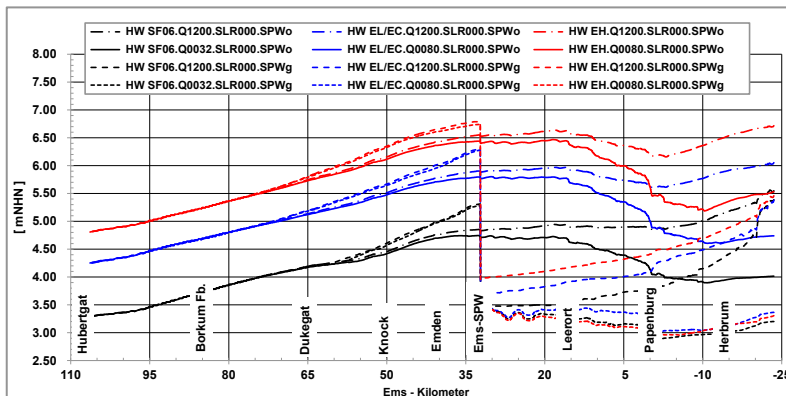


Bild 1: Sturmflutscheitelwasserstand HW entlang der Fahrrinne der Ems für verschiedene Abflusszenarien Q sowie für ein offenes bzw. gesteuertes Emssperrwerk für die Sturmflutereignisse SF06, EH und EL/EC.

Literatur:

BAW (2007): 5. Allerheiligenflut in der Ems. Endbericht zu Sturmflutkenngößen in Unter- und Außenems. Bericht. BAW A39550310161.

Casulli, V. (2008): A high-resolution wetting and drying algorithm for free-surface hydrodynamics. In: International Journal for Numerical Methods in Fluids 60 (4), S. 391–408. DOI: 10.1002/flid.1896.



BASEWAD – BALancing SEDiment deficits in the WADden Sea

Simulation der morphologischen Entwicklung im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer

1 Aufgabenstellung und Ziel

Bei dem Projekt BASEWAD handelt es sich um ein Teilprojekt des Interreg-Projektes BWN („Building with Nature“). In diesem Projekt verfolgen Partner aus Deutschland, Belgien, Dänemark, Schweden und den Niederlanden das Ziel, nachhaltige Strategien zu überprüfen oder zu entwickeln, um möglichen Auswirkungen des Klimawandels entgegenzuwirken und zugleich bestimmte Ökosysteme gezielt zu stärken. Natürliche Transportprozesse sollen genutzt werden, um durch verschiedene Maßnahmen (insbesondere Sandaufspülungen) den Küstenschutz nachhaltig zu stärken und so der Erosion der Küsten entgegenzuwirken. Die Effektivität solcher Maßnahmen ist aber noch mit Unsicherheiten belegt und erfordert daher weitere Untersuchungen.

In unseren Untersuchungen liegt der Fokus auf dem nordfriesischen Teil des schleswig-holsteinischen Wattenmeeres. Ziel ist es, mithilfe numerischer Simulationen die Auswirkungen von Maßnahmen wie Sandeinbringungen oder Sandentnahmen auf die Morphologie des Gebietes zu untersuchen. Im Hinblick auf die Auswirkungen des Klimawandels (Meeresspiegelanstieg, Starkwindereignisse) sind Aussagen zu mittel- und langfristigen Änderungen der Morphologie gefordert. Weiterhin sollen für historische topografische Zustände des Gebietes Analysen durchgeführt werden, um ein besseres Verständnis darüber zu erlangen, wie sich die hydrodynamischen Bedingungen im Laufe der Zeit geändert haben.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Die bei diesem Projekt durchzuführenden methodischen Weiterentwicklungen und gesammelten Erfahrungen sind unmittelbar für Fragestellungen des Sedimentmanagements, insbesondere in den Mündungsbereichen der Ästuarare, von großem Nutzen. Die Modellierung des Einflusses des Seegangs auf den Sedimenttransport und die Methoden zur Modellierung des Geschiebetransports sind hier besonders hervorzuheben.

Auftragsnummer:

B3955.03.04.70238

Auftragsbearbeitung:



Benjamin Fricke
benjamin.fricke@baw.de



Dr. Holger Weilbeer
holger.weilbeer@baw.de

Laufzeit:

2017 bis 2020

3 Untersuchungsmethoden

Die Untersuchungen werden mit den numerischen Verfahren UnTRIM (Hydrodynamik), SediMorph (Morphodynamik) und UnK (Seegang) durchgeführt. Auch wenn der Fokus auf dem schleswig-holsteinischen Wattenmeer und der morphologischen Entwicklung im Umfeld der Inseln Sylt, Amrum und Föhr liegt, umfasst das Modellgebiet die gesamte Deutsche Bucht, um die Tidedynamik korrekt abzubilden.

Zur Validierung der morphologischen Aussagekraft des Modells findet ein Vergleich der Erosions- und Depositionsmuster von mittelfristigen Simulationen mit Messungen an definierten Punkten statt, die von besonderem Interesse sind und eine wichtige Rolle bei der Planung des Sedimentmanagements spielen. Weiterhin findet ein Vergleich mit verschiedenen Abschätzungen – basierend sowohl auf Messungen als auch auf analytischen Überlegungen – über großräumige Sedimentbewegungen statt. Darauf aufbauend werden dann verschiedene Szenarien zu Maßnahmen wie Sandaufspülungen gerechnet und deren Einfluss auf die lokale Entwicklung betrachtet.

4 Ergebnisse

Ein lokales Seegangmodell wurde aufgebaut und mit Seegangsmessungen der Pegel Westerland (vor der Westküste Sylts liegend) und Hörnum (am östlichen Ende des Seegatts im Wattenmeer liegend) validiert. Es wurde eine gute Übereinstimmung der Modellergebnisse mit den Messungen erzielt. Morphodynamische Rechnungen mit einer Simulationsdauer von einem Jahr wurden durchgeführt. Grundlegende Transportprozesse im Fokusgebiet werden gut abgebildet.

Die Simulationsergebnisse wurden sowohl räumlich als auch zeitlich aggregiert, um grundlegende morphologische Tendenzen und Änderungen aufzuzeigen (Bild 1). Es findet Erosion entlang der Außenküsten und der Küstenvorfelder der Inseln Sylt und Amrum statt. Im Hörnumer Tidebecken und dort verstärkt entlang der Binnenküste kommt es dagegen zur Deposition von Sedimenten. Diese Tendenzen werden auch in der Natur beobachtet.

Eine an eine reale Maßnahme angelehnte Sandaufspülung wurde im Modell umgesetzt, um die Ausbreitungswege des eingebrachten Sediments abbilden zu können. Die Ergebnisse zeigen eine Ausbreitung des Sediments entlang der Küste in südlicher Richtung hinein in das Vortrapptief und von dort weiter sowohl in das Ebbdelta als auch in das Tidebecken. Das eingebrachte Sediment kommt somit dem Wattenmeer zu Gute.

Es wurden vier Klimaszenarien aus der Strategie für das Wattenmeer 2100 des LKN gerechnet, bei der sowohl ein Anstieg des Meeresspiegels als auch Änderungen in der Topographie berücksichtigt wurden. Besonderes Augenmerk bei der Auswertung lag auf Änderungen der Seegangenergie sowie den Auswirkungen auf den Sedimenttransport und den Eintrag von Sediment in das Hörnumer Tidebecken. Hierbei spielen vor allem starke Seegangereignisse eine wichtige Rolle.

Außerdem wurden Änderungen in den Tidekennwerten untersucht. Von Bedeutung ist dabei unter anderem die Überflutungsdauer auf den Wattflächen, da diese für die ökologische Nutzbarkeit eine wichtige Rolle spielt. Abhängig vom jeweiligen Szenario ist zu sehen, dass die Wattflächen in vielen Bereichen des Tidebeckens deutlich kürzer trockenfallen.

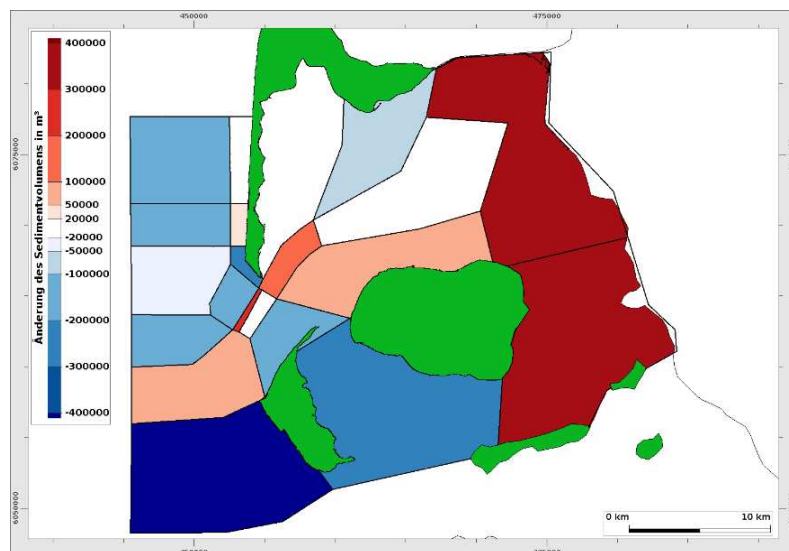


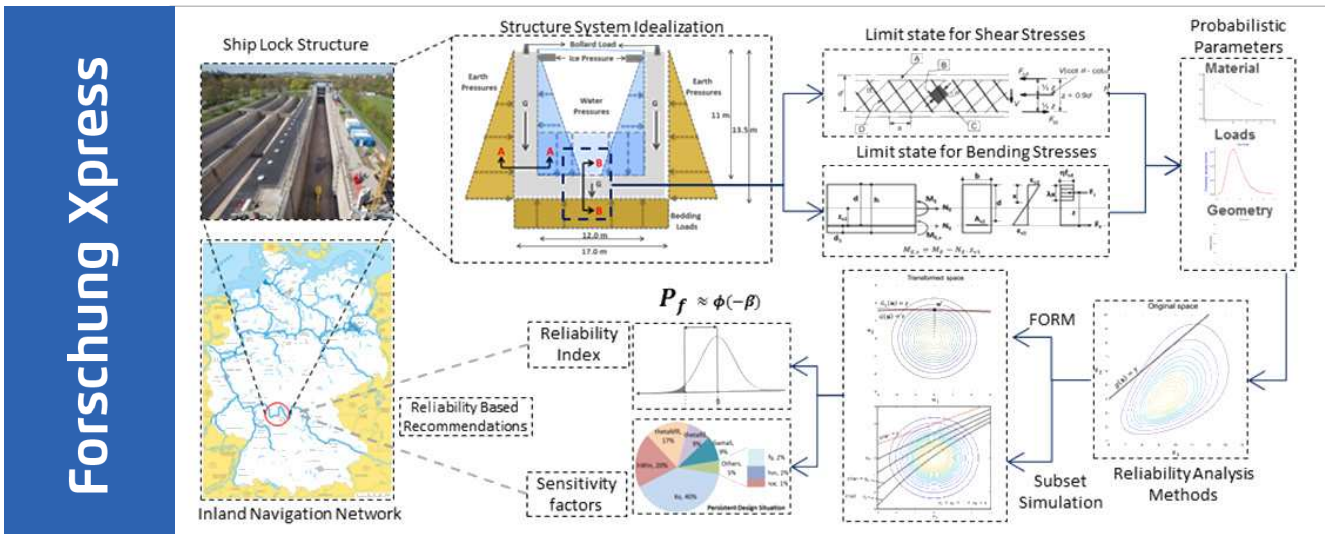
Bild 1: Änderung des Sedimentvolumens in m^3 für verschiedene Bilanzierungspolygone im Fokusgebiet für das Jahr 2010.

Literatur:

Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (2015): Strategie für das Wattenmeer 2100. Kiel: Schmidt & Klaunig.

Wilmink, R. J. A. et al. (2017): Assessment of the Design and Behaviour of Nourishments in the North Sea Region. In: Conference Proceedings Coastal Dynamics 2017, S. 801–809.

II. Aktive FuE-Vorhaben



Reliability Analysis of Existing Hydraulic Structures

1 Objective and tasks

The principal objective of the project is to develop an appropriate framework and tools based on probabilistic methods for the evaluation of existing hydraulic structures in the inland navigation system of Germany. The evaluation through probabilistic methods would serve as an additional verification of the structural safety alongside the existing structural analysis approaches. It is intended to attain insight regarding safety of structures which these methods offer including their abilities to evaluate safety indexes, identify critical failure modes and sensitive parameters. Additionally, these methods give prognosis on the future state and remaining lifetime of the structure considering the spatial and temporal randomness of the parameters which current methods lack. Different methods would be employed based on availability of data for each expected failure mechanism. Based on importance factors of parameters recommendations for testing and investigation would be made. The results will be integrated into workflow of BAW-Guideline TbW (BAW 2016).

2 Importance for Federal Waterways and Shipping Administration (WSV)

The asset capital is approximately € 50 billion (2010) and around € 200 million is invested for maintenance of system every year. 50 % of these structures are older than 80 years and 30 % older than 100 years (Westendarp et al. 2014). In order to ensure the safety and cost effectiveness for maintenance and operation, probabilistic approach could be used. This would provide uniform reliability indices for comparison with required safety levels additionally providing critical structural forms, parameters and failure modes. With this information the Federal Waterways and Shipping Administration (WSV) can at a system level prioritize its maintainers and as-set management operations. To ensure the targets are met, the probabilistic structural analysis methods are integrated in BAW (2016) in level C and would also serve as verification of level A and B.

3 Methods

In agreement with the existing standards (DIN EN 1992-1-1 2010, DIN 19702 2013) and guideline TbW (BAW 2016), the current study performs a reliability analysis of an unreinforced concrete ship lock wall structure and

Project Number:

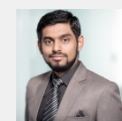
B3951.00.04.70002

Project Leader:



Claus Kunz
claus.kunz@baw.de

Person in Charge:



Arslan Tahir
arslan.tahir@baw.de

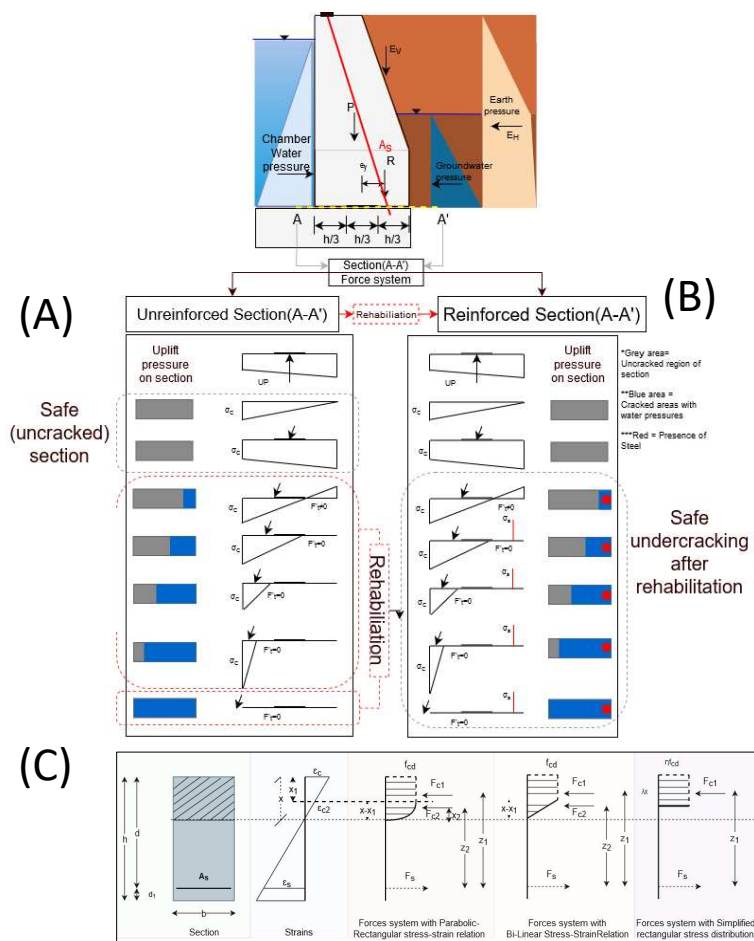
Duration:

2017 bis 2022

additionally investigates the influence of Crack and Pore-Water Pressures (CPWP) on the structural safety using full probabilistic methods. For the study three failure mechanisms (sliding, overturning and compressive failure) were considered for Ultimate Limit States (ULS) whereas for Serviceability Limit State (SLS) two modes (limitation in compressive stress and crack in joint) were considered. The limit state functions were derived and appropriate probabilistic models for associated parameters were selected for the use in full probabilistic reliability assessment and calculation of the probability of failure P_f . Defining a Taylor series expansion of the limit state function to the first order at the design point provides an effective solution for estimating P_f . This method is known as the First Order Reliability Method (FORM) which uses HLRF algorithm (Rackwitz and Fiessler 1978). Additionally, a Monte Carlo simulation-based method i. e. Subset simulation (SS) was employed to verify the results of FORM.

4 Results

At times old unreinforced concrete structures do not achieve the target reliability and therefore require to be rehabilitated for safe operation in their remaining service life. The most commonly used method for the rehabilitation is reinforcing the section with steel bars. The design and analysis of the transformed section from unreinforced concrete to reinforced concrete has not been well defined in the standards. There are two major approaches that can be used to consider reinforcement in the section analysis, firstly considering the steel as an anchor with governing principles similar to prestressed sections and secondly considering the section as typical reinforced concrete structure which follows the Eurocodes/DIN. The current state of research indicates that in case we consider anchor-based system the pre-rehabilitated (fig 1. (A)) and post-rehabilitated (fig 1. (B)) structure can be analyzed using the same limit state functions, crack and porewater pressures equations and random variables. Whereas if Eurocode based reinforced concrete section is considered for analysis the section resistance models follow a stress block approach (fig 1. (C)), for which the resistance model as well as the corresponding crack and porewater pressures system of equations were rederived. The results indicate that higher reliability level is achieved in case of anchor-based system as compared to Eurocode based stress block resistance method. However, for a first study, in both cases the achieved reliability levels were higher than the target reliability levels set by Eurocodes/DIN. Additionally, it was concluded that crack and pore water pressure have major influence on reliability levels and its extent is based on water differential across the structure, its distribution function and considered limit state function.



Literature

BAW (2016): BAW-Merkblatt: Bewertung der Tragfähigkeit bestehender, massiver Wasserbauwerke (TbW). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau.

DIN 19702 (2013): Massivbauwerke im Wasserbau – Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit.

DIN EN 1990(2010-12): Eurocode-0: Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung.

DIN EN 1992-1-1 (2010-12): Eurocode 2 – Teil 1-1: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken.

Rackwitz, R; Fiessler, B. (1978): Structural reliability under combined random load sequences. In: Computers & Structures 9 (5), 489–94.

Westendarp, A.; Becker, H.; Bödefeld, J.; Fleischer, H.; Kunz, C.; Maisner, M.; Spörel, F. (2014): Erhaltung und Instandsetzung von massiven Verkehrswasserbauwerken. In: Bergmeister, E. K.; Fingerloos, F.; Wörner, J.-D. (Eds.), BetonKalender 2015, 185–246; Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH.

Figure 1: Sectional stress distribution with/without consideration of crack and pore-water pressures. (A) unreinforced concrete section, (B) rehabilitated using anchor analogy, (C) EC/DIN based reinforced concrete section stress distribution (stress block).



Numerische Untersuchungen an massiven Wasserbauwerken

Nachweiskonzeption: Unbewehrte Bauteile unter Teilflächenbelastung

1 Aufgabenstellung und Ziel

Die Nachrechnung massiver Wasserbauwerke beruht i. A. auf vereinfachenden Annahmen, sowie der homogenen Anwendung eines stark reduzierten Stoffgesetzes. Die Gegenüberstellung mit aktuellen numerischen Untersuchungsmethoden umfasst zwei Bereiche: Der erste Projektabschnitt validierte den Ansatz für Riss- und Porenwasserdruck nach DIN 19702 (Ergebnisse vgl. (Fleischer et al. 2020)). Der zweite Projektabschnitt adressiert Tragfähigkeitsreserven in der Homogenisierung und Materialabbildung. Hier finden sich die breiten Streuungen der Zusammensetzung und Durchmischung der Baustoffe im 5 %-Quantil-Ansatz der charakteristischen Materialkennwerte wieder. Zusätzlich verhindert z. B. die normgerechte Nullsetzung der Zugfestigkeit bei Biegebeanspruchung den Nachweis der Tragfähigkeit von Nischen und ähnlichen lokalen Kräfteinleitungsstellen für unbewehrten Beton und Mauerwerk. Somit werden nicht selten aufwändige Verstärkungen der Nischenbereiche notwendig. Das zweite Ziel ist daher die Herleitung eines Nachweis- und Sicherheitsformats für die Bemessung unbewehrter Bauteile unter Teilflächenbelastung. Die Basis hierfür bilden nichtlinear-numerische Analysen mit realitätsnahen Stoffgesetzen und der räumlichen Verteilung der Materialparameter. Das Bemessungsmodell soll sich an dem BAW-Merkblatt zur Bewertung der Tragfähigkeit bestehender Wasserbauwerke (TbW) (BAW 2016a) orientieren und in dieses eingebunden werden.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Für einen Großteil der Wasserbauwerke in Deutschland ist ihre Tragfähigkeit in Bereichen wie (Revisions-)Nischen etc. nach gültigen Regelwerken nicht direkt nachweisbar. Ein nach TbW, Stufe C entwickeltes Bemessungsmodell könnte sowohl die WSV bei der Notwendigkeitsabschätzung als auch bei der Effizienzbeurteilung von Verstärkungsmaßnahmen unterstützen. Die Einordnung der Bauteile und ihrer Belastung in eine aufzustellende Entscheidungsmatrix, nach ihrer geometrischen und materialspezifischen/bauzeitlichen Zuordnung, erlaubt eine Reduktion des Untersuchungsaufwands im Einzelfall.

Auftragsnummer:

B3951.01.04.70006

Auftragsleitung:



Sophie Rüd

sophie.rued@baw.de

Laufzeit:

2018 bis 2023

3 Untersuchungsmethoden

Der Einsatz von FEM-Simulationen mit einem nichtlinearen Materialmodell und räumlich verteilten Materialeigenschaften erlaubt die Abbildung von Schädigung und lokalem Versagen. Dies modelliert ein realistischeres Materialverhalten unter Einbeziehung der Lastumverteilung im massiven Bauteil. Beides ermöglicht eine Betrachtung der darin jeweils begründeten Tragfähigkeitsreserven. Ein Sicherheitsformat hingegen begründet sich in der Kombination von Szenarien verschiedener Kennwertverteilungen. Metamodellbasierte Sensitivitätsanalysen zur Abbildung des Einflusses der 3D-Verteilungsvariation stellen den Übergang von Einzelfallanalysen hin zu einer grundsätzlicheren Bewertung der Lastfälle her.

Materialverteilungsfelder: Die Modellierung der räumlichen Verteilung der Materialeigenschaften kann maßgebend für die rechnerische Tragfähigkeit sein. Beispielsweise lassen sich Kiesnester durch eine Verteilung mit starker punktueller Lokalisierung abbilden und Arbeitsfugen durch Lokalisierungen in Ebenen. Die Auswahl, Umsetzung und Bewertung der Verteilungsfunktionen und -parameter stellen somit einen Schwerpunkt des Forschungsprojektes dar. Die Kombinationen aus räumlicher Zuweisung und Material in erneuter, zufälliger Variation bilden Unterensembles pro Materialverteilung. Die Erstellung dieser (Unter-) Ensembles für die FEM-Berechnung wurde im Programm Matlab automatisiert und wird im weiteren Projektverlauf noch um realistischere bzw. worst-case-basierte Verteilungsfelder ergänzt.

Messungen von Kennwertverteilungen Für die Auswahl realistischer Verteilungsfelder wurden flächige Rückprallhammermessungen an Stampfbetonbauteilen durchgeführt. Ein Hauptziel der Messungen war die Untersuchung der Verteilung und Autokorrelation der Messwerte in und über die horizontalen Schichten, die dem Herstellungsprozess zugrunde liegen. Stampfbeton wird lagenweise eingebracht und verdichtet, sodass ein wiederkehrendes Verlaufsmuster der Druckfestigkeit annehmbar ist. Diese kann über die Rückprallhammermessungen zwar nicht direkt abgeleitet werden, steht jedoch in Zusammenhang zu ihr. Zu Untersuchungen an einem realen Bauwerk stellte das WSA Donau MDK am Unterhaupt der Schleuse Kachlet zwei im Rahmen von Sanierungsarbeiten entstandene Schnittflächenbereiche der Schachttrennwand bereit. Als „Laborreferenz“ dienten hingegen Ausschnitte einer Probewand aus einem vorhergehenden FuE-Projekt (BAW 2016b). Bild 1 visualisiert die Messwerte eines Probewandanschnittes samt Kategorisierung.

4 Ergebnisse

Mithilfe von Histogrammen, Wahrscheinlichkeitsnetzen und dem Anderson-Darling Test wurde zunächst die Zugehörigkeit der Messwertesamtheiten und ihrer Unterkategorien zu Lognormal- bzw. Normalverteilungen geprüft. Der Mehrwert der graphischen Auswertung besteht hierbei in der Identifizierung der Ausreißerbereiche. Diese Betrachtungen dienen der Validierung der Verteilungsannahmen für die geplanten Simulationen. Der zweite Auswerteschritt fokussierte den Schichtaufbau und die Autokorrelation der Messwerte in der Anschnittsebene, sowie für die Probewand auch bezüglich der Distanz in Wandrichtung über circa 10 cm und circa 1 m. Für die Probewand konnten die Stampfbetonlagen den gemessenen Verläufen zugeordnet werden. Die aus den horizontalen Mittelwerten abgeleiteten Schichtverläufe ließen sich anhand des Herstellungsprozesses plausibilisieren. Als nächster Schritt ist ihre Implementierung in die Verteilungsfelder in den Simulationen vorgesehen.

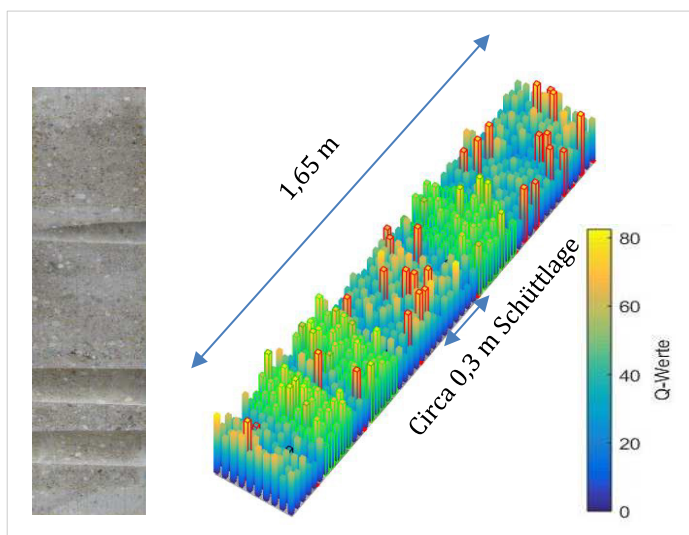


Bild 1: Visualisierung der Messwerte (Q-Werte) für einen Ausschnitt der Probewand, Kategorisierung per Randfarbe (Rot: Gestein, Schwarz: Eingesackt, Grün: Bohrloch).

Literatur:

DIN 19702:2013-02: Massivbauwerke im Wasserbau – Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit. Beuth Verlag, Berlin.

Fleischer, H.; Schlegel, R.; Eckardt, S. (2020) Standsicherheitsberechnungen an bestehenden Gewichtsstützwänden. In: Bautechnik 97, H. 6, S. 387–394.

BAW (2016a): BAWMerkblatt Bewertung der Tragfähigkeit bestehender, massiver Wasserbauwerke (TbW). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien).

BAW (2016b): Bundesanstalt für Wasserbau (2016): Instandsetzungssysteme für alte Wasserbauwerke. (BAW-FuE-Abschlussbericht B3951.03.04.10127)



Monitoring für massive Wasserbauwerke

1 Aufgabenstellung und Ziel

Bei vielen älteren Wasserbauwerken lassen sich Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit nicht mit den üblichen statischen Berechnungsverfahren nachweisen. Das BAWMerkblatt TbW sieht in solchen Fällen als eine mögliche Kompensationsmaßnahme das Bauwerksmonitoring (Structural Health Monitoring – SHM) vor, dessen Einsatz zukünftig an WSV-Bauwerken deutlich zunehmen wird. Gegenstand dieses FuE-Projektes ist eine intensive und systematische Aufbereitung und wissenschaftliche Auseinandersetzung mit Monitoringsystemen für massive Wasserbauwerke.

Das Ziel ist die Entwicklung eines modularen Monitoringsystems für Standardfälle im Bereich der WSV.

Wesentliche Teilaspekte davon sind:

- Analyse von Szenarien beim Bauteilversagen (zeitlicher Verlauf, Duktilität, Erkennbarkeit)
- Erstellung von Messkonzeptionen und Aufgabenstellungen mit Zuordnung von Versagensabläufen
- Ermittlung von Entwicklungsstand und Verfügbarkeit von Messsystemen und Sensortechnik (Eignung, Langzeitstabilität, Messunsicherheit)
- Datenmanagement: Erfassung, Sammlung, Dokumentation, Datenanalyse
- Entwicklung von Konzepten zur Festlegung von Grenzen für einen stufenweisen Alarm in Abhängigkeit von betrieblichen und umweltbedingten Randbedingungen (dynamische Alarmwerte).

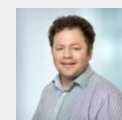
2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Der zuverlässige Betrieb der bestehenden Schleusen- und Wehranlagen ist eine Grundvoraussetzung zur Gewährleistung der Sicherheit und Leichtigkeit der Schifffahrt. Werden Schäden erkannt oder rechnerische Defizite bei Tragfähigkeit oder Gebrauchstauglichkeit identifiziert, können Monitoringanlagen den temporären Weiterbetrieb ermöglichen und Sperrungen verhindern, ohne das geforderte Sicherheitsniveau reduzieren zu müssen. Die Schleuse

Auftragsnummer:

B3951.01.04.70007

Auftragsleitung:



Dr. Christoph Stephan
christoph.stephan@baw.de

Auftragsbearbeitung:



Charly Kühne
charly.kuehne@baw.de

Laufzeit:

2019 bis 2025

Uelzen I konnte nach etwa dreijährigem Stillstand trotz bekannter Schäden ohne auffällige Blockverformungen für circa einen Monat wieder in Betrieb genommen werden (Bild 1). Aufgrund langer Planungs- und Bauzeiten bei Instandsetzungen und Ersatzneubauten wird diese Möglichkeit in den nächsten Jahren erheblich an Bedeutung gewinnen.

Darüber hinaus ist zukünftig auch eine Verwendung der Ergebnisse von Monitoringanlagen zur Planung zustandsorientierter Instandhaltungsmaßnahmen denkbar.

3 Untersuchungsmethoden

Bauwerk

Durch eine systematische Auswertung der in WSVPruf dokumentierten Schäden nach der Relevanz für die Tragfähigkeit können Erkenntnisse über das Tragverhalten eines Bauwerkes gewonnen werden. Bauwerke bzw. Bauteile mit bekannten rechnerischen Defiziten werden dabei besonders betrachtet. Falls vorhergehende Messungen verfügbar sind, werden auffällige Entwicklungstendenzen ausgewertet, um die potenzielle Versagensart zu plausibilisieren. Weiterhin werden Berechnungsmodelle an den Messergebnissen kalibriert und verifiziert.

Sensorik

Unter kontrollierbaren Quasilabor-Randbedingungen werden die gängigen und geeigneten Messeinrichtungen u. a. auf Messgenauigkeit und -unsicherheit, Langzeitstabilität sowie Empfindlichkeit gegenüber Rauschen und anderen Phänomenen erprobt und geprüft. Die Einflüsse auf die Messgenauigkeit, die aus den verwendeten Befestigungssystemen resultieren, werden zusätzlich betrachtet. Die notwendige Redundanz (Sicherheit des Messsystems) leitet sich aus den Langzeitbeobachtungen ab.

Datenanalyse

Die Kernkomponente eines SHM ist die Auswertung der erfassten Daten. Auswertungsabläufe wie z. B. die Bereinigung und bei mehrfach überlagerten Messreihen die Trennung in Kurzzeitverformungen (betriebsbedingt, tagestemperaturbedingt) und Langzeitverformungen (bleibende Verformungen, jahrestemperaturbedingt) werden standardisiert. Durch multiple Regressionsanalysen lassen sich die zu erwartenden Verformungen als Funktion mehrerer Variablen ermitteln und als dynamische Alarmwerte festlegen.

4 Ergebnisse

Bisher konnte anhand einer Literaturrecherche Erkenntnisse über den Stand der Technik für die Bereiche des SHMs und der zugehörigen Sensorik gewonnen werden. Ein Konzept für einen Prüfstand zur Ermittlung der Langzeitstabilität potentieller Sensoren für Wasserbauwerke wird entwickelt. Weiterhin werden die Datenauswertung sowie die Sensoren laufender Monitoringprojekte wie beispielsweise an der Schleuse Hessigheim auf ihre Eignung hin untersucht.

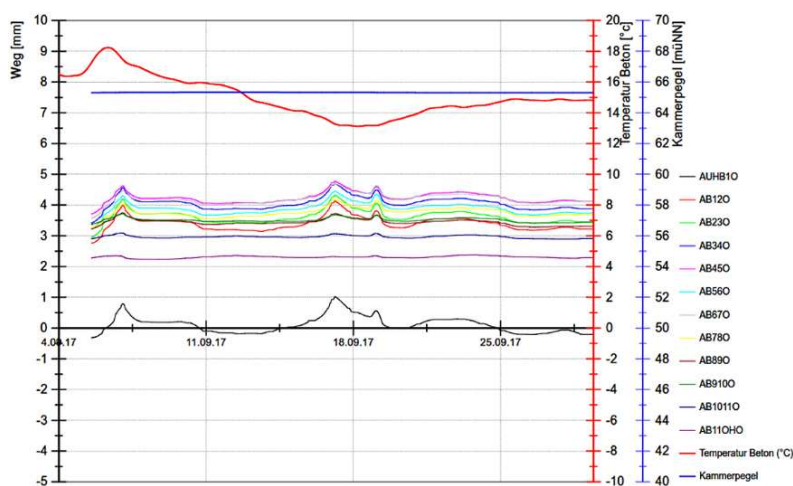


Bild 1: Blockverformungen infolge einer befristeten Inbetriebnahme der Schleuse Uelzen I im September 2017.

Literatur:

Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2016): BAWMerkblatt Bewertung der Tragfähigkeit bestehender, massiver Wasserbauwerke (TbW). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien).



Entwicklung eines Bemessungskonzeptes für den Nachweis der Tragfähigkeit von Schlauchwehrmembranen

1 Aufgabenstellung und Ziel

Wurden in der Vergangenheit fast ausschließlich Wehrverschlüsse aus Stahl eingesetzt, stellt sich das Schlauchwehr unter bestimmten Randbedingungen als Alternative dar (Gebhardt 2006). Ferner zeichnet sich ab, dass auch dieser Verschlussstyp als ein Standard für künftige Neubaumaßnahmen von Wehranlagen der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) festgelegt wird.

Bislang gibt es weltweit keine einheitliche Methodik bei der Bemessung von Schlauchmembranen oder Normen, in denen das Sicherheitsniveau (z. B. Sicherheitsbeiwerte, Degradationsfaktoren) festgelegt wird. Eine Ausnahme ist Japan, wo es eine Richtlinie zur Planung von Schlauchwehren gibt, ohne dabei im Detail auf die Bemessung einzugehen. Da in Deutschland kein einheitliches Bemessungskonzept für Schlauchwehre existiert, wäre eigentlich eine Zustimmung im Einzelfall für jeden Neubau erforderlich. Dies hätte u. a. gegebenenfalls unterschiedliche Sicherheitsniveaus zur Folge.

Ziel des FuE-Vorhabens ist es, für die zur Anwendung geeigneten Membranen und deren Steifigkeitsparameter eine möglichst realitätsnahe Beanspruchungsermittlung durchzuführen. Anschließend soll ein eurocodekonformes Bemessungskonzept für Schlauchwehrmembranen entwickelt werden.

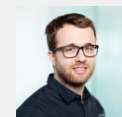
2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Die WSV wird zukünftig alte Wehranlagen durch neue ersetzen müssen. Dabei wird es auch zur Planung und Ausführung von Schlauchwehren kommen (z. B. Wehr Beihingen, Wehr Obernau, Wehr Neckarsulm und weitere an der Lahn). Um ein ausreichendes und einheitliches Sicherheitsniveau an den Anlagen der WSV zu erhalten und die Planungs- und Genehmigungsverfahren zu vereinfachen, ist das Vorhandensein eines Bemessungskonzeptes für den Nachweis der Tragfähigkeit von Schlauchwehrmembranen von großer Bedeutung.

Auftragsnummer:

B3951.02.04.70007

Auftragsleitung:



Ralf Gurt
 ralf.gurt@baw.de

Laufzeit:

2014 bis 2021

3 Untersuchungsmethoden

Die zur Anwendung kommenden Schlauchwehrmembranen weisen ein nichtlineares, anisotropes Materialverhalten auf. Kraft-Verformungskurven aus Materialversuchen sind Voraussetzungen zur Bestimmung der Steifigkeitsparameter für die Materialgesetze in der Simulation. Neben den Zug- und Druckversuchen sind gegebenenfalls ergänzende biaxiale Zugversuche zur vollständigen Ermittlung der Simulationsparameter notwendig. Anschließend werden numerische Simulationen der Beanspruchungszustände von Schlauchmembranen mithilfe der Finiten-Elemente-Methode durchgeführt. Dabei kommen kommerzielle Programme zum Einsatz, die entsprechend große Verformungen und Nichtlinearitäten unterstützen. Materialgesetze, Belastungen und Kontakteigenschaften werden hier für die Berechnung hinterlegt. Relevante Spannungen werden ausgewertet und zur Bestimmung von Spannungskonzentrationen verwendet. Naturmessungen können (zur Verifizierung einzelner Ergebnisse) gegebenenfalls herangezogen werden.

4 Ergebnisse

Die Schlauchmembrane besteht aus elastomerbeschichteten Geweben. Die Gewebelinien aus Polyester oder Polyamid können nur auf Zug belastet werden. Der Beschichtungstoff (beispielsweise EPDM) ist vergleichsweise zugschlaff und dient hauptsächlich zum Schutz der Gewebelinien und zum Abdichten des Schlauchvolumens. Diese werden als Deckschichten bezeichnet. Die Inkompressibilität der Elastomere ($\nu \approx 0,5$) führt jedoch zur Aufnahme von Druckspannungen in den Deckschichten. Somit kann sich im Falten- und Auflagerbereich – ähnlich wie beim Stahlbeton – ein Kräftepaar zwischen den beiden Materialien ausbilden. Daher ist es wichtig, diese Bereiche bei der Modellierung ausreichend genau abzubilden. Hierzu gehört die Unterscheidung zwischen Gewebe- und Elastomerlagen. Erste Untersuchungen mit einem homogenisierten Querschnitt erzielten nicht den gewünschten Erfolg. Aufgrund der höheren Zugsteifigkeit der Gewebe gegenüber dem Elastomer würde sich im verschmierten Zustand eine entsprechend hohe Biegespannung im Gewebe einstellen. Für die Bereiche der Auflagerbedingungen und der Falten nahe den Wangen ist die detaillierte Modellierung besonders wichtig. Daher ist der Aufbau als Verbundwerkstoff mit mehreren Elementlagen das Mittel der Wahl (Gurt et al. 2015).

In Bild 1 ist ein Vergleich einer realen Schlauchfalte mit einer Falte aus der Simulation zu sehen. Es ist gut zu erkennen, dass kaum ein Unterschied feststellbar ist. Mit ausreichender Berechnungsdauer können somit die Spannungen im Bereich der Falten zuverlässig ermittelt werden. Ebenso sind das Betrachten und das Analysieren des Verhaltens der Membrane im Schlauchinneren möglich.

Im Oktober 2019 wurde das BAWMerkblatt „Schlauchwehre (MSW) – Teil B: Nachweis der Tragfähigkeit von Membranen wassergefüllter Schlauchwehre an Binnenwasserstraßen“ (Bundesanstalt für Wasserbau 2019) vom BMVI offiziell eingeführt. Dieses beinhaltet ein Nachweisformat im Grenzzustand der Tragfähigkeit nach DIN EN 1990 (2010). Mit diesem Merkblatt können Neubauten geplant und statisch nachgewiesen werden.

Weitere Teile des Merkblattes werden die hydraulische Bemessung (A), die Materialwahl und -prüfung (C) sowie den Betrieb und die Unterhaltung (D) von Schlauchwehren behandeln. In weiteren numerischen Untersuchungen sollen weitere Klemmsysteme und Befestigungsdetails untersucht werden. Erfahrungen aus den laufenden Neubauprojekten werden ebenfalls in die weitere Forschung eingehen.



Bild 1: Realität und Simulation des Faltenbereichs im Vergleich, Blick von Unterwasser.

Literatur:

DIN EN 1990:2010-12: Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung. Berlin: Beuth-Verlag.

Gebhardt, M. (2006): Hydraulische und statische Bemessung von Schlauchwehren. Karlsruhe: Universität Karlsruhe (TH), Institut für Wasser und Gewässerentwicklung – Bereich Wasserwirtschaft und Kulturtechnik. Dissertation.

Gurt, R.; Deutscher, M.; Gebhardt, M. (2015): Design and Analysis of Reinforced Rubber Membranes for Inflatable Dams. In: Onate, E.; Bletzinger, K.-U.; Kröplin, B. (Hg.) (2015): Structural Membranes: VII International Conference on Textile Composites and Inflatable Structures. Barcelona, S. 306–317.

Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2019): BAWMerkblatt Schlauchwehre (MSW). Teil B: Nachweis der Tragfähigkeit von Membranen wassergefüllter Schlauchwehre an Binnenwasserstraßen. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien).



Bemessung galvanischer Anoden im Stahlwasserbau

1 Aufgabenstellung und Ziel

Galvanische Anoden ergänzen oder ersetzen Fremdstromanlagen in vielen Bereichen des Stahlwasserbaus. Dabei sind die Auswirkungen, im Unterschied zu Fremdstromanlagen, nicht unmittelbar überprüfbar. Dies gilt besonders für das Erreichen des gewollten Schutzzieles der Potenzialabsenkung sowie für den Ablauf der elektrochemischen Reaktionen an der Oberfläche des jeweiligen Anoden- und Kathodenmetalls im Gewässer. Das heißt, dass z. B. auf der Kathodenseite Überschutz zu Störeinflüssen (kathodische Delamination und Blasenbildung) an der Korrosionsschutzbeschichtung führen und durch Nebenreaktionen eine gefährliche Wasserstoffentwicklung einleiten könnte. Andererseits ist auf der Anodenseite sowohl eine übermäßige Eigenkorrosion als auch ein inertes, stromloses Verhalten der Anoden wegen der Gefahr der Passivierung zu vermeiden.

In diesem Projekt sollen elektrochemische Messmethoden zur Bemessung von galvanischen Anoden in für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) charakteristischen Gewässern hinsichtlich

- einer konkreteren Aussage über Dimensionierung, Anbringung und Verbrauch der galvanischen Anoden,
- der Funktionssicherheit beim Kathodischen Korrosionsschutz mit galvanischen Anoden in Verbindung mit Korrosionsschutzbeschichtungen,
- der Erfassung und Charakterisierung möglicher Nebenreaktionen an der Anodenoberfläche sowie
- Möglichkeiten der Funktionskontrolle und Verbrauchsüberwachung

untersucht werden.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Im Bereich der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) werden an Stahlwasserbauten etwa 400 Kathodische Korrosionsschutzanlagen (KKS) betrieben. Ein Teil dieser KKS-Anlagen basiert auf dem galvanischen Prinzip der Metallauflösung im Wasser, wodurch diese Stahlbauwerke temporär vor der Korrosion geschützt werden. Für die Auslegung

Auftragsnummer:

B3951.02.04.70008

Auftragsleitung:



Dr. Matthias Schmid
 matthias.schmid@baw.de

Laufzeit:

2016 bis 2021

von KKS-Anlagen gilt das BAWMerkblatt „Kathodischer Korrosionsschutz im Stahlwasserbau“ (MKKS) (Binder 2015). Der hierin wiedergegebene Stand der Technik liefert allerdings keine Aussage über die Varianz der angegebenen Werte, z. B. für den praktischen Energieinhalt von Anoden und für Schutzstromdichten. Die hier vorgestellte Untersuchung soll daher das tatsächliche Verhalten von Anoden in Grenzfällen aufzeigen und so der Sicherstellung und Effektivierung des Einsatzes galvanischer Anoden dienen.

3 Untersuchungsmethoden

Es werden Versuche im Labor- und Technikumsmaßstab zur Parameterstudie durchgeführt (Bild 1). Hierbei werden die Gewässerparameter wie Leitfähigkeit, Salzkonzentration und Sauerstoffsättigung variiert. Weiterhin erfolgt auch eine Variation der eingesetzten Schutzstromdichten. Eine spätere Umsetzung auf tatsächlich zu schützende Bauwerke ist vorgesehen. Die drei Anodenmetalle Magnesium, Aluminium und Zink bzw. die typischerweise verwendeten Legierungen werden in den jeweils zur Anwendung vorgesehenen Gewässertypen auf ihr Auflöse- bzw. Passivierungsverhalten und die dabei durch den Schutzstrom freigesetzte Ladungsmenge getestet. Der fließende Schutzstrom (indirekt auch die lokale Stromdichte) und das jeweilige Anodenpotential werden durch Messungen mit einem Potentiostaten erfasst und untersucht.

Ein wichtiger Baustein ist die Ermittlung eines Wirkungsgrads des jeweiligen Anodenmetalls unter den gegebenen Gewässerbedingungen durch Vergleich der tatsächlichen und der theoretischen Schutzstrommenge.

4 Ergebnisse

Der praktische Energiegehalt von Magnesiumanoden wurde in Laborversuchen mit unterschiedlichen Stromdichten ermittelt. Erste Auswertungen zeigen, dass der angesetzte Literaturwert zumindest unter den Versuchsbedingungen als konservativ betrachtet werden kann. Für eine abschließende Aussage sind mehr Versuche, auch unter anderen Versuchsbedingungen, insbesondere Strömungsbedingungen, notwendig.

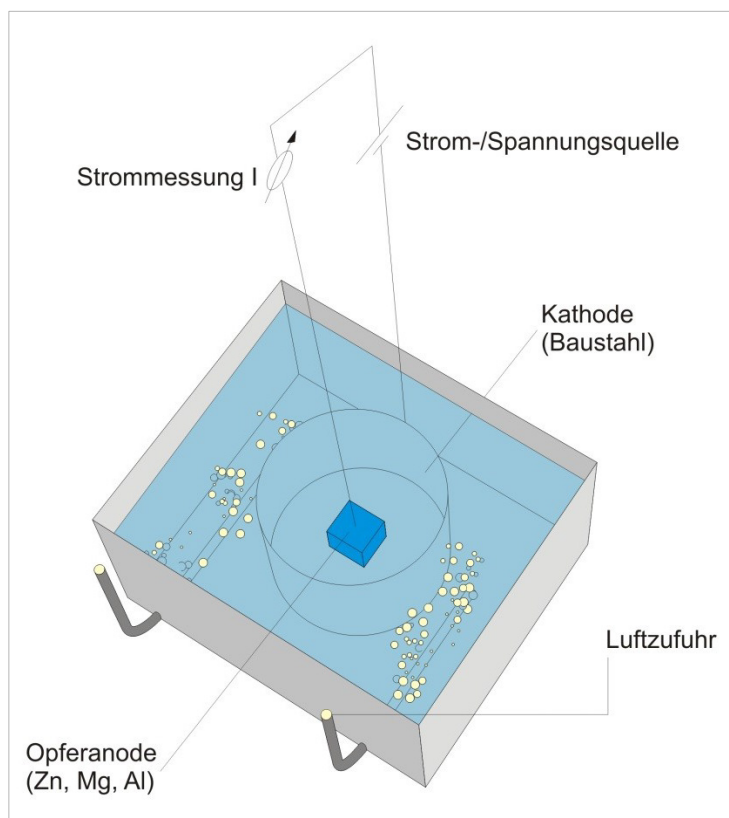


Bild 1: Schematische Zeichnung des Versuchsaufbaus.

Literatur:

Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2011): BAWMerkblatt Kathodischer Korrosionsschutz im Stahlwasserbau (MKKS). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien).



Mikrobiell induzierte Korrosion

Ermittlung von Ursachen, Nachweismöglichkeiten und Vorhersage

1 Aufgabenstellung und Ziel

In den vergangenen Jahren konnte eine Reihe von ungewöhnlichen Schadensfällen an Stahlwasserbauwerken beobachtet werden. Diesen Fällen war gemein, dass sie auf einen verstärkten lokalen Korrosionsangriff zurückzuführen sind, welcher durch die Einwirkung von Mikroorganismen hervorgerufen wurde. Diese sogenannte mikrobiell induzierte Korrosion (MIC) konnte z. B. am Rhein-Herne-Kanal an Spundwänden aus den 1970er Jahren nachgewiesen werden. Hier konnte eine beschleunigte Korrosion der Spundwände mit lokal vollständigen Durchrostungen festgestellt werden, die partiell zu einem Funktionsverlust führte und eine Instandsetzung zwingend erforderlich machte.

Aus den an diesem Beispiel und früheren Fällen generierten Beobachtungen und Daten ergibt sich das Bild eines bisher schwer vorhersagbaren Phänomens mit einer lokal potentiell großen Schadenswirkung.

In diesem Forschungsvorhaben sollen die auslösenden bzw. begünstigenden Faktoren, die Wechselwirkung von MIC und klassischen Korrosionsschutzstrategien und die möglichen Folgen von MIC untersucht werden. Hierzu sollen Untersuchungen an bekannten geschädigten Bauwerken und Laborversuche durchgeführt werden. Für die Laborversuche ist geplant, Bakterienkulturen zu verwenden, die bereits aus früheren Schadensfällen in der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) gewonnen wurden.

Aus den Versuchen soll ein Konzept zur Risikobewertung von Standorten und eine Strategie zum Nachweis und zur Sanierung von Schäden durch MIC abgeleitet werden.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Die WSV besitzt entlang der von ihr betreuten Wasserstraßen eine Vielzahl an Spundwänden als Kammerwände in Schleusen und zur Uferbefestigung in Vorhäfen sowie entlang von Kanälen. Da MIC zu einer vorzeitigen Schädigung von Stahlwasserbauwerken führen kann, welche in vielen Fällen erst spät

Auftragsnummer:

B3951.02.04.70010

Auftragsleitung:



Sven-Erik Wulf
 sven-erik.wulf@baw.de

Laufzeit:

2018 bis 2021

erkannt wird, ist eine verbesserte Vorhersage/Identifikation der Materialschädigung an potentiell durch MIC gefährdeten Standorten wünschenswert und von großem wirtschaftlichem Interesse.

3 Untersuchungsmethoden

Derzeit wird die nationale sowie die internationale Fachliteratur zum Thema der mikrobiell induzierten Korrosion intensiv gesichtet (z. B. Little und Lee 2014; Little et al. 2020). Hierbei scheint eine Fokussierung auf in der Fachliteratur dokumentierte Schadensfälle sinnvoll. Aus dieser Literaturrecherche heraus ist es Ziel, Parameter abzuleiten, welche für das Auftreten mikrobiell induzierter Korrosion von Stahlwasserbauwerken dominant sein können. Hier werden derzeit Begehungen von aktuellen und bereits bekannten Schadensfällen mit einer genaueren Beprobung der Standorte durchgeführt, um Lücken in den Messdaten zu schließen bzw. neue aus der Literaturrecherche abgeleitete Parameter ebenfalls in die Vorortuntersuchungen einfließen zu lassen. Kontinuierlich werden die bei der Begehung gewonnenen Daten ausgewertet und die genommenen Proben näher charakterisiert, u. a. durch Kohlenstoff/Schwefel-Bestimmung (z. B. zum Nachweis von bakteriellen Stoffwechselprodukten), BAW-Farbreaktion, chemische Analytik von Bodenproben und Korrosionsprodukten. In Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Gewässerkunde (RimiK-Projekt) sollen zukünftig die an diesen beprobten Bauwerken vorgefundenen Bakterienkonsortien genauer charakterisiert werden.

Ein zweiter Aspekt des Forschungsvorhabens betrifft die Durchführung von Laborversuchen, um mikrobielle Korrosionsprozesse unter definierten Bedingungen nachzustellen und zu untersuchen. Hierbei ist vorgesehen, auch neue elektrochemische Messmethoden, z. B. elektrochemische Impedanzspektroskopie, anzuwenden. Bei der Entwicklung der Versuche sollen zukünftig die Erkenntnisse aus den untersuchten Schadensfällen mit einfließen. Beispielsweise können die vor Ort gewonnenen Bakterienkulturen im Modellversuch verwendet werden, um so praxisnahe Korrosionsprozesse im Labor nachstellen zu können. Auf diese Weise können gegebenenfalls Aussagen über die Übertragbarkeit der Ergebnisse vom Laborversuch ins Feld generiert werden.

4 Ergebnisse

Im Zuge von Begehungen von Spundwandbauwerken der WSV zeigt sich bisher an verschiedenen Standorten, dass die mikrobielle Korrosion von einer Vielzahl an Parametern, wie beispielsweise den vorliegenden Umweltgegebenheiten und somit auch den Lebensbedingungen der Mikroorganismen, abhängt. Im Gegensatz zu der in der Vergangenheit vertretenen Auffassung, dass MIC tendenziell gehäuft eher von der Spundwandseite ausgeht (Binder 2003), zeigen die aktuellen Ergebnisse, dass MIC von der Wasserseite ausgehend ein annähernd ebenso häufig auftretendes Korrosionsphänomen und nicht auf Einzelfälle beschränkt ist. Somit kann zwischen einer landseitig und einer wasserseitig durch Mikroorganismen beschleunigten Korrosion unterschieden werden. Dabei ist die landseitig verlaufende MIC in vielen Fällen durch anstehendes (Grund-) Wasser und inhomogene Hinterfüllungen charakterisiert, wodurch sich ein wachstumsförderndes Milieu (anaerobe Bedingungen und ausreichende Nährstoffe) an den Spundwandrückseiten etablieren kann. Im Gegensatz dazu ist die wasserseitige MIC geprägt durch voluminöse oft rostbraune tuberkelförmige Korrosionsprodukte in dauerfeuchten Bereichen der betroffenen Stahlwasserbauwerke (Wasserwechsel- und Unterwasserzone). Darunterliegend sind flächig auftretende, z. T. dicke, schwarze sulfidhaltige Schichten (Bild 1) feststellbar, unter denen lokale, teils auch flächige anodische Bereiche der aktiven Stahlauflösung vorliegen.

In ersten Auslagerungsversuchen des zweiten Projektaspekts in mit Bakterien von alten und neuen Schadensfällen beimpften Nährmedien zeigt sich, dass sich die ermittelten Abrostungsraten in Abhängigkeit des Ursprungsortes der Bakterien (beprobte Standorte) unterscheiden. Dies deutet auf einen starken Einfluss des jeweils vor Ort vorhandenen Bakterienkonsortiums hin.



Bild 1: Dicke sulfidische Ablagerungen unter einer auffälligen Rosttuberkel im tidebeeinflussten Bereich einer Spundwand.

Literatur:

Little, B. J.; Lee, J. S. (2014): Microbiologically influenced corrosion: an update. In: *International Materials Reviews* 59, 384–393.

Little, B. J.; Blackwood, D. J.; Hinks, J.; Lauro, F. M.; Marsili, E.; Okamoto, A.; Rice, S. A.; Wade, S. A.; Flemming, H.-C. (2020): Microbially influenced corrosion – Any progress?. In: *Corrosion Science* 170, 108641.

Binder, G. (2003): 568 - B – Mikrobiell induzierte Korrosion an Spundwänden aus Stahl – Strategien zur Vermeidung. In: *BAW-Brief 01/2003*. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau,



Ermittlung der Systemtragfähigkeit unter Berücksichtigung von Schädigungsgraden an Stahlwasserbauten

1 Aufgabenstellung und Ziel

Die normative Nachweisführung für Stahlwasserbauten ist auf die Bemessung von Neubauten ausgerichtet (vgl. DIN 19704). Die Sicherheit des Bauwerks wird u. a. über die Tragfähigkeitsnachweise der einzelnen Bauteile des Tragwerks und die Einhaltung konstruktiver Regeln gewährleistet. Darüber hinaus ergeben sich je nach Konstruktionsweise Möglichkeiten zur Lastumlagerung zwischen den Bauteilen, die die Systemtragfähigkeit des Tragwerks bestimmen. Je robuster das Bauwerk gestaltet ist, desto weniger Einfluss hat ein lokaler Schaden auf die Beanspruchbarkeit des gesamten Tragwerks. Im Verfahren zur Zustandsbewertung von Bauwerken an den Bundeswasserstraßen wird diesbezüglich zwischen Haupttragelementen und sekundären Bauteilen unterschieden. Während Schäden an Haupttragelementen die Beanspruchbarkeit des gesamten Bauwerks beeinflussen, beeinträchtigt das Versagen von sekundären Bauteilen lediglich lokal begrenzte Bereiche. Ziel der Ermittlung der Systemtragfähigkeit ist die Identifizierung der Haupttragelemente eines Bauwerks, deren Beschädigung weitreichende Konsequenzen für die Beanspruchbarkeit des Bauwerks hat. Mit Kenntnis über die Auswirkungen der Schäden an den Haupttragelementen sind im Rahmen einer Bauwerksbewertung Aussagen über das gesamte Bauwerk möglich.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Durch die Ermittlung der Systemtragfähigkeit in Abhängigkeit der betroffenen Bauteile lassen sich die Bereiche eines Bauwerks identifizieren, die besonders wichtig für die Tragfähigkeit des Bauwerks sind. Im Rahmen einer Bauwerksinspektion wird durch dieses Wissen die Entscheidungsfindung hinsichtlich des Inspektionsumfangs und der Schadensbewertung erleichtert. Durch die Bereitstellung der entwickelten Methodik zur Ermittlung der Systemtragfähigkeit können beauftragte Dritte aussagekräftige Bewertungen von Bestandsbauwerken liefern.

Auftragsnummer:

B3951.02.04.70011

Auftragsleitung:



Andreas Paneka
 andreas.panenka@baw.de

Laufzeit:

2019 bis 2022

3 Untersuchungsmethoden

Die Systemtragfähigkeit wird mithilfe von kalibrierten, numerischen Berechnungsmodellen bestimmt. Ausgehend von den Einzelnachweisen an den Bauteilen ermöglicht die schrittweise Steigerung der Modellkomplexität eine realitätsnahe Einschätzung der Systemtragfähigkeit und deren Auswirkung auf die Beanspruchbarkeit eines Bauwerks. Aus einer Variantenstudie werden die maßgebenden Parameter und der Schädigungseinfluss auf die Systemtragfähigkeit ermittelt. Als Vergleichsgröße für die Beanspruchbarkeit wird der Laststeigerungsfaktor bis zum Erreichen eines Versagensmechanismus herangezogen. Je weniger die Last unter Berücksichtigung einer Schädigung gesteigert werden kann, desto geringer ist diesbezüglich die Robustheit des Tragwerks. Untersucht werden die Auswirkungen von geometrischen Abweichungen von der planmäßigen Form und Querschnittsverluste infolge von Korrosion oder Abrasion. In der numerischen Berechnung kommt das Bogenlängenverfahren zum Einsatz, das für das Erfassen des Nachbeulverhaltens von Bauteilen geeignet ist. Darüber hinaus wird die Anwendung probabilistischer Verfahren zur Bestimmung der Versagenswahrscheinlichkeit als Kennwert der Systemtragfähigkeit am Beispiel von Wehrwalzen erörtert.

4 Ergebnisse

Unter ruhender Belastung wird die Tragfähigkeit eines Bauteils durch die Festigkeit im maßgebenden Querschnitt und die Stabilität von druckbelasteten Querschnittsteilen begrenzt. Die Beanspruchbarkeit eines einzelnen Bauteils hängt u. a. von dessen Schlankheit ab. Je schlanker ein Bauteil ist, desto geringer fällt der zulässige Auslastungsgrad der Festigkeit aus. Berechnungsmodelle für die Systemtragfähigkeit müssen demnach sämtliche Einflussgrößen berücksichtigen, die für beide Grenzzustände maßgebend sind. Neben geometrischer und materieller Nichtlinearität gehören dazu auch geometrische und strukturelle Imperfektionen, die in der Regel mittels geometrischer Ersatzimperfektionen im Berechnungsmodell berücksichtigt werden (vgl. Schneider 2006). Anders als in den numerischen Analysen von Stabtragwerken und plattenförmigen Bauteilen führen bei Schalentragwerken die normativen Vorgaben bezüglich der Identifikation geeigneter geometrischer Ersatzimperfektionen zu einer umfangreichen Parameterstudie, in der die maßgebende Kombination aus Imperfektionsform und deren Amplitude und Richtung ermittelt werden muss (vgl. Rotter 2018). Eine abschließende Kalibrierung stellt die Zulässigkeit der Modellannahmen sicher und schränkt die Wahl der Eingangsgrößen auf die Kombinationen ein, die zu realistischen Ergebnissen führen.

Erste Vergleiche zwischen einem vereinfachten Berechnungsmodell einer Wehrwalze und den aus der Literatur entnommenen Ergebnissen physikalischer Versuche an längsversteiften Zylinderschalen mit ähnlichen geometrischen Kennwerten zeigen die starke Abhängigkeit der Berechnungsergebnisse von den Eingangsgrößen und verdeutlichen dadurch die Notwendigkeit einer Kalibrierung. Bezogen auf das Ergebnis des algebraischen Nachweises, der einen unteren Grenzwert der Beanspruchbarkeit des Bauteils ermittelt, erreichen die kalibrierten numerischen Berechnungen an einem stark vereinfachten Teilschalenmodell des maßgebenden Beulfelds sowie an einem komplexeren Modell des gesamten Querschnitts des Walzenkörpers deutlich höhere Lastfaktoren (Bild 1). Eine vereinfachte Untersuchung der Systemtragfähigkeit zweier Wehrwalzen mithilfe von probabilistischen Methoden bestätigen darüber hinaus die Vermutungen, dass diese Verschussart trotz ihres im Durchschnitt hohen Alters erhebliche Sicherheitsreserven aufweist. Dies spricht für eine hohe Schadenstoleranz des Bauwerktyps.

Auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse lassen sich die Auswirkungen von Schäden durch die gezielte Abänderung der Eingangsgrößen der kalibrierten Modelle untersuchen. Die dafür notwendige Parameterstudie soll weitestgehend automatisiert ablaufen (vgl. Sadowski et al. 2017).

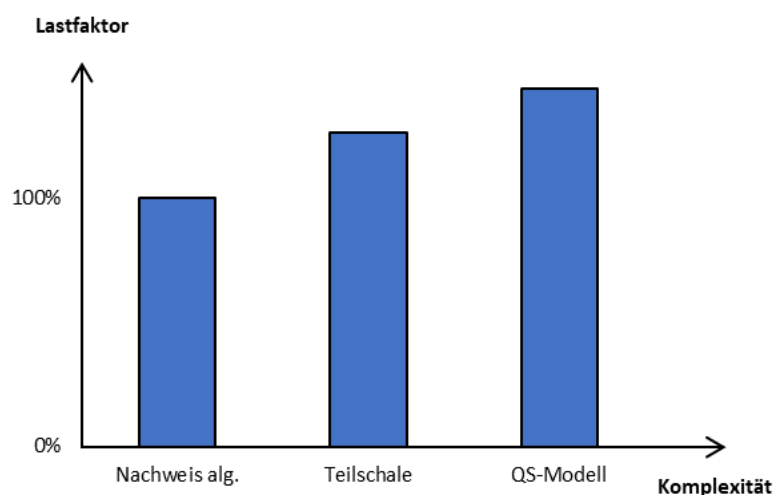


Bild 1: Mit steigender Komplexität des Berechnungsmodells wird die Beanspruchbarkeit eines Bauwerks genauer ermittelt.

Literatur:

Rotter, J. Michael (2018): Challenges and their resolution in both philosophy and process to exploit advanced computation in shell structure design. DOI: 10.1201/9781315166605-5.

Sadowski, Adam J.; Fajuyitan, O. Kunle; Wang, Jie (2017): A computational strategy to establish algebraic parameters for the Reference Resistance Design of metal shell structures. DOI: 10.1016/j.advengsoft.2017.02.012.

Schneider, Werner (2006): Ersatzimperfektionen für den numerischen Beulsicherheitsnachweis stählerner Schalentragwerke – State of the Art. DOI: 10.1002/stab.200610081.



Frostwiderstand zementgebundener Baustoffe

1 Aufgabenstellung und Ziel

Angesichts der rasanten technischen Entwicklung auf dem Baustoffsektor und eines grenzüberschreitenden europäischen Marktes wird es zunehmend erforderlich, das auf langjährigen Erfahrungen mit bestimmten Baustoffen und Bauverfahren basierende deskriptive Konzept zur Sicherstellung eines ausreichenden Frostwiderstandes des Betons durch eine direkte Prüfung (performance concept) zu ergänzen. Auf diese Weise soll sichergestellt werden, dass die im Verkehrswasserbau geforderte Nutzungsdauer von 100 Jahren auch mit ausreichender Wahrscheinlichkeit erreicht wird. Von maßgeblicher Bedeutung für die Intensität eines Frostangriffes auf Beton und damit auch für Prüfverfahren und Abnahmekriterien sind die Temperaturbeanspruchung und der Wassersättigungsgrad des Betons am jeweiligen Verwendungsort. Über die Größenordnung beider Parameter im Bauwerk lagen bislang kaum Informationen vor. Die Zielsetzungen des Vorhabens lauten wie folgt:

- Verifizierung der Frostprüfung gemäß ZTV-W LB 219 (heute: BAW-Merkblatt „Frostprüfung von Beton“)
- Ermittlung der tatsächlichen Temperaturbeanspruchung und des Wassersättigungsgrades im Beton von Verkehrswasserbauwerken über die Durchführung von Langzeitmessungen
- Unterstützung der Aktivitäten der Arbeitsgruppe "Übertragbarkeit von Frost-Laborprüfungen auf Praxisverhältnisse" des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb) (Siebel et al. 2005)

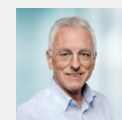
2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Verkehrswasserbauwerke unterliegen aufgrund ihrer direkten Beaufschlagung mit Süß- bzw. Meerwasser in Verbindung mit einer großen Anzahl von Frost-Tau-Wechseln infolge von betriebs- und/oder gezeitenbedingten Wasserstandsänderungen einer besonders intensiven Frostbeanspruchung. Der zielsicheren Vermeidung von Betonen mit unzureichendem Frostwiderstand kommt im Verkehrswasserbau angesichts der eingesetzten Betonkubaturen und im Hinblick auf die Vermeidung instandsetzungsbedingter Schifffahrtsunterbrechungen eine erhebliche Bedeutung zu.

Auftragsnummer:

B3951.03.04.08099

Auftragsleitung:



Andreas Westendarp
andreas.westendarp@baw.de

Auftragsbearbeitung:

Dr. Frank Spörel
frank.spoerel@baw.de

Laufzeit:

1998 bis 2021

3 Untersuchungsmethoden

Die Bestimmung des Frostwiderstands und weiterer Parameter, insbesondere zur Porenstruktur des Zementsteins, erfolgte an Betonen aus bestehenden Bauwerken sowie an gesondert hergestellten, im Labor bzw. an Bauwerken ausgelagerten Betonprobekörpern. Die Ermittlung der Temperaturbeanspruchung und des Sättigungsgrades von Beton in Schleusenbauwerken erfolgt über Langzeitmessungen über mehrere Jahre hinweg mittels Temperatursensoren und Multiring-Elektroden an mehreren Bauwerken.

4 Ergebnisse

Die Untersuchungen zu den Schritten a) und b) gemäß Kapitel 1 haben zur Entwicklung des heute gültigen BAW-Merkblattes „Frostprüfung von Beton“ geführt. Derzeit noch laufende Auslagerungsversuche von Betonen dienen zur Erfassung von Schädigungen infolge von Frosteinwirkung unter Praxisbedingungen im Vergleich zur Schnellprüfung mittels CIF-Test. Messaufnehmer für die Bestimmung von Temperaturen und Sättigungsgraden wurden in einer Kammerwand der Doppelschleuse Hohenwarthe sowie in Sparbeckenwänden der Schleuse Hilpoltstein installiert (Westendarp 2009, Spörel et al. 2009, Spörel 2010a-d, 2012). Danach sind jahreszeitliche Schwankungen des Sättigungsgrades in den Expositionen mit mäßiger Sättigung (XF1) grundsätzlich wesentlich stärker ausgeprägt als mit hoher Sättigung (XF3). Hohe Sättigungsgrade treten in den Expositionsklassen XF1 und XF2 als seltene Spitzenwerte auf, an die sich in der Regel eine Trocknungsphase anschließt. Bei Bauteilen mit ständigem oder periodischem Wasserkontakt, wie beispielsweise Schleusen im Unterwasser- und im Wasserwechselbereich, ist der Sättigungsgrad des Randbereiches hingegen weitgehend konstant auf hohem Niveau. Im Bereich der Betondeckung treten in der Wasserwechselzone kaum Schwankungen auf, während hier im frei bewitterten Bereich jahreszeitliche Schwankungen auf niedrigerem Niveau vorhanden sind. Hohe Wassersättigungsgrade in Verbindung mit ausgeprägten Temperaturänderungen infolge von betriebsbedingten Wasserstandsänderungen führen bei Verkehrswasserbauwerken zu Frostbeanspruchungen, die für deutsche Gegebenheiten dem pessimalen Bereich zuzuordnen sind. Die Untersuchungsergebnisse wurden im Rahmen einer Dissertation analysiert (Spörel 2013) und ergänzend mit Erkenntnissen zur Schadensausprägung vorgestellt (Spörel 2016). Zur Erweiterung der Datenbasis wurde die 2013 in Betrieb gegangene Schleuse Kersdorf während der Bauphase mit dem gleichen Messsystem wie die Schleusen Hohenwarthe und Hilpoltstein ausgerüstet. Zur Erfassung einer XF3-Beanspruchung an horizontalen Flächen wurde in 2012 eine Betonplatte hergestellt und analog zu den Bauwerksmessungen mit Temperatursensoren und MRE ausgestattet und auf dem Gelände der BAW ausgelagert. Auswertungen zum Elektrolytwiderstand während des CIF-Tests in unterschiedlicher Messtiefe liefern zusätzlich neue Erkenntnisse zu Gefriervorgängen und frostinduzierten tiefenabhängigen Wasseraufnahmen (Spörel 2019) sowie den Zusammenhang zur Entwicklung der durch den relativen dynamischen E-Modul abgebildeten inneren Schädigung des Betons (Bild 1). Diese werden zum Abgleich mit den Vorgängen unter Praxisbedingungen und einer Einordnung der Beanspruchungsintensität herangezogen.

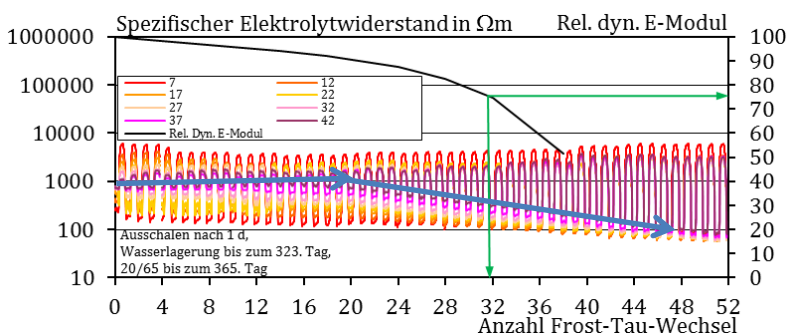


Bild 1: Innere Schädigung, Gefriervorgänge und Wassereindringen in den Prüfkörper während des CIF-Tests.

Literatur:

Siebel, E. et al. (2005): Übertragbarkeit von Frost-Laborprüfungen auf Praxisverhältnisse. Schriftenreihe des Deutsch. Ausschusses für Stahlbeton, Heft 560.

Spörel, F. (2019): Monitoring of the freeze-thaw attack on concrete. In: NTNU Trondheim (Hg.) Workshop Proceedings No. 16. Concrete in Arctic Conditions. S. 75–78.

Spörel, F. (2016): Freeze-thaw attack on concrete structures – laboratory testing, monitoring, practical experience. In: Hasholt, M. T. et al. (ed.) Proc. of the International RILEM Conference on Materials, Systems and Structures in Civil Engineering, Segment on Frost Action in Concrete. Lungby: RILEM publications, S. 151–160.

Spörel, F. (2013): Frostbeanspruchung und Feuchtehaushalt in Betonbauwerken. Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Heft 604.

Spörel, F. (2012): Freeze-thaw attack on concrete structures. Proc. of the 9th fib International PhD Symposium in Civil Engineering, Karlsruhe, S. 667–672.

Spörel, F. (2010a): Bauwerke des Wasserbaus unter Frostbeanspruchung. Frostkolloquium des DAfStb, BAW, BASt, Berlin.

Spörel, F. (2010b): Bauwerksmessungen. Tagungsband, 39. Aachener Baustofftag.

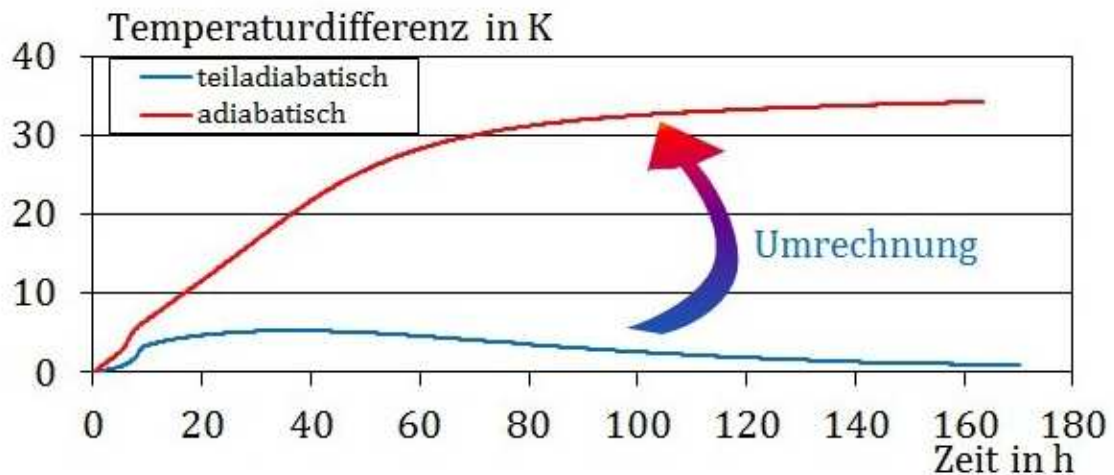
Spörel, F. (2010c): Dauerhaftigkeit Bauwerke: Frostwiderstand zementgebundener Baustoffe. In: Tagungsband BAW-Kolloquium „Forschung und Entwicklung im Küstenverkehrswasserbau“, S. 51–58.

Spörel, F. (2010d): Frostbeanspruchung von Wasserbauwerken am Beispiel der Schleuse Hohenwarthe. VDB Regionalgruppentagung, Rheinfelden.

Spörel, F.; Westendarp, A. (2015): Frostwiderstand von Beton im Verkehrswasserbau. DBV Rundschreiben 244, Ausgabe März 2015, S. 10–12.

Spörel, F.; Westendarp, A.; Brameshuber, W. (2009): Frostbeanspruchung von Schleusenbauwerken. Tagungsband 17. Internationale Baustofftagung ibausil in Weimar, S. 2-735–2-740.

Westendarp, A. (2009): Wasserbauwerke unter Frostbeanspruchung. 6. Symposium „Baustoffe und Bauwerkserhaltung“, Universität Karlsruhe.



Messverfahren Hydratationswärme

1 Aufgabenstellung und Ziel

Die Entwicklung der Hydratationswärme im Beton ist zur Erfassung der daraus resultierenden Zwangsspannungen in massigen Bauteilen von Bedeutung. Die adiabatische Temperaturerhöhung geht als Eingangsparameter direkt in die Zwangsbemessung ein. Daher kommt den Messverfahren zur Erfassung dieses Eingangsparameters eine besondere Bedeutung zu. Zur Bestimmung der Hydratationswärme und der Ableitung der adiabatischen Temperaturerhöhung des Betons stehen zahlreiche Verfahren zur Verfügung. Inwiefern die Ergebnisse der Verfahren miteinander korrelieren, ist nicht bekannt und soll im Rahmen des FuE-Vorhabens untersucht werden. Insbesondere ist dabei der Abgleich zwischen rechnerischen und experimentellen Verfahren von Interesse.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Die Hydratationswärmeentwicklung ist im Bereich der WSV bei einem Großteil der Bauvorhaben von Interesse, da in der Regel massige Bauteile vorhanden sind. Zur Ermittlung der adiabatischen Temperaturerhöhung sieht die ZTV-W LB 215 (2012) neben dem quasiadiabatischen 8-m³-Block weitere Methoden vor, die in der Leistungsbeschreibung festgelegt werden können, wie beispielsweise das adiabatische Betonkalorimeter oder eine rechnerische Ermittlung. Unter bestimmten Randbedingungen, wie zum Beispiel Baumaßnahmen mit geringen Betonkubatoren, wird häufig der Aufwand für den 8-m³-Block diskutiert, alternative Nachweisformate werden in Erwägung gezogen. Einfache Versuche oder Rechenverfahren wären bei entsprechender Eignung insbesondere in diesen Fällen gegebenenfalls eine Alternative.

3 Untersuchungsmethoden

Zur rechnerischen Bestimmung der adiabatischen Temperaturerhöhung von Beton gibt es verschiedene Verfahren. Sie benötigen als wesentlichen Eingangsparameter die Hydratationswärmeentwicklung des Zementes. Diese wird bei der Zementherstellung im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle (WPK) bestimmt. Die Hydratationswärmeentwicklung des Zementes

Auftragsnummer:

B3951.03.04.70004

Auftragsleitung:

Dr. Frank Spörel
frank.spoerel@baw.de

Laufzeit:

2008 bis 2021

kann mit drei verschiedenen Methoden experimentell ermittelt werden. Diese Methoden haben als eigentliche Aufgabe die Klassifizierung der LH-Eigenschaft eines Zementes, also die Kennzeichnung eines Zementes mit niedriger Hydratationswärmeentwicklung. Das Verfahren nach DIN EN 196-8:2010-07, das sogenannte Lösungswärmeverfahren, ist das Referenzverfahren, welches aber kaum noch verbreitet ist. Stattdessen verwenden fast alle Zementhersteller das Verfahren der isothermen Wärmeflusskalorimetrie (DIN EN 196-11:2019-03). Beim weiteren zulässigen Verfahren nach DIN EN 196-9:2010-07 handelt es sich um ein teiladiabatisches Verfahren an einem mit dem zu prüfenden Zement hergestellten Mörtel. Dieses Verfahren ist allerdings in Deutschland kaum verbreitet. Bezüglich der Zusammenhänge der mit unterschiedlichen Verfahren ermittelten Kennwerte bestehen derzeit noch einige Unklarheiten. Dies bedeutet, dass allein aus der Wahl des Verfahrens bereits Streuungen beim wesentlichen Eingangsparameter für die Hydratationswärmeberechnung zu erwarten sind. Zur Einordnung der LH-Eigenschaft ist dies gegebenenfalls ausreichend, zur Berechnung der adiabatischen Temperatur ist dies aber eventuell kritisch zu sehen. Daher wurden Untersuchungen an fünf Zementen und daraus hergestellten Betonen durchgeführt, um die Aussagekraft verschiedener Rechenmethoden zu erfassen.

4 Ergebnisse

Die Untersuchungen wurden im Wesentlichen durch den VDZ in Düsseldorf durchgeführt. Ergänzende Ergebnisse zur adiabatischen Temperaturerhöhung wurden durch die BAW bereitgestellt. In einem Sachstandsbericht zur adiabatischen Temperaturerhöhung von Beton wurden die Erkenntnisse zusammengefasst (Müller et al. 2018). Es erfolgte eine Aufbereitung von Daten zur Hydratationswärmeentwicklung, die mit den oben genannten Prüfverfahren an fünf unterschiedlichen Zementen bestimmt wurden. Die Abweichungen zum Referenzverfahren betragen bis zu etwa 60 J/g. Für die eigentliche Aufgabe der Prüfverfahren – die Einstufung der LH-Eigenschaft – war dies unkritisch, für die Verwendung der Messwerte als Eingangsparameter zur Berechnung der adiabatischen Temperaturerhöhung sind jedoch Einschränkungen zu erwarten.

Die weiteren Untersuchungen haben gezeigt, dass nach derzeitigem Erkenntnisstand die adiabatische Temperaturerhöhung von Beton rechnerisch nur mit großen Unsicherheiten prognostiziert werden kann. Mit einem vereinfachten Rechenansatz konnte die adiabatische Temperaturerhöhung nach sieben Tagen mit annähernd gleichwertiger Genauigkeit wie mit kommerziell erhältlichen komplexen Rechenprogrammen abgeschätzt werden. Ursachen hierfür sind neben Schwankungen aus den Prüfverfahren die für die Berechnungen erforderlichen, auf Basis von Literaturdaten zu treffenden, Annahmen. Diese Annahmen können nur eine Abschätzung sein.

Mit der DIN EN 12390-15:2019-10 ist erstmals eine europäische Norm zur Bestimmung der adiabatischen Temperaturerhöhung von Beton erschienen. Die dort beschriebene Vorgehensweise wurde mit dem adiabatischen Betonkalorimeter der BAW durchgeführt. Bild 1 zeigt den Mittelwert der gemessenen Temperaturerhöhung ΔT_m aus 5 Messungen an einem Beton. Der Variationskoeffizient lag am Ende der Messung bei etwa 3 % und damit in der in DIN EN 12390-15 angegebenen Größenordnung. Adiabatische Kalorimeter nach DIN EN 12390-15 weisen eine Abweichung von der Adiabasie auf, welche in Versuchen bestimmt werden muss. Im Temperaturbereich zwischen 20 und 60 °C ergab sich für das Kalorimeter eine Abweichung von der Adiabasie von etwa $\alpha=0,003$ K/h, welche deutlich geringer als die Mindestanforderung der DIN EN 12390-15 (0,05 K/h) ist. Mithilfe von α sowie der Wärmekapazität des Betons und des Kalorimeters wurde die Eigentemperatur ΔT_{c^*} nach DIN EN 12390-15, Anhang B, berechnet. Diese berücksichtigt Wärmeverluste sowie die Erwärmung der Probe und des Kalorimeters.

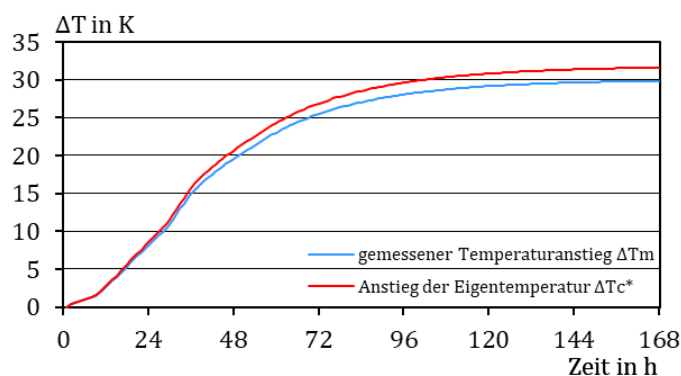


Bild 1: Temperaturerhöhung von Beton nach DIN EN 12390-15.

Literatur:

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hg.) (2012) ZTV-W LB 215: Wasserbauwerke aus Beton und Stahlbeton (Zusätzliche technische Vertragsbedingung – Wasserbau).

DIN EN 196-Reihe: Prüfverfahren für Zement – Teil 8: Hydratationswärme – Lösungsverfahren (2010-07); Teil 9: Hydratationswärme – Teiladiabatisches Verfahren (2010-07); Teil 11 Hydratationswärme – Isotherme.

Wärmeflusskalorimetrie-Verfahren (2019-03). Beuth-Verlag, Berlin.

DIN EN 12390-15:2019-10 Prüfung von Festbeton – Teil 15: Adiabatisches Verfahren zur Bestimmung der Wärme, die während des Erhärtungsprozesses von Beton freigesetzt wird; Deutsche Fassung EN 12390-15:2019.

Müller, C.; Schäffel, P.; Hermerschmidt, W.; Brauer, N.; Ehmke, J. (2018): Sachstandsbericht zur adiabatischen Temperaturerhöhung von Beton. Düsseldorf: VDZ gGmbH.

Forschung Xpress



Betone für Verkehrswasserbauwerke mit Hydroabrasionsbeanspruchung

1 Aufgabenstellung und Ziel

Im Bereich des Verkehrswasserbaus werden Betonoberflächen durch Hydroabrasion in unterschiedlicher Ausprägung beansprucht (Tosbecken, Wehrrücken, Sparbeckenzuläufe, Schleusensohlen, Schleusenkammerwände). Im Betonregelwerk wird zur Beschreibung der Intensität der mechanischen Verschleißbeanspruchung eine Expositionsklasseneinteilung XM1 bis XM3 vorgenommen. Inwiefern die im Wesentlichen aus Verkehr herrührende Expositionsklassensystematik auch die Hydroabrasion angemessen beschreibt, ist oft Gegenstand von Diskussionen. Die Untersuchungen verfolgen daher folgende wesentliche Ziele hinsichtlich der Beschreibung der Einwirkungs- und Widerstandsseite infolge Hydroabrasion:

- a) Erarbeitung einer Klassifizierung für die Hydroabrasionsbeanspruchung analog zu den Expositionsklassen in Zusammenarbeit mit der TU Dresden
- b) Bewertung von Performance-Prüfverfahren hinsichtlich deren Eignung zur Bewertung relevanter Schädigungsmechanismen durch Hydroabrasion
- c) Erarbeitung von Anforderungen an Betonausgangsstoffe und Betonzusammensetzungen für einen hinreichenden Hydroabrasionswiderstand.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Etwa 10 % der Wehranlagen und 5 % der Schleusenbauwerke im Verantwortungsbereich der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) weisen Schäden infolge Hydroabrasion auf, welche die Tragfähigkeit oder Gebrauchstauglichkeit beeinträchtigen (Schadensklassen 3 oder 4) (Spörel et al. 2015). Bei Bauwerken, die einer solchen Beanspruchung ausgesetzt sind, ist es daher von zentraler Bedeutung, Betone oder Betonersatzsysteme einzusetzen, die der Beanspruchung einen ausreichenden Widerstand entgegensetzen. Aufwendige Instandsetzungen sollen damit künftig möglichst vermieden bzw. erforderliche Instandsetzungsmaßnahmen dauerhaft gegenüber dieser Beanspruchung ausgeführt werden.

Auftragsnummer:

B3951.03.04.70008

Auftragsleitung:

Dr. Frank Spörel
 frank.spoerel@baw.de

Laufzeit:

2010 bis 2021

3 Untersuchungsmethoden

Die Erkenntnisgewinne sollen über eine Literatursichtung, theoretische Betrachtungen und Simulationen sowie Bauwerks- und Laboruntersuchungen erfolgen. Im Labormaßstab werden drei für die Simulation einer Beanspruchung aus Hydroabrasion geeignete Prüfverfahren zur Bewertung des Betonwiderstandes herangezogen.

4 Ergebnisse

Die Erarbeitung von Schritt a) ist mit einem Vorlauf zu den Schritten b) und c) in Zusammenarbeit mit der TU Dresden, Institut für Wasserbau, erfolgt (Stamm und Helbig 2016). Erste hydroabrasionsbedingt geschädigte Bauwerke der WSV wurden in die Betrachtungen aufgenommen und 3D-hydrodynamische Simulationen der Fließverhältnisse durchgeführt sowie erste Ansätze zur Klassifizierung der Beanspruchung dargestellt. Ergänzende Betrachtungen wurden im Rahmen einer Masterarbeit in der BAW (Siggelkow 2016) am Beispiel einer Wehranlage mit massiven Schäden angestellt. Insgesamt haben die Untersuchungen in den besonders von Schäden betroffenen Bereichen Fließgeschwindigkeiten zwischen etwa 3 und 7 m/s ergeben. Da die Bewegung des Geschiebes und die zeitliche Verfügbarkeit bei den Simulationen derzeit nicht berücksichtigt werden können, erlauben die Erkenntnisse bislang lediglich eine Beschreibung des Schädigungspotentials infolge der Fließgeschwindigkeiten.

Schritt b) wurde im Baustofflabor der BAW mit drei Laborprüfverfahren begonnen. Zur Beschreibung und Bewertung der Einwirkungsintensität der Prüfeinrichtungen wurde unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus Schritt a) eine Masterarbeit durchgeführt (Ullrich 2016). Wesentliche Erkenntnis dieser Untersuchungen war, dass die Prüfverfahren trotz deutlich unterschiedlicher Einwirkungsintensität Unterschiede der Betonqualität gleichermaßen abbilden und differenzieren können. Weiterhin zeigten die Untersuchungen, dass die Anwendung existierender Modelle zur Beschreibung des Fortschritts von Abrasionsschäden unter Einbeziehung der Einwirkungsseite derzeit aufgrund zahlreicher zu treffender Annahmen mit großen Unsicherheiten versehen ist. Darüber hinaus wurde deutlich, dass teilweise Präzisierungen der Prüfandbedingungen erforderlich sind.

Als wesentliches Ergebnis wurde herausgearbeitet (Spörel 2018, Spörel 2019), dass der Mikro-Deval-Koeffizient der Gesteinskörnung einen dominanten Einfluss auf den Widerstand des Betons gegenüber Hydroabrasionseinwirkung hat (siehe Bild 1). Dies war bei allen drei Prüfverfahren trotz der teilweise deutlich unterschiedlichen Beanspruchungsintensität der Fall. Die Druckfestigkeit des Betons, welche wesentlich durch die Zementsteineigenschaften beeinflusst wird, übt ebenfalls einen, wenn auch geringeren Einfluss aus.

$$r_{ha} = \frac{f_c}{MD} \quad (1)$$

r_{ha}	Hydroabrasive resistance parameter
f_c	Druckfestigkeit, nassgelagerte Zylinder, h/d=2 [MPa]
MD	Micro-Deval Koeffizient, DIN EN 1097-1 [M.-%]

Aktuelle Ergebnisse weisen darauf hin, dass eine Kombination aus Eigenschaften der Gesteinskörnung und der Zementsteinmatrix geeignet sein kann, den Abrasionswiderstand zu beschreiben. Gleichung (1) wurde aus den Versuchsergebnissen abgeleitet (Spörel 2019).

Die bislang gewonnenen Erkenntnisse ergänzen aufgeworfene Fragestellungen im Rahmen einer aktuellen, umfangreichen internationalen Übersicht zur Thematik (Omoding et al. 2020).

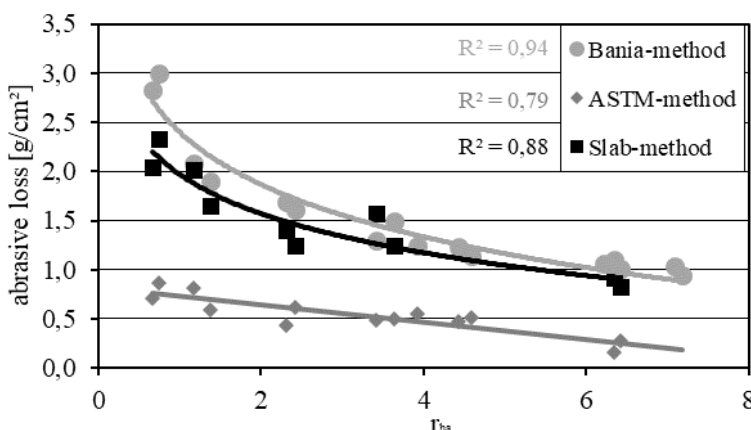


Bild 1: Zusammenhang zwischen r_{ha} und dem Hydroabrasionsverschleiß des Betons (Spörel 2019).

Literatur:

Omoding, N., Cunningham, L. S.: Lane-Serff, G. F.: Review of concrete Resistance to Abrasion by Waterborne Solids. *ACI Materials Journal* 117 (3), 2020, S. 41–52.

Spörel, F. (2018): Hydroabrasive exposure and concrete resistance against abrasion erosion. In: *ACI SP-326 Durability and Sustainability of Concrete Structures (DSCS 2018) – Proceedings 2nd International Workshop*, 75.1–75.10.

Spörel, F. (2019): Influence of Concrete Properties on the resistance against hydroabrasive impact. In: *Proceedings fib Symposium 2019*, S. 1979–1986.

Spörel, F.; Helbig, U.; Westendarp, A.; Stamm, J. (2015): Hydroabrasionsbeanspruchung von Verkehrswasserbauwerken. In: *Bautechnik* 92 (8), S. 538–548.

Stamm, J.; Helbig, U. (2016): Wissenschaftliche Bearbeitung der Einwirkseite hydroabrasiver Belastungen auf Wasserbauwerke – research report 2014/14, TU Dresden.

Uhrner, C. (2017): Einfluss von Sieblinien und Eigenschaften von Gesteinskörnung auf den Betonwiderstand gegenüber Hydroabrasion. Diplomarbeit, TU Dresden.

Ullrich, S. (2016): Bewertung von Performance-Prüfverfahren hinsichtlich deren Eignung zur Beurteilung wasserbaulicher Schädigungsmechanismen durch Hydroabrasion. Masterarbeit, Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft.



Instandsetzung von Schleusenanlagen unter Betrieb (IuB)

1 Aufgabenstellung und Ziel

Die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) verfügt über etwa 260 Schleusenanlagen mit lediglich einer Schleusenkammer. Angesichts der Altersstruktur und des baulichen Zustandes zeichnet sich bei diesen Bauwerken kurz- und mittelfristig ein erheblicher Instandsetzungsbedarf ab, sofern eine weitere mittel- oder langfristige Nutzung der Schleusenanlagen beabsichtigt wird.

Die Durchführung grundlegender Instandsetzungsmaßnahmen am Massiv- oder am Stahlwasserbau bedingt bei Schleusenanlagen mit nur einer Schleusenkammer eine Außerbetriebnahme der gesamten Schleusenanlage und damit eine Unterbrechung zumindest der durchgängigen Schifffahrt auf der zugehörigen Wasserstraße. Für die Grundinstandsetzung des Massivbaus einer Schleusenanlage mit konventionellen Bauverfahren sind selbst unter günstigen Randbedingungen Mindestbauzeiten von etwa zwei erforderlich.

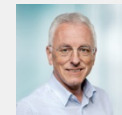
Der Zustand einzelner Schleusenanlagen an einer Wasserstraße differiert selbst bei gleicher oder annähernd gleicher Bauweise und Errichtungszeit stark. Ein unmittelbarer Instandsetzungsbedarf der einzelnen Schleusenanlagen an einer Wasserstraße tritt unter rein technischen Gesichtspunkten im Regelfall zu sehr unterschiedlichen Zeitpunkten auf. Die gleichzeitige, zumindest teilweise prophylaktische Instandsetzung aller Schleusenanlagen an einer Wasserstraße während einer mehrjährigen Gesamtspernung dürfte vor diesem Hintergrund genauso wenig ein akzeptabler Weg sein wie wiederkehrende Unterbrechungen der Schifffahrt immer dann, wenn eine weitere Anlage zur Instandsetzung ansteht. Ein Ersatzneubau einzelner instandsetzungsbedürftiger Schleusenanlagen parallel zum weiterlaufenden Betrieb der vorhandenen Anlage dürfte zwar fallweise, nicht aber bei allen 260 Einkammerschleusen realisierbar sein.

Vor diesem Hintergrund ist die Frage zu beantworten, ob umfassende Instandsetzungsmaßnahmen an Schleusenanlagen zur Sicherstellung einer weiteren mittel- oder langfristigen Nutzung nicht innerhalb bestimmter täglicher Zeitfenster von beispielsweise 12 Stunden, in denen die Schifffahrt kurzzeitig unterbrochen wird, gegebenenfalls in Kombination mit einzelnen mehrwöchigen Schifffahrtssperren, realisiert werden können.

Auftragsnummer:

B3951.03.04.70011

Auftragsleitung:



Andreas Westendarp
andreas.westendarp@baw.de

Auftragsbearbeitung:

Thomas Hesse
thomas.hesse@baw.de
Wladimir Klein
wladimir.klein@baw.de
Dr. Thorsten Reschke
thorsten.reschke@baw.de
Dominik Waleczko
dominik.waleczko@baw.de
Anna Leicht
anna.leicht@baw.de
Marc Schmitz
marc.schmitz@baw.de

Laufzeit:

2014 bis 2022

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Für die Binnenschifffahrt sind immer wiederkehrende längerfristige Unterbrechungen des Verkehrs auf ihren Wasserstraßen nicht akzeptabel. Umfahrungsmöglichkeiten bestehen im Regelfall nicht oder bedingen einen erheblichen wirtschaftlichen Mehraufwand, welcher die Konkurrenzfähigkeit dieses Verkehrsträgers grundsätzlich in Frage stellen würde. Längere Sperrungen würden auch zu Verkehrsverlagerungen führen, die nach Abschluss der Maßnahmen wieder für die Schifffahrt zurückgewonnen werden müssten.

3 Untersuchungsmethoden

Um künftig eine Instandsetzung von Einkammerschleusen unter Betrieb möglich zu machen, müssen die vorliegenden Erkenntnisse auf diesem Themengebiet zusammengetragen und weitergehende Untersuchungen angestellt werden. Dabei ist eine modulare Betrachtung der verschiedenen Bauwerksteile (z. B. Kammerwände, Sohle, Unterhaupt, Oberhaupt) und der im Rahmen der Instandsetzung anfallenden Teilprozesse (z. B. Betonabtrag, Reprofilierung, Austausch Stahlwasserbau, Austausch Ausrüstung etc.) sinnvoll. Hierbei wird die gesamte Bandbreite bauwerks- und standortabhängiger Randbedingungen von Einkammerschleusenanlagen der WSV wie beispielsweise Altbetonqualität, Bewehrungssituation oder Hubhöhe berücksichtigt. Auf dieser Basis wird derzeit ein modulares System mit Instandsetzungslösungen („Modulbaukasten“) für die wesentlichen Bauteile und Randbedingungen bei Einkammerschleusenanlagen entwickelt. Dieses soll der WSV als Informations-, Planungs- und Ausschreibungsbasis (vgl. Waleczko et al. 2019) zur Verfügung gestellt werden.

Die einzelnen Instandsetzungslösungen sollen möglichst bis hin zur Pilotprojektebene bzw. zur Bauausführung realisiert und begleitet werden. Neben theoretischen Betrachtungen, Bauteilversuchen sowie der Begleitung von Instandsetzungsmaßnahmen der WSV und Dritter unter Betrieb, soll im Rahmen eines Pilotprojekts die komplette Grundinstandsetzung einer Schleuse unter Betrieb erfolgen.

Das Gesamtvorhaben wird in Kooperation zwischen der BAW, dem Amt für Neckarausbau Heidelberg (ANH) und dem Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) durchgeführt.

4 Ergebnisse

Bislang sind im Rahmen des Vorhabens nachfolgende Aktivitäten in unterschiedlicher Tiefe (von der grundsätzlichen Machbarkeit bis zur ausgeführten Baumaßnahme) verfolgt worden:

- Erstellung eines Sachstandsberichts, Übersicht über nationale und internationale Projekte
- Analyse der Randbedingungen bei Einkammerschleusenanlagen der WSV (Geometrien, Bauweisen etc.)
- Entwicklung von Konzepten für eine temporäre partielle Trockenlegung von Schleusenammern
- Begleitung der Vorplanung der beauftragten Ingenieurbüros für die Instandsetzung der Schleuse Schwabenheim unter Betrieb
- Begleitung und Gestaltung des „Verfahrensverfahrens“ für die Ausschreibung der Instandsetzung der Schleuse Schwabenheim unter Betrieb
- Begleitung der Planungsaktivitäten zur Instandsetzung der Schleuse Raffelberg unter Betrieb zusammen mit dem Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt (WSA) Duisburg-Meiderich
- Entwicklung einer „Rahmenlösung“ für den Austausch der Betoneinbauteile eines Stemmtores im Rahmen der Instandsetzung der Schleuse Kochendorf zusammen mit dem ANH
- Informationssammlung zu geplanten bzw. ausgeführten Maßnahmen, Integration der Erfahrungen in den Modulbaukasten (u. a. Schleuse Hollage/NBA Hannover, Schleuse Rahe/NLWKN, Toraustausch Mainschleusen/WSA Schweinfurt sowie Schleuse Wusterwitz/WSA Brandenburg)
- Planung und Durchführung von Bauteilversuchen an der rechten Kammer der Doppelschleuse Oberesslingen zur partiellen Trockenlegung und zur Reprofilierung der Kammerwand durch Fertigteile und Ortbetonvorsatzschale in Zusammenarbeit mit dem ANH.
- Aufnahme von internationalen Kontakten zum Austausch von Erfahrungen zum Einschwimmen von Ersatzhäuptern

Der aktuelle Stand der Erkenntnisse und Ergebnisse wurde im Oktober 2017 im Rahmen eines eigenen BAW-Kolloquiums zur Thematik vorgestellt. Die erste Ausgabe des kontinuierlich weiter zu entwickelnden IuB-Modulbaukastens soll ab April 2021 der WSV und der Fachöffentlichkeit auf einer internetbasierten Plattform zur Verfügung gestellt werden.

Literatur:

Tagungsband BAW-Kolloquium 2017 „Instandsetzung von Schleusen unter Betrieb“. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau.

Reschke, T. (2016): Instandsetzung von Schleusen unter Betrieb. In: Tagungsband BAW-Kolloquium 2016 „Instandhaltung von Wasserbauwerken“, S. 69–74. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau.

Waleczko, D.; Haghsheno, S.; Westendarp, A. (2019): Die Bewertung und Auswahl von Instandsetzungsverfahren für Schleusenammerwände unter laufendem Betrieb. In: Tagungsband 6 Kolloquium Erhaltung von Bauwerken. Esslingen: Technische Akademie.



Chemischer Angriff auf Gründungselemente

Betontechnologische Belange

1 Aufgabenstellung und Ziel

Geotechnische Elemente aus Beton, Stahlbeton, Mörtel und Zementsuspension (z. B. Bohr- und Verdrängungspfähle oder Verpressanker) werden häufig bei Tiefgründungen und Verankerungen von Wasserbauwerken eingesetzt. Abhängig vom Einsatzgebiet und von der Beschaffenheit des Baugrundes können sie einem chemischen Angriff durch Böden und Wässer ausgesetzt werden. Die Einwirkung variiert im Wesentlichen mit der Art des angreifenden Stoffes, seiner Konzentration und der Fließgeschwindigkeit der umgebenden Wässer und kann eine treibende oder lösende Korrosion des Baustoffes hervorrufen. Die Widerstandsfähigkeit eines Betons oder Mörtels hängt von den verwendeten Ausgangsstoffen, der Zusammensetzung und den Herstellungsparametern ab. Die Folgen einer Betonkorrosion für die Funktionalität des geotechnischen Elements, wie beispielsweise die Veränderungen der Mantelreibung zwischen Verankerungselement und umgebendem Boden, werden wesentlich von der Wirkungsweise und der Wirkungsintensität des chemischen Angriffs sowie von der Art und der Bauweise des Elementes bestimmt.

Die normativen, derzeit weitgehend deskriptiven Regelungen zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit von Betonbauteilen gegenüber einem chemischen Angriff (DIN EN 206-1, DIN 1045-2) sind im Allgemeinen und insbesondere für die Anwendung im Spezialtiefbau mit folgenden Unsicherheiten und Unklarheiten behaftet:

- Unsicherheiten bei den vorgegebenen Grenzwerten der Konzentration der Stoffe zur Definition und Einteilung der Expositionsklassen XA1 bis XA3,
- Diskrepanzen hinsichtlich der Zielnutzungsdauer (50 Jahre anstatt von 100 Jahren bei Infrastrukturbauwerken),
- Besonderheiten der Gründungselemente in der Herstellungsweise und Tragwirkung,
- Annahme eines vollständigen Erhalts der Betonrandzone während der gesamten Zielnutzungsdauer,
- realitätsnahe Abschätzung der Strömungsgeschwindigkeit des Grundwassers.

Auftragsnummer:

B3951.03.04.70015

Auftragsleitung:



Dr. Amir Rahimi
 amir.rahimi@baw.de

Auftragsbearbeitung:

Falk Wagemann
 falk.wagemann@baw.de
 Hilmar Müller
 hilmar.mueller@baw.de

Laufzeit:

2017 bis 2022

Einheitliche leistungsorientierte Konzepte zur Bewertung des Materialwiderstands von Mörtel oder Beton gegenüber einem chemischen Angriff – allgemein und besonders im Hinblick auf spezifische geotechnische Elemente – existieren nicht. Die vorhandenen Laborprüfverfahren liefern unterschiedliche und zum Teil kontroverse Bewertungen der Betone.

Folgende Ziele werden im Vorhaben verfolgt:

- Erarbeitung von Ansätzen zur Ermittlung der Beschaffenheit geotechnischer Elemente und Bewertung ihres Widerstands gegenüber den möglichen Varianten eines chemischen Angriffs
- Bewertung von Modellen zur Abbildung der verschiedenen Degradationsmechanismen
- Entwicklung von Konzepten zur Bemessung der Dauerhaftigkeit der Gründungselemente gegenüber einem chemischen Angriff
- Erstellung von Konzepten zur Optimierung des Widerstands geotechnischer Elemente gegenüber einem chemischen Angriff inklusive des Aufzeigens der Grenzen (nicht vermeidbare Degradation in Abhängigkeit der unterschiedlichen Einwirkungen)
- Die Ergebnisse des Vorhabens sollen soweit aufbereitet werden, dass eine Umsetzung in die Regelwerke der WSV möglich wird (ZTV-W, eigenes BAW-Merkblatt).

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Die zu entwickelnden Konzepte sollen der WSV eine sichere Bemessung und Bewertung von Gründungselementen, die einer chemischen Beanspruchung durch den Boden und/oder das Grundwasser ausgesetzt sind, ermöglichen. Hierzu ist das Teilvorhaben „Betontechnische Belange“ in das Gesamtvorhaben „Chemischer Angriff auf Gründungselemente“ eingebunden, das sich zudem mit den aus chemischen Substanzen des Grundwassers resultierenden Einwirkungen und der Grenztragfähigkeit geotechnischer Elemente unter chemischem Angriff beschäftigt.

3 Untersuchungsmethoden

Die oben genannten Ziele sollen zum einen durch eine tiefgreifende Auswertung der wissenschaftlichen und baupraktischen Literatur aus dem Bereich der Baustoffforschung, der Bauchemie, der Geotechnik und des Wasserbaus erreicht werden; zum anderen soll ein intensiver Erfahrungsaustausch mit Planern, Beratern und ausführenden Unternehmen erfolgen. Im Einzelfall werden auch rechnerische Simulationen durchgeführt, welche zum Ziel haben, experimentell gewonnene Ergebnisse nachzuvollziehen. Bohrkern an bestehenden geotechnischen Elementen aus Projekten der WSV sollen dabei für genauere Untersuchungen herangezogen werden. Durch Gefügeuntersuchungen sollen wesentliche Parameter der Dauerhaftigkeit ermittelt werden. Neben im Labor hergestellten verpressten Zementsteinproben werden ebenfalls Untersuchungen an Bohrkernen von Bohrpfehlen und Düsenstrahlkörpern vorgenommen. Hier stehen insbesondere die Randbereiche der jeweiligen geotechnischen Elemente im Vordergrund. Des Weiteren sollen Lagerungsversuche in unterschiedlich angreifenden Lösungen Aufschluss über den Widerstand verschiedener zementgebundener Baustoffe gegenüber einem chemischen Angriff liefern. Die Konzentration des Teilvorhabens gilt dabei dem Angriff kalklösender Kohlensäure auf Zementstein. Die Arbeiten erfolgen im Rahmen einer Kooperation mit dem Institut für Baustoffe, Bauphysik und Bauchemie der Technischen Universität Hamburg.

4 Ergebnisse

Um den Einfluss der Herstellweise von Verpressankern auf die verwendeten Zementsuspensionen zu untersuchen, wurden im Laborversuch Zementsuspensionen mit einer Filterpresse unter variierenden Randbedingungen (Verpressdruck, Wasserzementwert) untersucht. Erste Ergebnisse zeigen, dass sich im Bereich des Filterpapiers niedrige Porositäten und ein dichtes Porengefüge einstellen. Je nach eingesetzter Zementart und Partikelgrößenverteilung der Zemente sind diese Effekte infolge des Verpressvorganges unterschiedlich stark ausgeprägt. Für reine Zementsuspensionen ist das Wasserrückhaltevermögen von der Partikelgrößenverteilung abhängig. Die Zugabe von Zusatzmitteln (Fließmittel, Beschleuniger und Einpresshilfe) erhöht das Wasserrückhaltevermögen der Zementsuspensionen. Die Filterkuchenbildung während des Verpressvorganges (vgl. Domes 2015) wirkt sich günstig auf die Porosität im Randbereich aus. Die Porosität des Zementsteins nimmt über die Probenhöhe zum Filterpapier hin ab.

Für Verpresskörper im nichtbindigen Boden lassen sich aus den Untersuchungen niedrige Porositäten im Randbereich bestätigen, aus denen sich ein erhöhter Widerstand gegenüber einem chemischen Angriff ableiten lässt.

Literatur:

Domes, X. (2015): Cement grouting during installation of ground anchors in non-cohesive soils. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology (Dissertation).



Betonstahlkorrosion im Rissbereich von Verkehrswasserbauwerken

1 Aufgabenstellung und Ziel

In den letzten Jahren wurden Korrosionsprozesse an gerissenen Stahlbetonbauteilen im Unterwasserbereich mit Süßwasserbeaufschlagung detektiert, die hier aufgrund der gegebenen Randbedingungen (Sauerstoffmangel) bisher für eher nicht möglich gehalten worden sind. Als Ursache gilt eine Depassivierung der Bewehrung aufgrund des Auslaugens des Betons (Calciumhydroxid) durch die intensive Durchströmung der Risse mit Wasser und die anschließende Ausbildung des kathodischen Teilprozesses an entfernten, gut belüfteten Bauwerksstellen (Oberwasserbereich).

Bei Bauwerken im Küstenbereich stellt sich die Frage, ob angesichts ihrer Bauweise mit fein verteilten Rissen grundsätzlich eine zusätzliche Schutzmaßnahme hinsichtlich der chloridinduzierten Bewehrungskorrosion notwendig ist. Die deutsche Normung (DIN EN 1992-1-1/NA (2015)) sieht vor, bei befahrenen Verkehrsflächen (wie z. B. Parkdecks) mit Chloridbeaufschlagung (Expositionsklasse XD3) besondere Vorkehrungen zu treffen, wie beispielsweise das Anbringen einer rissüberbrückenden Beschichtung, Abdichtung oder eine rissvermeidende Bauweise. Das heißt, dass eine ausreichende Dauerhaftigkeit durch die Betonzusammensetzung und Betondeckung in diesem Fall nicht gegeben ist.

Die beschriebene Korrosionsproblematik ist in vergleichbarer Form auch für verkehrswasserbautypische Instandsetzungsmaßnahmen an Schleusen und Wehranlagen von Relevanz (Korrosionsschutz der Verankerungselemente zwischen Betonvorsatzschale und Altbeton).

Vor diesem Hintergrund sind die grundsätzlichen Möglichkeiten und Grenzen der Stahlbetonbauweise bei Verkehrswasserbauwerken in Bezug auf Rissbildung und Bewehrungskorrosion kritisch zu hinterfragen.

Das Forschungsvorhaben hat zum Ziel, theoretische Ansätze, Prinzipien und Verfahren zur Prognose und Beurteilung der Korrosionsgefährdung von Bewehrungen in Rissen und Verbundebenen von Wasserbauwerken sowie zur vorsorgenden bzw. nachträglichen Sicherstellung des Korrosionsschutzes der Bewehrungen zu erarbeiten. Die Umsetzung der erzielten Ergebnisse erfolgt mit der Erstellung eines Leitfadens für die Phasen:

Auftragsnummer:

B3951.03.04.70016

Auftragsleitung:



Dr. Amir Rahimi
 amir.rahimi@baw.de

Laufzeit:

2017 bis 2020

- Planung von Neubau- und Instandsetzungsmaßnahmen,
- Beurteilung bestehender Bauwerke (Zustandsprognose),
- Wiederherstellung des Korrosionsschutzes der Bewehrungen.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Hinsichtlich neuer und bestehender Wasserbauwerke ist die Frage zu beantworten, inwieweit in bislang als vermeintlich unkritisch angesehenen Bauwerksbereichen standsicherheitsrelevante Korrosionsprozesse auftreten können bzw. gegebenenfalls bereits aufgetreten sind. Im Hinblick auf neu zu errichtende bzw. instand zu setzende Verkehrswasserbauwerke sind bislang als bewährt erachtete Bauweisen kritisch zu hinterfragen.

3 Untersuchungsmethoden

Es werden theoretische Grundlagen für die Korrosionsgefährdung von Bewehrungen in Rissen bzw. Verbundebenen in Abhängigkeit unterschiedlicher wasserbauspezifischer Bauwerkssituationen unter besonderer Berücksichtigung der Phasen „Depassivierung“ und „Verlauf des Korrosionsprozesses nach erfolgter Depassivierung“ erarbeitet, welche durch Laborversuche und Bauwerksuntersuchungen verifiziert werden. Es werden Untersuchungsmethoden zur Prognose bzw. Detektierung von Schadenspotentialen bzw. Schäden ausgearbeitet sowie geeignete Instandsetzungsmaßnahmen zur Wiederherstellung des Korrosionsschutzes der Bewehrungen in Abhängigkeit unterschiedlicher Randbedingungen konzipiert. Darüber hinaus werden konzeptionelle bzw. planerische Ansätze zur Vermeidung korrosionskritischer Situationen bei künftigen Neubau- und Instandsetzungsmaßnahmen entwickelt.

4 Ergebnisse

Derzeit werden mehrere Bestandsbauwerke im Binnen- und Küstenbereich hinsichtlich ihrer Rissbildung, der Rissheilung, des Bewehrungszustands und der Einwirkungssituation untersucht.

Bei der Inspektion einer über 90 Jahre alten Schleuse wurden an mehreren Stellen einer geschädigten Arbeitsfuge im Umlaufkanal freiliegende vertikale Bewehrungsstäbe gefunden, die eine leichte abtragende Korrosion an der Oberfläche aufwiesen und teilweise durchtrennt waren. Das Bruchbild der durchtrennten Stäbe wies ohne eine ausgedehnte Einschnürung des Querschnitts am Bruchufer auf ein eher sprödes Versagen hin.

Die Korrosion der Bewehrung ist auf eine intensive Durchströmung (mit chloridfreiem Wasser) der Risse infolge der Schleusungsvorgänge zurückzuführen, die ein Auslaugen des Betons und damit eine Depassivierung der Bewehrung hervorruft. Mit der anschließenden Ausbildung des kathodischen Teilprozesses an entfernten, gut belüfteten Bauwerksstellen (oberhalb des Wasserstands in der Kammer) wird die Bewehrungskorrosion ausgelöst.

Das Durchtrennen der Bewehrungsstäbe ist möglicherweise die Folge einer kombinierten Einwirkung von mechanischer Beanspruchung und Bewehrungskorrosion. Mit dem Fortschreiten der Bewehrungskorrosion wird das Gefüge der Bewehrung durch Korrosionsmulden und -anrisse geschwächt (Risseinleitung). Gleichzeitig rufen die im jahreszeitlichen Wechsel auftretenden Zwangsbeanspruchungen Dehnungen in der Bewehrung hervor, die den numerischen Berechnungen zufolge über der Streckgrenze liegen können und mit der Zeit zu einer Ausbreitung dieser Korrosionsanrisse bis hin zum Abriss des Bewehrungsquerschnitts (Rissausbreitung) führen würden.



Bild 1: Durchtrennte Bewehrungsstäbe in einer geschädigten Arbeitsfuge des Umlaufkanals einer alten Schleuse (links); Nahaufnahme (rechts).



Instandsetzungssysteme aus textilbewehrten Mörteln und Betonen für Wasserbauwerke

1 Aufgabenstellung und Ziel

Verankerte und bewehrte Vorsatzschalen aus Beton oder Spritzbeton, welche in Dicken von etwa 40 cm (Betonvorsatzschalen) bzw. 15 cm bis 20 cm (Spritzbetonvorsatzschalen) errichtet werden, bilden die Standardinstandsetzungslösung für die Grundinstandsetzung von vielen Wasserbauwerken, insbesondere Schleusenammerwänden. Bei einigen Bauteilen, beispielsweise Wehrpfeilern, haben jedoch derartige Vorsatzschalen technische und wirtschaftliche Nachteile.

Wehrpfeiler sind oftmals mehrschalig hergestellt worden. Im Randbereich wurde hierzu ein höherwertiger Mörtel oder Beton an der Schalung vorgelegt, wohingegen der anschließend eingebaute Kernbereich oftmals aus einem minderwertigen Füllbeton besteht. Typische Schichtstärken des Randbetons liegen bei etwa 20 cm, wobei die unregelmäßige Schichtdicke durch das Anschütten an die Schalung berücksichtigt werden muss. Die Höhe der einzelnen, bei älteren Anlagen zumeist in Stampfbetonbauweise erstellten Betonierabschnitte liegt zumeist bei etwa 50 cm bis 80 cm. Ein Abtrag des höherwertigen Randbetons zwecks Einbau einer dicken, verankerten und bewehrten Vorsatzschale bedingt vielfach dessen komplette Entfernung mit den damit einhergehenden Nachteilen und Risiken. Ein Verzicht auf den Betonabtrag ist wegen der Einschränkung des ursprünglichen Lichtraumprofils zumeist nicht möglich. Für derartige Bauteile, aber auch für einschalige Wehrpfeiler und viele weitere Bauteilarten, sind also dünn-schichtige Instandsetzungssysteme aus Mörtel oder Beton in Schichtdicken von etwa 40 mm bis maximal 60 mm vorzuziehen.

Die BAW hat in der Vergangenheit im Rahmen von zwei FuE-Vorhaben (A39510310238 „Textilbewehrte Vorsatzschalen“ und B3951.03.04.70010 „Textilbewehrte Mörtel für die Instandsetzung von Wasserbauwerken“) die Möglichkeit einer Instandsetzung von Wasserbauwerken mittels Vorsatzschalen aus textilbewehrtem Spritzmörtel und Spritzbeton eruiert (Westendarp et al. 2016). Die Vorteile dieser Systeme gegenüber den derzeit in ZTV-W LB 219, Abschnitte 4 und 5, geregelten verankerten und bewehrten Vorsatzschalen aus Beton und Spritzbeton sind u. a. der Ersatz der

Auftragsnummer:

B3951.03.04.70017

Auftragsleitung:



Dr. Amir Rahimi
 amir.rahimi@baw.de

Laufzeit:

2017 bis 2021

korrosionsgefährdeten Bewehrung und die geringen Dicken. Die bisherigen Untersuchungen ließen Fragen zu verschiedenen Punkten offen, welche im Rahmen dieses Anschlussvorhabens behandelt werden sollen.

Das Ziel des Vorhabens ist es, das neue Instandsetzungssystem „Textilbewehrte Mörtel und Betone“ dahingehend weiterzuentwickeln, dass der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) geeignete, ausschreibungsreife Lösungen für bestimmte Randbedingungen (freibewittert/Wasserwechselbereich; mit/ohne Risswasser- und Porenwasserdruck etc.) zur Verfügung gestellt werden können.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Mit dem neuen Instandsetzungssystem aus textilbewehrten Mörteln oder Betonen und durch den Ersatz korrosionskritischer Bewehrung könnte der WSV ein Verfahren zur Verfügung gestellt werden, mit dessen Hilfe sich Instandsetzungen insbesondere an älteren massiven Wasserbauwerken zielsicherer und kostengünstiger als bislang realisieren ließen.

3 Untersuchungsmethoden

Es werden Aktivitäten in drei Arbeitspaketen wie folgt durchgeführt:

AP 1: Beteiligung am C³-Vorhaben Carbon Composite Concrete, Teilvorhaben „Regelwerksgerechte Instandsetzung von Wasserbauwerken mit C³“ mit folgenden Aufgaben:

- 1) Pflichtenheft und Datenanalyse für C3-Instandsetzungen
 - Datenanalyse zu Verbund und Dauerhaftigkeit von C³ im Wasserbau
 - Anforderungen im Wasserbau
- 2) Erprobung der Instandsetzungsverfahren an Bauwerken
 - Auswahl von Referenzobjekten im Wasserbau
 - Fachliche Begleitung der Instandsetzung im Wasserbau
- 3) Bewertung, Planungshilfe und Einbindung in Regelwerke
 - Maßstäbe zur Bewertung der Leistungsfähigkeit und Dauerhaftigkeit im Wasserbau
 - Konzept zur Anbindung an bestehende Richtlinien im Wasserbau

AP 2: Weiterführende Aktivitäten mit dem Institut für Bauforschung Aachen (ibac) der RWTH Aachen:

- Erstellung eines Merkblatts für das Lastszenario 1 (mit Haftverbund, kein Risswasser- und Porenwasserdruck)
- praktische Untersuchungen für das Lastszenario 2 (kein Haftverbund, konstruktive Verankerung, kein Risswasser- und Porenwasserdruck)
- theoretische und praktische Analysen zum Lastszenario 3 (kein Haftverbund, statische Verankerung, Risswasser- und Porenwasserdruck)

AP 3: Bearbeitung der Fragestellungen zu Spaltwasserdruck, Ansatz Adhäsion, Temperatureinflüsse etc.

4 Ergebnisse

Im Rahmen der Aktivitäten zum ersten oben genannten Arbeitspaket (AP 1) wurden die wesentlichen Anforderungen an das Instandsetzungssystem zur Anwendung an Verkehrswasserbauwerken in Abhängigkeit der Beanspruchung aus Umwelt und Untergrund zusammengestellt.

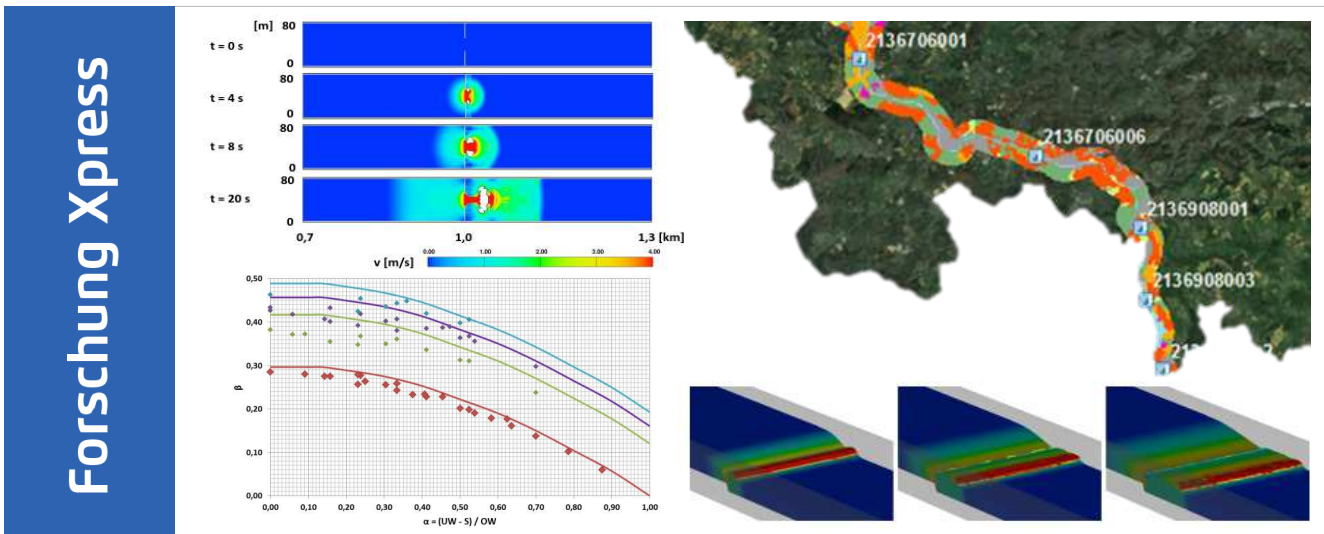
Auf Basis der aus früheren gemeinsamen Forschungsvorhaben gewonnenen Erkenntnisse (Westendarp et al. 2016) wurde im Arbeitspaket 2 (AP 2) in Zusammenarbeit mit dem ibac das BAW-Merkblatt „Flächige Instandsetzung von Wasserbauwerken mit textilbewehrten Mörtel- und Betonschichten (MITEX)“ erarbeitet, welches im März 2020 veröffentlicht worden ist. In diesem Merkblatt werden die Anforderungen und Prüfungen für Schichten aus textilbewehrtem Spritzmörtel und -beton für die flächige Instandsetzung gerissener Wasserbauwerke beschrieben, bei denen das Lastszenario 1 (s. o.) gegeben ist.

Damit werden für derartige Instandsetzungssysteme durchgängige Regelungen für die Aspekte Bemessung, Baustoffe und Bauausführung inklusive der entsprechenden Qualitätssicherungserfordernisse verfügbar sein. Auf diese Weise werden die Anwendbarkeit sowie die Wettbewerbsfähigkeit textilbewehrter Spritzmörtel und -betone als eine praxistaugliche und ausschreibungsreife Lösung für Maßnahmen mit bestimmten Randbedingungen sichergestellt.

Literatur:

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hg.) (2017): ZTV-W LB 219: Instandsetzung der Betonbauteile von Wasserbauwerken (Zusätzliche technische Vertragsbedingungen – Wasserbau).

Westendarp, A.; Reschke, T.; Fleischer, H. (2016): Abschlussbericht FuE-Vorhaben B3951.03.04.70010. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau.



Risikoklassifikation von Verkehrswasserbauwerken

Risikobasierte Priorisierung von Wehranlagen

1 Aufgabenstellung und Ziel

In Anbetracht der Anzahl und Vielfalt der Bauwerke an den Bundeswasserstraßen, ihres sich stetig verschlechternden Zustandes sowie der begrenzt verfügbaren Ressourcen ist eine Priorisierung von Infrastrukturinvestitionen ein unabdingbarer Schritt, um die Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs auch in Zukunft zu gewährleisten.

Hauptziel des Forschungsvorhabens ist die Erweiterung des Erhaltungsmagementsystems (EMS-WSV) mit einer Risikoklassifikation der Verkehrswasserbauwerke als Grundlage für eine Erhaltungsstrategie. Ziel ist es, die Ergebnisse zu nutzen, um potentielle Risiken auch für eine große Anzahl an Verkehrswasserbauwerken abzuschätzen. Diese Erkenntnisse sollen in ein transparentes und objektives System zur Entscheidungsunterstützung in der Instandhaltungsplanung integriert werden.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Eine Integration von Ansätzen aus dem Risikomanagement in das Erhaltungsmagementsystem der WSV (EMS-WSV) dient der langfristigen Sicherstellung der Leistungsfähigkeit der wasserbaulichen Infrastruktur und stellt einen Bewertungsrahmen zur Verfügung, der weit über eine rein technische Beurteilung der Verkehrswasserbauwerke hinausgeht. Um dem Anspruch der Ganzheitlichkeit zu genügen, werden sowohl wirtschaftliche und verkehrsbezogene Interessen als auch mögliche Auswirkungen auf die Bereiche Bevölkerung und Umwelt abgebildet. Eine Priorisierung der Verkehrswasserbauwerke erfolgt mithilfe eines entwickelten Indikatorensystems, sodass potenzielle Auswirkungen nach einem Bauwerksversagen in den Entscheidungsprozess bei der Instandhaltungsplanung integriert werden. Die zukunftsorientierte Ausrichtung der Entscheidungsunterstützung im Erhaltungsmangement berücksichtigt die begrenzte Ressourcenverfügbarkeit und hat den Abbau des Instandhaltungsrückstaus zum Ziel.

Auftragsnummer:

B3951.04.04.70002

Auftragsleitung:

Dr. Jörg Bödefeld
joerg.boedefeld@baw.de

Laufzeit:

2016 bis 2021

3 Untersuchungsmethoden

Da die Datenlage bei weitem nicht ausreichend für die Durchführung von klassischen Risikoanalysen ist, wird für die Priorisierung der Verkehrswasserbauwerke ein Indikatorensystem mit Daten aus Ex-ante-Schadensanalysen entwickelt (Thieken 2010). Die Priorisierung im Hinblick auf Versagensfolgen erfolgt am Beispiel der Wehranlagen. Die vergleichende Bewertung aller erfassten Indikatoren erfolgt mit der Methode PROMETHEE (Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluation). Die Analyse und das Ranking der Alternativen beruhen bei dieser Methode auf Paarvergleichen, deren Aggregation im Ergebnis eine Rangfolge aller Wehranlagen im Hinblick auf Versagensfolgen generiert.

Mit dem Ziel, Entscheidungen in der Instandhaltungsplanung zukunftsorientiert zu treffen, wird für alle untersuchten Bauwerke mithilfe der approximierten Funktionen aus dem WSVPruf-Modul „Zustandsprognose“ in Abhängigkeit von der aktuellen Zustandsnote ein Eingreifzeitpunkt berechnet, um für jedes Bauwerk zu ermitteln, in welchem Jahr voraussichtlich eine Instandhaltungsmaßnahme zu erwarten ist. Die Instandhaltungsmaßnahmen werden innerhalb eines jeden Jahres entsprechend ihrem Prioritätswert geordnet und es werden für jedes Bauwerk Umfang und Kosten der Maßnahme prognostiziert, sodass der entstehende Ressourcenbedarf langfristig erkennbar ist. Umfang und Kosten der Instandhaltungsmaßnahmen wurden mithilfe der Analyseergebnisse aus Voruntersuchungen und Realdaten von Neubauprojekten modelliert (Kirchner 2019). Szenarioanalysen mit unterschiedlichen Restriktionen im Budget oder mit der Anzahl jährlich durchgeführter Instandhaltungsmaßnahmen zeigen, wie sich der Bauwerksbestand langfristig entwickelt.

4 Ergebnisse

Mit dem entwickelten Indikatorensystem und der Priorisierung mit PROMETHEE werden die Ergebnisse der Methode zur Priorisierung von Investitionsprojekten an Bundeswasserstraßen (MPI) verfeinert, und für alle untersuchten Wehranlagen wird eine eindeutige Rangordnung unter Berücksichtigung potenzieller Versagensfolgen erstellt. Die Gewichtungsfaktoren können jeweils an unterschiedliche Zielsetzungen angepasst werden, sodass zusätzlich ein Vergleich der Ergebnisse möglich ist.

Mit den Szenarioanalysen wurde für einen Zeitraum von 150 Jahren untersucht, wie die Höhe des verfügbaren Budgets, die angenommene Lebensdauer der Bauwerke und die Möglichkeit, Instandhaltungsmaßnahmen vorzuziehen, zukünftige Entwicklungen im Bauwerksbestand beeinflussen (siehe Bild 1). Die Ergebnisse zeigen erwartungsgemäß, dass der Instandhaltungsbedarf in den nächsten Jahrzehnten unter den getroffenen Annahmen deutlich über das derzeitige Niveau hinaus zunehmen wird. Werden jährlich zwei Neubauprojekte abgeschlossen, baut sich bei Zutreffen der Prognosen ein Instandhaltungsrückstau in Höhe von etwa 200 Wehranlagen auf, der innerhalb des Untersuchungszeitraums nicht wieder abgebaut werden kann. Negative Tendenzen zeigen sich bei einem zu geringen Budget (Instandhaltungsrate in % vom Anlagevermögen) und bei kurzen Lebensdauern anfälliger Bauwerke. Einen positiven Einfluss haben die lange Lebensdauer robuster Bauwerke und ein ausreichend hohes Budget. Die Möglichkeit, Instandhaltungsmaßnahmen vorzuziehen, kann entstehende Peaks zusätzlich glätten. Der bestehende Instandhaltungsrückstau bei den Wehranlagen kann gemäß den Ergebnissen der Simulation mit der konsequenten Umsetzung von mindestens vier Instandhaltungsmaßnahmen pro Jahr dauerhaft abgebaut werden.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, dass mit den verfügbaren Daten ein Konzept zur Verfügung gestellt werden kann, das Elemente des Risikomanagements und des Lebenszyklusmanagements in die Instandhaltungsplanung integriert. Sie sind in Schmidt-Bäumler (2020) ausführlich dokumentiert.

Literatur:

Schmidt-Bäumler, H. (2020): Multi-kriterielle Entscheidungsunterstützung in der risiko-basierten Instandhaltungsplanung am Beispiel der Verkehrswasserbauwerke. Dissertation. Karlsruhe Institute of Technology. <https://hdl.handle.net/20.500.11970/107146>

Kirchner, A. (2019): Ermittlung von Kostenansätzen zum Variantenvergleich von Baumaßnahmen an Wehranlagen. Master-Thesis. Hochschule Karlsruhe, Karlsruhe.

Thieken, A. H. (Hrsg.) (2010): Hochwasserschäden. Erfassung, Abschätzung und Vermeidung. Oekom, München.



Tragfähigkeitskennzahlen für bestehende Konstruktionen

1 Aufgabenstellung und Ziel

Die Bundeswasserstraßen sind einer der drei Hauptverkehrsträger in Deutschland. Verkehrswasserbauwerke werden daher kontinuierlich überwacht und bei Bedarf instandgesetzt, um die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs zu gewährleisten. Seit 2008 wird in der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) ein IT-gestütztes Erhaltungsmanagementsystem (WSVPruf) eingesetzt, das die verantwortlichen Wasserstraßen- und Schifffahrtsämter (WSÄ) bei der systematischen Dokumentation und Bewertung von Bauwerksschäden unterstützt und die Planung von Instandhaltungsmaßnahmen erleichtert. Die aufgrund der festgestellten Schäden ermittelte Zustandsnote wird dabei als Kenngröße für die allgemeine Dringlichkeit von Instandhaltungsmaßnahmen am jeweiligen Bauwerk verwendet. Durch die Begrenzung der Bewertungsskala auf vier Schadenskategorien erhält eine Vielzahl an Bauwerken die gleiche Bewertung. Aussagen über die Auswirkungen der Schäden auf die funktionalen Anforderungen an das Bauwerk sind im Benotungssystem nicht vorgesehen. Die Zielsetzung des Forschungsvorhabens besteht darin, ergänzende Kennzahlen, die die derzeitigen Einschränkungen berücksichtigen und einen schlüssigen Vergleich einer großen Anzahl von Bauwerken ermöglichen, zu entwickeln. Hiermit wird die Aussagekraft der bisherigen Zustandsbenotung erhöht. Dieses FuE-Vorhaben ist Teil des BMVI-Expertennetzwerks, das 2016 durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) initiiert wurde.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Die zusätzlichen Kennzahlen berücksichtigen die funktionalen Anforderungen, die an das Bauwerk dargestellt werden und erhöhen somit den Informationsgehalt der bisherigen Zustandsbewertung. Durch die Erweiterung des Bewertungssystems lassen sich in großer Zahl Bauwerke anhand ihres Zustands unterscheiden und vergleichen. Dadurch wird die Datengrundlage für Entscheidungsprozesse in der überregionalen Planung von Instandsetzungsmaßnahmen vergrößert und die Entscheidungsfindung erleichtert.

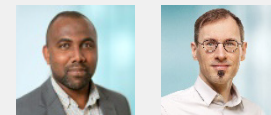
Auftragsnummer:

B3951.04.04.70003

Auftragsleitung:

François Nyobeu

Auftragsbearbeitung:



François Nyobeu

francois.nyobeu@baw.de

Andreas Panenka

andreas.panenka@baw.de

Laufzeit:

2016 bis 2021

3 Untersuchungsmethoden

Durch eine detaillierte Analyse der dokumentierten Bauwerksschäden werden Ansatzpunkte zu möglichen Verbesserungen des Bewertungsprozesses erarbeitet. Ausgehend von den in WSVPruf verfügbaren Inspektionsergebnissen werden mithilfe einer Fehlermöglichkeiten- und Ausfallanalyse (FMEA) Ursache-Wirkungsketten (UWK) ausgestaltet, um die Auswirkungen verschiedener Schäden auf die Nachweisbarkeit der normativ vorgegebenen Anforderungen an Bauwerke beurteilen zu können. Für die Bewertung der ermittelten Wirkzusammenhänge werden drei Kriterien herangezogen, die neben dem Auftreten und der Abwendbarkeit eines Fehlers auch die Konsequenzen beim Eintreten eines Fehlers bewerten. Aus den drei Einzelwerten wird als Kenngröße des Bewertungsprozesses die Risikoprioritätszahl (RPZ) berechnet. Dazu stehen unterschiedliche Methoden zur Auswahl (Liu 2016). Für den Einsatz im Rahmen einer Bauwerksbewertung wurde ein Ansatz, der auf Fuzzy-Logik basiert, gewählt und weiterentwickelt (vgl. Bowles und Peláez 1995; Panenka und Nyobeu 2018). Die Fuzzy-Logik (von engl. fuzzy für unscharf, fusselig) erlaubt das Berücksichtigen von Unsicherheiten in einem Bewertungsprozess, der von menschlichen und daher subjektiven Entscheidungen geprägt ist.

4 Ergebnisse

Durch die systematische Analyse von Wirkzusammenhängen und den daraus abgeleiteten UWK, die zu einem Verfehlen von funktionalen Anforderungen an das Bauwerk führen könnten, entsteht ein Kategoriensystem für die bereits erhobenen Daten, das unabhängig von der festgelegten Datenstruktur ist. Anhand der unabhängigen Kategorien lassen sich die Inspektionsergebnisse sortieren und anforderungsspezifisch filtern. Die anhand der gefilterten Schäden ermittelten anforderungsspezifischen Zustandsnoten ergänzen die allgemeine Zustandsbewertung mit der bisher nicht zur Verfügung stehenden Information über die maßgeblich betroffene Anforderung (vgl. Bild 1). Diese zusätzlichen Kennzahlen werden angewendet, um z. B. tragfähigkeitsrelevante Schäden leichter zu identifizieren sowie eine differenzierte Reihung einer großen Anzahl an Bauwerken hinsichtlich benötigter Instandsetzungen zu erstellen. Das auf den Wirkzusammenhängen basierende Kategoriensystem dient außerdem zur Validierung der Systematik für die Beschreibung von Bauwerksschäden.

Die Bewertung der UWK anhand der RPZ erweitert die Bewertung um eine zusätzliche Kennzahl, die neben dem Ausmaß und der Anzahl an Schäden auch die relative Häufigkeit von Schäden je Objekttyp („Auftreten“), die Effektivität von Instandhaltungsmaßnahmen („Erhaltung“) und die Auswirkungen, die die jeweilige UWK auf die Nachweisbarkeit der einzelnen Anforderungen an das Bauwerk hat („Bedeutung“), berücksichtigt. Die RPZ ist somit nicht nur abhängig vom Zustand, sondern auch vom Bauwerkstyp und dessen Konstruktionsweise sowie den bisherigen Instandhaltungsbemühungen. Die Robustheit der Nachweisführung gegenüber einer Schädigung lässt sich anhand der gemeinsamen Auswertung der Kriterien „Erhaltung“ und „Bedeutung“ abschätzen. Die Bewertung eines Bauwerks anhand der RPZ wird in einem Risikoprofil zusammengefasst, das als ergänzender Bestandteil eines Prüfberichts verwendet werden kann, um einen Überblick über die am Bauwerk stattfindenden Schädigungsmechanismen zu erhalten.

Durch den Aufbau eines Fuzzy-Sets zur Ermittlung der RPZ kann die Bewertung auf Basis semantischer Beschreibungen erfolgen, was die Nutzung von Erfahrungswissen vereinfacht. Ebenso ist eine Wichtung der Eingangsgrößen zur Ermittlung der RPZ möglich, was im Rahmen des klassischen FMEA-Ansatzes nicht möglich ist. Die Zusammenführung der Eingangsgrößen über Wenn-Dann-Regeln führt zu plausibleren RPZ als die einfache Multiplikation der Eingangsgrößen. Die Aussagekraft der RPZ erhöht sich damit deutlich.

Basierend auf zusätzlich erhobenem Expertenwissen und dem Austausch mit anderen Beteiligten wurde das durch die FMEA erweiterte Bewertungsverfahren konsolidiert und anhand von Massiv- und Stahlwasserbauten der Bundeswasserstraße validiert.

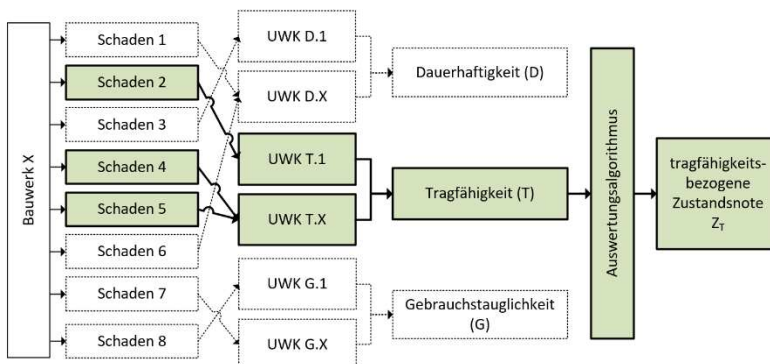


Bild 1: Ermittlung der anforderungsspezifischen Zustandsnote in Abhängigkeit der jeweiligen UWK.

Literatur:

Bowles, J. B.; Peláez, C. E. (1995): Fuzzy logic prioritization of failures in a system failure mode, effects and criticality analysis. In: Reliability Engineering & System Safety 50 (2), 203–213.

Liu, Hu-Chen (2016): FMEA using uncertainty theories and MCDM methods. Singapore: Springer.

Panenka, A.; Nyobeu, F. (2018): Condition assessment based on results of qualitative risk analyses. In: Proceedings of the 6th International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering. Ghent, Belgium, 3054–3060.



Resilienz kritischer Verkehrsinfrastrukturen am Beispiel der Wasserstraßen

PREVIEW

1 Aufgabenstellung und Ziel

Bisherige Instandhaltungsstrategien für Infrastrukturbauwerke fokussieren in der Regel auf den Bauwerkszustand – erst nach dem Auftreten von Schäden werden die Bauwerke instandgesetzt. Aufgrund des großen Investitionsstaus im Bereich der Infrastruktur, des hohen Bauwerksalters und zunehmender Gefährdungsszenarien in Form von extremen Naturereignissen wie Starkregenereignissen, daraus resultierender Hochwasser, Trockenheiten etc. ist zukünftig eine risikobasierte Priorisierung von Instandhaltungsmaßnahmen notwendig.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Im Rahmen des Projekts werden für real existierende Bedrohungsszenarien Lösungen erarbeitet, die sowohl die Sicherheit der Bevölkerung als auch der ansässigen Industrie nachhaltig verbessern werden. Die konsequente Einbindung relevanter Unternehmen und Behörden in das Projekt gewährleistet die Übertragbarkeit der Ergebnisse in die Praxis und untermauert die Anwendungsrelevanz der erarbeiteten Lösungen.

Der WSV werden Werkzeuge für eine risikoorientierte Instandhaltungsstrategie an die Hand gegeben, sodass Investitionsmaßnahmen bedarfsgerecht priorisiert werden können.

3 Untersuchungsmethoden

Es wurde eine Methodik gewählt, die eine Einstufung des Risikos einer Vernachlässigung von Instandhaltungsmaßnahmen an Wasserstraßeninfrastrukturen ermöglicht. Die Methodik besteht aus den folgenden Schritten:

1. Der Risikobegriff für Infrastruktursysteme wird definiert. Diese Systeme sind oft durch eine hierarchische Struktur gekennzeichnet, was bedeutet, dass sie Subsysteme umfassen. Haimes (2008) hat sie „Systeme von Systemen“ (SoS) genannt. In SoS finden Ereignisse auf der unteren hierarchi-

Auftragsnummer:

B3951.04.04.70006

Auftragsleitung:



Dr. Francesca Marsili
francesca.marsili@baw.de

Laufzeit:

2018 bis 2021

schen Ebene statt und breiten sich in einem Kaskadeneffekt über die höheren Ebenen aus. Es wird ein Werkzeug entwickelt, das als „Risiko-Helix“ bezeichnet wird und die Simulation von Kaskadenausfällen und die Abschätzung negativer Folgen ermöglicht. Das Werkzeug basiert auf einem reduktionistischen Ansatz, nach dem die Funktionsweise des Systems durch die Funktionsweise seiner Teile erklärt werden kann. Das Werkzeug ermöglicht auch die Analyse und das Verständnis historischer Schadensfälle.

2. Es wird ein integraler Ansatz verwendet, um die Risikowahrnehmung der Experten und die aus den Datenbanken (WSVPruf, WADABA, TRAVIS, Elwis) gewonnenen Informationen zu kombinieren. Es werden Visualisierungswerkzeuge eingesetzt, um die Kommunikation über Risiken zu erleichtern. Beispiele für die implementierten Visualisierungsstrategien sind kognitive Karten, Diagramme und GIS-Karten. Da die meisten Risikofaktoren eine geographische Bedeutung haben, eignen sich kollaborative GIS-Karten besonders gut, um Risikowahrnehmung und Daten zu integrieren.
3. Um die Risikokriterien zu aggregieren und Erhaltungsmaßnahmen einzustufen, werden multikriterielle Entscheidungsmethoden angewendet (De Almeida et al. 2015). Die Wahl der Methode ist nicht trivial und hängt von den verfügbaren Eingabeinformationen, der Logik der Methode und den gewünschten Ergebnissen ab. Die bisher angewendeten Methoden sind MAUT und WINGS, wobei die erste Methode die Einbeziehung der Risikowahrnehmung der Experten durch die Definition von Nutzfunktionen ermöglicht. WINGS ermöglicht die Bewertung des Risikos in hierarchischen Systemen. Beide Methoden erlauben es, das Risiko nicht nur zu ordnen, sondern auch zu quantifizieren.

4 Ergebnisse

Der in diesem Bericht beschriebene Ansatz ermöglicht die Klassifizierung der Objekte, da das Risiko aus einer Vernachlässigung der Instandhaltung von mehreren Faktoren abhängt. Die Methode integriert die Risikowahrnehmung von Experten und Informationen, die aus Datenbanken extrahiert werden. In einigen Fällen können weitere Daten oder Simulationen notwendig sein, um eine verfeinerte Analyse durchzuführen. Daher befasst sich der vorgeschlagene Ansatz auch mit der Sammlung weiterer Informationen, wenn präzisere Risikobewertungen erforderlich sind. Bild 1 zeigt eine Karte mit Ergebnissen einer Risikoanalyse eines Teils des westdeutschen Kanalnetzes, die nach der WINGS-Methode erstellt wurde. Die Linien stellen die Dämme dar, während die Punkte die Objekte darstellen. Zu beachten ist dabei, dass Dämme keine durchgehenden Objekte sind, da der Wasserstand aufgrund topographischer Unregelmäßigkeiten manchmal unter dem angrenzenden Gelände liegt.

PREVIEW ist ein Verbundprojekt der BAW mit der Hochschule Karlsruhe, dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) sowie antwortING Beratende Ingenieure PartGmbH und 4Flow AG. Weitere Informationen über das Projekt bzw. die Verbundpartner sind auf der Internetseite des Projekts (www.preview-projekt.de) verfügbar.

Das Projekt ist im Bereich der zivilen Sicherheitsforschung angesiedelt. Informationen zum Forschungsprogramm, zu aktuellen Bekanntmachungen, Veranstaltungen sowie anderen Forschungsprojekten mit ähnlichem Kontext sind auf der Internetseite des Bundesministeriums für Bildung und Forschung zur zivilen Sicherheitsforschung (www.sifo.de) zu finden.

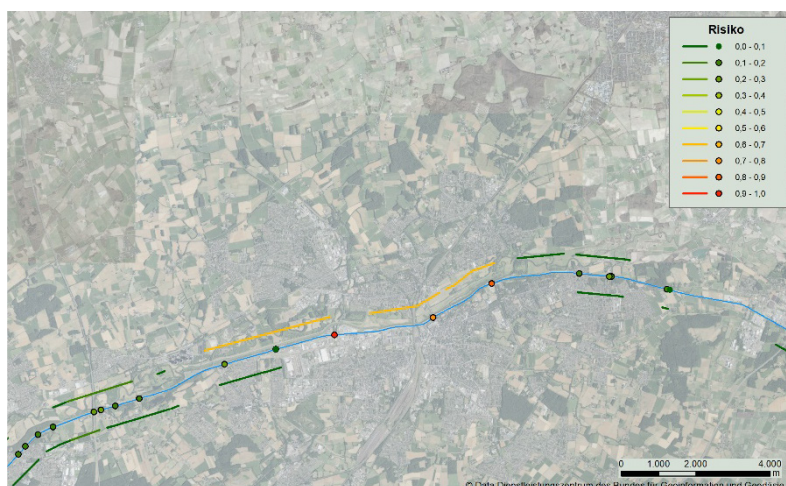
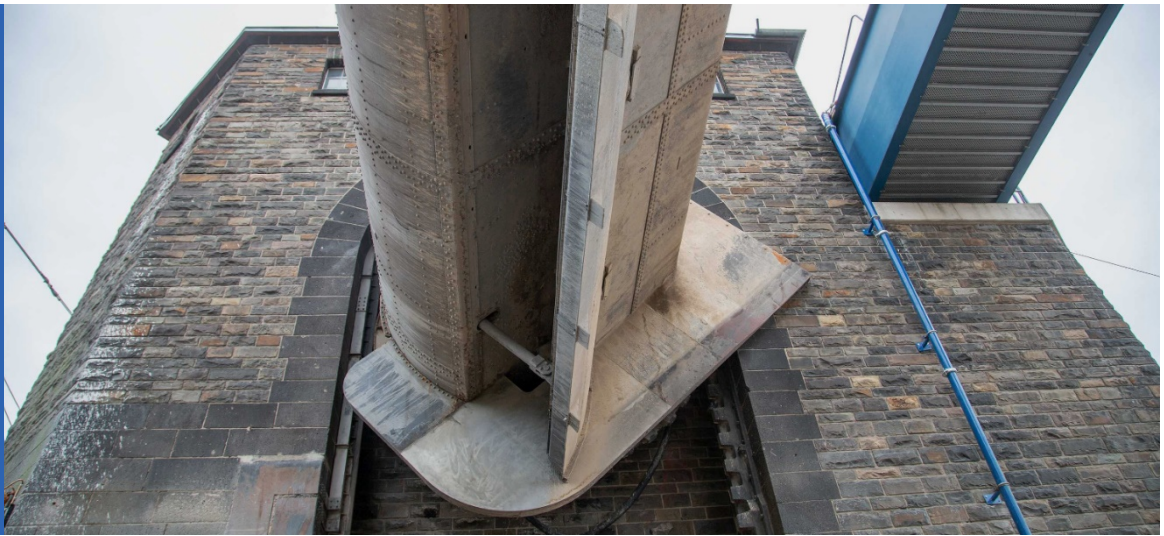


Bild 1: GIS-Karte mit den Ergebnissen der Risikoanalyse.

Literatur:

De Almeida, A. T.; Cavalcante, C. A. V.; Alencar, M. H.; Ferreira, R. J. P.; de Almeida-Filho, A. T.; Garcez, T. V. (2015): Multicriteria and Multi-objective Models for Risk, Reliability and Maintenance Decision Analysis. *International Series in Operations Research & Management Science*.

Haimes, Y. Y. (2008): Models for risk management of systems of systems. *International Journal of System of Systems Engineering*, 1(1/2), 222.



Tragfähigkeitsorientierte Bewertung von Bauwerksschäden

1 Aufgabenstellung und Ziel

Im Zuständigkeitsbereich der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) befinden sich zunehmend Bauwerke mit kritischem Zustand. Die wachsende Anzahl dieser Bauwerke und die zukünftig anstehenden Instandhaltungs- oder Neubaumaßnahmen erfordern eine Priorisierung sowie Optimierung des Erhaltungsmanagements. Der aktuelle Erhaltungszustand kann auf die historisch gewachsene Altersstruktur und den entstandenen Instandhaltungsrückstau zurückgeführt werden. Fachkundiges Ingenieurpersonal führt die regelmäßige Überprüfung und Dokumentation des Zustands durch und inspiziert die Bauwerke hinsichtlich der Gesichtspunkte Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Verkehrssicherheit (siehe Bild 1). Die ermittelte Zustandsnote stellt eine Grundlage für Entscheidungen und Priorisierungen im Erhaltungsmanagement dar, um die nach § 48 WaStrG geforderte Sicherheit und Ordnung an den Wasserstraßen zu gewährleisten.

Als systemrelevante und somit nicht sperrbare Anlagen haben Wehranlagen eine besonders hohe Relevanz im Wasserstraßennetz. Wehranlagen sind Bauwerke mit weitreichenden Folgen im Falle eines Bauwerksausfalls, weshalb die Entwicklungen basierend auf dieser Objektart erfolgen und auf das restliche Objektportfolio der WSV übertragen werden.

Das Ziel dieses FuE-Vorhabens ist die Optimierung des Erhaltungsmanagements auf Basis der visuellen Bauwerksinspektion. Der Fokus der Untersuchungen liegt auf dem Einfluss von Schädigungen auf die Tragfähigkeit des Bauwerks oder einzelner Tragwerksteile. Es sollen Zusammenhänge und Einflüsse verschiedener Schädigungsmechanismen und Schadensorte untersucht werden. Zur Überführung der Ergebnisse in die Bauwerksprüfung sind Handlungsempfehlungen zu entwickeln, welche das bestehende BAWMerkblatt zur „Schadensklassifizierung an Verkehrswasserbauwerken“ (MSV) ergänzen. Der Schwerpunkt wird auf Schäden am Massivbau mit besonderer Relevanz für die Tragfähigkeit gelegt. Die Ergänzung des Merkblatts zielt auf die Aspekte Erkennung und Benotung von Schäden mit Tragfähigkeitsrelevanz ab.

Auftragsnummer:

B3951.04.04.70008

Auftragsleitung:Sarah Elting
sarah.elting@baw.de**Laufzeit:**

2019 bis 2022

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Die WSV erhält eine Unterstützung zur Steigerung der Verkehrssicherheit sowie zur Priorisierung von Erhaltungs- und Neubaumaßnahmen. Die Qualität der Bauwerksinspektion kann durch zusätzliche Handlungsempfehlungen gesteigert werden und Schäden mit Relevanz für die Tragfähigkeit werden sicherer identifiziert und einheitlich bewertet. Somit kann eine fundierte Grundlage für Entscheidungen im Erhaltungsmanagement geschaffen werden.

3 Untersuchungsmethoden

Ausgangsbasis für die anstehenden Untersuchungen sind Inspektionsergebnisse der Objekte der Inspektionskategorie A nach VV-WSV 2101, Bestandsdaten sowie von der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) erstellte Gutachten und Nachrechnungen. Für Bauwerke im Zuständigkeitsbereich der WSV werden seit 2009 die Ergebnisse der Inspektion systematisch mit dem Programmsystem WSVPruf erfasst und können somit als Basis für die Auswertungen herangezogen werden.

Zur Entwicklung der Zusammenhänge und für die Klassifizierung der Auswirkungen von Schäden auf die Tragfähigkeit sollen vorhandene Informationen zu Schadensmechanismen zusammengestellt werden. Hierzu sind Analysen der Bauwerksinspektionsergebnisse, Nachrechnungen und Gutachten notwendig, um typische Schadensbilder und Schadensmechanismen an Wasserbauwerken zu identifizieren. Nach einer Abgrenzung in tragfähigkeitsrelevante und nicht tragfähigkeitsrelevante Schäden ist die Bedeutung für das Tragwerk einzustufen. Mithilfe von Tragfähigkeitsanalysen soll der Einfluss einzelner Schädigungen auf die Standsicherheit beurteilt werden. Durch numerische Analysen sind Methoden zur Übertragung der Inspektionsergebnisse auf eine Nachrechnung herzuleiten. Ansätze zur Clusterbildung und zur Beurteilung der Robustheit der Bauwerke dienen der Schärfung der Ergebnisse und Identifikation typischer Bauarten von Wehranlagen.

4 Ergebnisse

Die Analyse der Inspektionsergebnisse zeigt, dass sich ein großer Anteil der Bauwerke in einem kritischen Zustand befindet. Rund 30 % der Wehranlagen sind in einem nicht ausreichenden bzw. ungenügenden Zustand (Zustandsnote 3,5–4,0). Weitere 50 % der Anlagen erreichen nur noch einen ausreichenden Zustand (Zustandsnote 2,5–3,4). In aktuell laufenden Untersuchungen stehen Schäden der Teilnotenkategorie Konstruktion bzw. des Massivbaus der Wehranlage im Fokus. Der Zusammenhang von Schadensbildern mit dem Schadensort wird untersucht. Des Weiteren werden aus den gewonnenen Erkenntnissen potenzielle Schadensursachen abgeleitet, um den Einfluss auf die Tragfähigkeit differenzierter beurteilen zu können.

Besonders kritische Schäden der Schadensklasse 4 treten vermehrt an Wehrpfeilern und der Wehrsohle auf. Schwerpunktmäßig handelt es sich dabei um tragfähigkeitsrelevante Schädigungen an Betonbauteilen. Typische Schadensbilder mit Einfluss auf die Tragfähigkeit einzelner Tragwerksbereiche oder des gesamten Bauwerks sind z. B. Korrosion der Tragbewehrung mit einhergehenden Betonabplatzungen, Risse, Setzungen und Unterspülungen. Es müssen deshalb sowohl bautechnische, als auch geotechnische und hydraulische Hintergründe bei der Ursachenanalyse mit einbezogen werden. Bei rund einem Drittel der Schäden handelt es sich jedoch auch um Schäden mit Einfluss auf die Dauerhaftigkeit und Gebrauchstauglichkeit. Dies sind z. B. Oberflächenschäden und Schäden mit Auswirkungen auf die Funktionsfähigkeit.



Bild 1: Zur Bauwerksinspektion trockengelegtes Wehrfeld der Wehranlage Dietfurt.

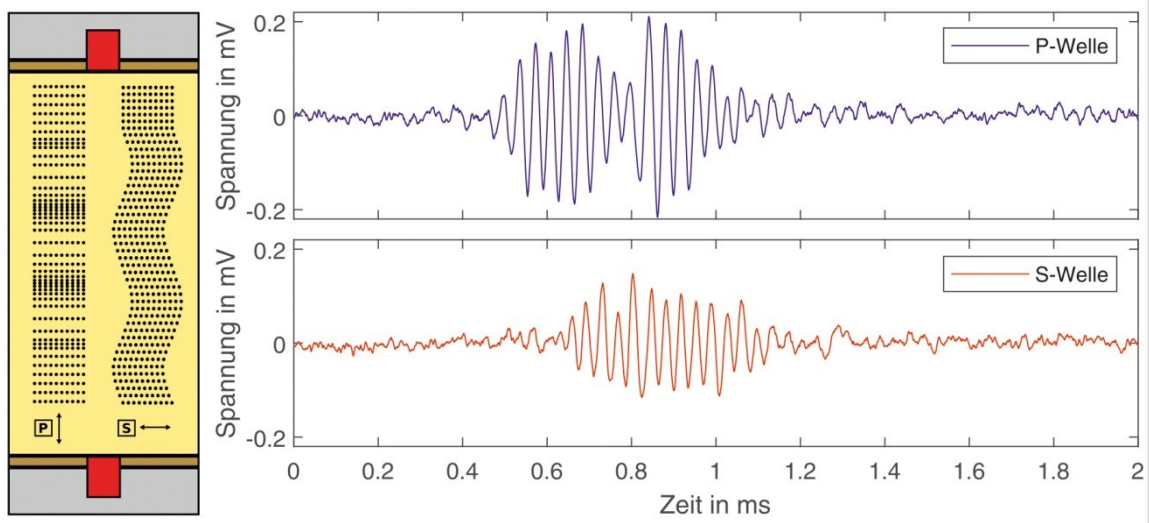
Literatur:

Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2018): BAWMerkblatt Schadensklassifizierung an Verkehrswasserbauwerken (MSV). Karlsruhe: BAW (BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien).

Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, Bundesamt für Justiz (2018): Bundeswasserstraßengesetz. WaStrG, Fassung vom 23.5.2007 (BGBl. I, S. 962; 2008 I, S. 1980), zuletzt geändert durch Artikel 4 des Gesetzes vom 29.11.2018 (BGBl. I, S. 2237).

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.) (2010): VV-WSV 2101: Bauwerksinspektion. Ausgabe September 2010. (Verwaltungsvorschrift der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes).

Forschung Xpress



Ermittlung geotechnischer Parameter aus geophysikalischen Messungen

1 Aufgabenstellung und Ziel

Geophysikalische Verfahren können geotechnische Methoden ergänzen, um den Baugrund zu charakterisieren. Dabei finden insbesondere seismische Erkundungsverfahren immer häufiger Anwendung, da die Ausbreitungsgeschwindigkeiten seismischer Wellen (Kompressions- und Scherwellen) in direktem Zusammenhang zu den elastischen Moduln im Bereich kleiner Dehnungen ($< 10^{-5}$) stehen, in dem linear elastisches Materialverhalten angenommen wird. Ein wesentlicher Vorteil seismischer in-situ-Verfahren liegt darin, dass große Bodenvolumina untersucht werden können. Anstatt punktuelle Informationen in bestimmten Tiefen zu erhalten, können Informationen über große Bereiche abgeleitet werden. Um aus den seismischen in-situ-Messungen weitere geotechnische Informationen ableiten zu können, sollen in diesem Forschungsvorhaben die Zusammenhänge zwischen seismischen Ausbreitungsgeschwindigkeiten und geotechnischen Parametern untersucht werden.

Aus ersten Untersuchungen ist bereits bekannt, dass die Scherwellengeschwindigkeit von dem Umgebungsdruck und der Porenzahl beeinflusst wird (Hardin und Richart 1963), jedoch zeigen sich erhebliche Abweichungen der Ergebnisse untereinander (Hussien und Karray 2016). Um die Ursache dieser Abweichungen beurteilen zu können, muss der Einfluss weiterer Faktoren geprüft werden. Dazu gehören die charakteristischen Eigenschaften der Kornverteilungskurve (mittlerer Korndurchmesser und Ungleichförmigkeitszahl) und der Wassergehalt des untersuchten Bodens. Erste Analysen zeigen bislang keine konsistenten Ergebnisse (Menq 2003, Wichtmann und Triantafyllidis 2009).

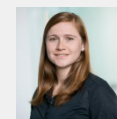
2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Die in-situ-Bestimmung von Lagerungsdichte, Porenzahl und Sättigungsgrad von kohäsionslosem Lockergestein ist bislang nur über Korrelationen mit Sondierwiderständen oder gar nicht möglich. Die Angaben werden jedoch zum Teil normativ gefordert, weshalb Verbesserungen dringend erforderlich

Auftragsnummer:

B3952.01.04.70003

Auftragsleitung:



Cornelia Kaufmann
 cornelia.kaufmann@baw.de

Laufzeit:

2016 bis 2022

sind. Gelingt es, Zusammenhänge zwischen der Messung von seismischen Wellengeschwindigkeiten und den genannten Parametern herzustellen, entfallen außerdem Einflüsse aus dem Entnahmevorgang, dem Transport und der Lagerung der Proben.

3 Untersuchungsmethoden

Im Fokus des Forschungsvorhabens steht die systematische Untersuchung der Zusammenhänge im Labor. Im Rahmen der Baugrunduntersuchungen verschiedener Baumaßnahmen an Bundeswasserstraßen wurden bisher überwiegend crosshole-seismische in-situ-Messungen zur Ermittlung seismischer Ausbreitungsgeschwindigkeiten eingesetzt. Bei der Crosshole-Seismik werden die seismische Quelle und der Empfänger in zwei benachbarten Bohrungen in die gleiche Tiefe herabgelassen und der dazwischenliegende Untergrund horizontal durchschallt. Aus den gemessenen Laufzeiten werden die seismischen Ausbreitungsgeschwindigkeiten bestimmt. Um diese Messanordnung bei den Laboruntersuchungen nachzuempfinden, sollen Bodenproben unter bekannten Randbedingungen mit Kompressionswellen (P-Wellen) und Scherwellen (S-Wellen) durchschallt werden.

Unter systematischer Variation der einzelnen Parameter wie Lagerungsdichte, Kornverteilung und Wassergehalt, kann deren Einfluss auf die Ausbreitungsgeschwindigkeiten untersucht werden. Im zweiten Schritt sollen die Beobachtungen mit Hilfe empirischer Korrelationsansätze mathematisch formuliert werden.

4 Ergebnisse

In einer für das Forschungsvorhaben konzipierten Triaxialzelle (Bild 1) können kohäsionslose Bodenproben in einen definierten Spannungszustand versetzt und durchschallt werden. Um auch an trockenen Proben eine exakte Volumenbestimmung während des Versuchs zu ermöglichen, ist die Triaxialzelle doppelwandig ausgeführt. Es können Bodenproben mit einem Durchmesser von bis zu 100 mm und einer Höhe von maximal 200 mm eingebaut werden.

Die piezoelektrischen Sensoren zur Durchschallung der Bodenprobe sind mittig in die Kopf- und Fußplatte der Triaxialzelle integriert. Die Filterplatten werden in diesem Bereich ausgespart, sodass die Sensoroberfläche direkt an der Bodenprobe anliegt. Bei den in den Sensoren verbauten Piezokristallen handelt es sich um Materialien, die bei Beanspruchung auf Zug oder Druck aufgrund von Ladungsverschiebungen innerhalb des Kristalls eine elektrische Spannung erzeugen. Die Größe der erzeugten Spannung ist dabei direkt proportional zur Kraft, die zur Deformation des Kristalls aufgewendet wird. Im umgekehrten Effekt werden die Kristalle deformiert, wenn eine elektrische Spannung angelegt wird. Die Kristalle sind so in den Sensoren angeordnet, dass sowohl Kompressions- als auch Scherwellen damit erzeugt und erfasst werden können. Die Sensoren arbeiten in einem Frequenzbereich von 20 kHz bis 50 kHz.

Nachdem der Aufbau des Versuchsstandes erfolgreich abgeschlossen wurde, folgen die ersten Untersuchungen. Dabei soll zunächst ein Verfahren für den Einbau von Sandproben in zuverlässig definierbaren Zuständen erarbeitet werden.

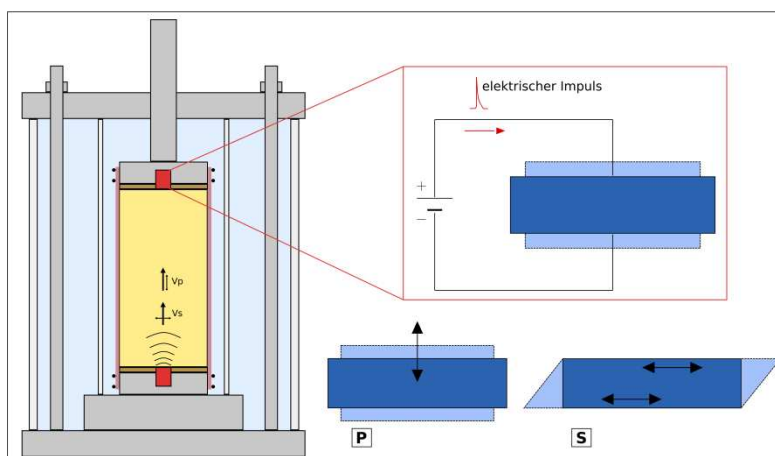


Bild 1: Triaxialdoppelwandzelle mit in die Kopf- und Fußplatte integrierten Sensoren (links) zur Durchschallung von Bodenproben mit P- und S-Wellen; Funktionsprinzip piezoelektrischer Sensoren (rechts).

Literatur:

Hardin, B. O.; Richart, F. E. (1963): Elastic Wave Velocities in Granular Soils, *Journal of Soil Mechanics and Foundation Division – Proceedings of the American Society of Civil Engineers*.

Hussien, M. N.; Karray, M. (2016): Shear Wave Velocity as a Geotechnical Parameter: an Overview, *Canadian Geotechnical Journal*.

Menq, F.-Y. (2003): *Dynamic Properties of Sandy and Gravelly Soils*, Dissertation.

Wichtmann, T.; Triantafyllidis, T. (2009): Influence of the Grain-Size Distribution Curve of Quartz Sand on the Small Strain Shear Modulus, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*.

GeoValML

Geotechnical Value Markup Language

GeoValML – Das interoperable Austauschformat für boden- und felsmechanische Kennwerte

Aufbau und Betrieb einer geotechnischen Kennwertdatenbank

1 Aufgabenstellung und Ziel

Die Kenntnis über die geotechnischen Boden- und Felskennwerte ist für jedes Bauvorhaben notwendig. Eine große Anzahl von Behörden und Universitäten unterhalten Datenbanksysteme oder Datensammlungen zu geotechnischen Versuchen. Dieser „Datenschatz“ liegt praktisch dispers verteilt vor. Eine gemeinsame Sammlung sowie der freie Zugang zu geotechnischen Kennwerten zur Validierung eigener Untersuchungen ist bisher nicht vorhanden, da die hierzu notwendige fachwissenschaftliche und IT-Infrastruktur nicht verfügbar ist. Ziel ist die Erstellung eines interoperablen Austauschformates. Dieses zielt auf boden- und felsmechanische Kennwerte und die Aggregation von heterogenen und verteilt vorliegenden geotechnischen Kennwerten in einer gemeinsamen Datenbankstruktur. Weiterhin ist die öffentliche Bereitstellung der Daten sowie die Verknüpfung mit Diensten und Portalen mit fachlich nahem Bezug, wie z. B. BoreholeML oder der Bohrpunktkarte Deutschland, vorgesehen.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Durch die Entwicklung der GeoVal kann auch der Bereich Open Data und Open Access entscheidend unterstützt werden. Die systematische Ablage und die offene Bereitstellung von Versuchsergebnissen, Kennwerten und Metadaten gewährleisten den Zugriff im Sinne der Open-Access-Bewegung.

Die geotechnische Kennwertdatenbank kann sich somit zur zeitgemäßen Zugangsform für das boden- und felsmechanische Laborwissen entwickeln. Die zurzeit dispers verteilten Daten von geotechnischen Untersuchungen können nur dann genutzt werden, wenn sie auf einer Plattform aggregiert und auffindbar gemacht werden können. Durch eine kontinuierliche Befüllung der Datenbank aus Projekten der öffentlichen Hand verdichtet sich die räumliche Verteilung der ermittelten Kennwerte entlang der Infrastrukturen (Wasserstraße, Straße, Bahn, Stromtrassen etc.). Dadurch entsteht langfristig eine Datenbasis, die im Falle von Sanierungsarbeiten sowie Aus- und Neubauten wertvolle Grundlagen liefert. Auch für mögliche Folgen des Klimawandels

Auftragsnummer:

B3952.01.04.70004

Auftragsleitung:



Eberhard Kunz

Auftragsbearbeitung:

Dr. Nebojsa Balic

nebojsa.balic@baw.de

Eberhard Kunz

eberhard.kunz@baw.de

Laufzeit:

2017 bis 2020

und für die Abschätzung von Georisiken ist die Kennwertdatensammlung von unschätzbarem Wert, insbesondere dann, wenn die Verknüpfung des Kennwertdatenportals (bzw. die Integration) mit der Bohrpunktkarte Deutschland und dem zugrundeliegenden Bohrdatenaustauschformat BoreholeML erfolgt.

3 Methoden

Um eine hohe Akzeptanz der Kennwertdatenbank bei Bund, Ländern, Kommunen, Instituten sowie auch bei Ingenieurbüros und interessierten Bürgern zu erreichen, ist eine standardisierte Umsetzung von großer Wichtigkeit. Individuelle Datenbankmodelle sind für lokale Anwendungen sicher sinnvoll, verlieren aber ihre Bedeutung, wenn die Austauschfähigkeit zwischen verschiedenen Nutzern bzw. Nutzergruppen erforderlich oder wünschenswert ist. Ein Datenaustausch sollte hier in beide Richtungen möglich sein.

Für die Umsetzung der GeoVal-Datenbank wird auf das generische Schema von "Observations & Measurements" (O&M) zurückgegriffen (Referenz: OGC 10-004r3 Version: 2.0.0). Das Schema wurde in den Standard DIN EN ISO 19156:2013-10 (Geoinformation – Erdbeobachtung und Erdmessung) überführt.

4 Ergebnisse

Nach der umfangreichen Analyse fachlicher Anforderungen wird ein konzeptuelles Datenmodell als UML-Klassendiagramm erstellt. Dieses Modell orientiert sich stark an den „Observation and Measurements“, ein Standard von OGC, und ist daher gut für die Darstellung der räumlichen und zeitlichen Daten geeignet. Somit bietet dieses Datenmodell die Möglichkeit, die geotechnischen Kennwerte abzubilden, die eine skalare, Vektor- oder Matrix-Datenstruktur aufweisen. Die Ableitung vom konzeptionellen Datenmodell in ein konkretes Datenbankschema wird mittels der DDL-Anweisungen (Data Definition Language) implementiert. Als Datenbankmanagementsystem kommt die Open-Source-Lösung PostgreSQL mit PostGIS-Erweiterung zum Einsatz.

Der Zugriff auf die in der Datenbank gespeicherten geotechnischen Kennwerte erfolgt über eine standardisierte Schnittstelle, die mit dem OGC-Standard WFS (Web Feature Service) kompatibel ist. Dabei wird die aktuellste Version (3.0) dieses Standards verwendet, die eine Abwendung vom bisher im OGC fest etablierten SOAP-GML und zugleich eine Hinwendung zum Rest-JSON-Paradigma bedeutet. Damit werden die modernen Trends beim Einsatz der Webanwendungen berücksichtigt. Die WFS-3.0-Spezifikation sieht vor, dass die angeforderten Daten im GeoJSON- oder XML-Format zurückgeliefert werden. In beiden Fällen wird eine verbesserte Nutzerfreundlichkeit gewährleistet: GeoJSON ist kompakter als GML und lässt sich im Browser anzeigen und bearbeiten, während die vom WFS 3.0 ausgegebenen HTML-Seiten die Visualisierung der angefragten Daten ermöglichen. Die WFS-3.0-konforme Schnittstelle wird mithilfe einer Middleware-Lösung namens ldproxy realisiert, die von dem externen Projektpartner Interactive Instruments GmbH entwickelt und auf die projektspezifischen Anforderungen zugeschnitten wurde.

Eine zentrale Aufgabe dieses Projektes ist die Zusammenführung der in der BAW vorgehaltenen Datenbestände zu dem bereits entwickelten Datenmodell. Diese Zusammenführung wird erschwert, weil die Daten der BAW in unterschiedlichen Quellensystemen vorliegen und sie unterschiedlich semantisch kodiert sind. Es ist eine automatisierte Prozedur entwickelt worden, die die Identifizierung der identischen Datensätze aus heterogenen Datenquellen zwar beschleunigt und optimiert, allerdings eine manuelle Überprüfung nicht komplett ersetzen kann. Ein weiteres Problem bei der Durchführung dieser Aufgabe besteht darin, dass bei einigen Datensätzen die räumlichen Angaben entweder unvollständig sind oder ganz fehlen, was deren genaue Georeferenzierung beinahe unmöglich macht. Darüber hinaus enthalten bestimmte Geo- und Sachdaten Eingabefehler wie Tippfehler, Zahlendreher oder Dubletten, die zuerst erkannt und dann bereinigt oder korrigiert werden müssen. Um die Qualitätssicherung und Datenhomogenisierung der geotechnischen Kennwerte und der dazugehörigen Metadaten zu gewährleisten, werden die Daten aus folgenden BAW-internen Datenquellen bezogen:

- Auftrags- und Dokumentenmanagementsystem EWISA zur Überprüfung der Sachdaten
- Geodatendienste des GeoPortals von der WSV zur Kontrolle der räumlichen Genauigkeit der Daten
- projektrelevante geotechnische Berichte und Gutachten zur Überprüfung der Kennwerteliste

Die Zusammenführung und die Qualitätssicherung der Daten werden halbautomatisch durchgeführt. Der Abruf und die Aufbereitung der Daten aus den obengenannten Datenquellen und aus den Datenbanken mit geotechnischen Kennwerten werden mit den im Rahmen des Projektes entwickelten Werkzeugen realisiert. Zudem wird eine webbasierte Anwendung implementiert, die eine integrierte Sicht auf diese Daten ermöglicht. Die endgültige Kontrolle und die Überführung der Daten werden interaktiv ausgeführt.

Literatur:

DIN EN ISO 19156 (2013): Geoinformation – Erdbeobachtung und Erdmessung.



Böden unter Stoßbelastung

1 Aufgabenstellung und Ziel

Im laufenden Betrieb der Bundeswasserstraßen kommt es auch zu Anfahrungen von Schiffen auf die geböschten Ufer der Wasserstraßen. Die bisher verfügbaren Berechnungsverfahren für die Ermittlung des Bremswegs havarierender Schiffe basieren auf der Annahme eines starren Ufers, z. B. aus Beton. Mit dieser Annahme werden zwar die größtmöglichen Kontaktkräfte zwischen Schiff und Böschung sowie der größtmögliche vertikale Weg (Anhebung) des Schiffes aus dem Wasser berechnet, die im Bereich der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) dokumentierten Schadensfälle zeigen jedoch, dass die Schiffe in das Ufer eindringen, sodass die Annahme der starren Böschung nicht als realitätsnah gelten kann. Aufgrund der im Vergleich zur starren Böschung geringeren Kontaktkräfte wird in der Tendenz bei der Anfahrung an eine verformbare Böschung ein längerer horizontaler Bremsweg erwartet, sodass die vorhandenen Berechnungsverfahren für die Randbedingungen der verformbaren Böschung erweitert werden müssen.

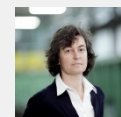
2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Obwohl die Schäden am Schiff und an den Ufern meist ohne längere Unterbrechungen des Betriebs behoben werden können, ist es für die Einschätzung von Gefahrensituationen einerseits und die Dimensionierung von Schutzbauwerken andererseits von zentralem Interesse, die Bremswege und Kontaktkräfte zwischen Schiff und Ufer wirklichkeitsnah prognostizieren zu können. Solche geböschten Schutzbauwerke aus Bodenmaterial haben bisher insbesondere bei temporären Baugruben in Kanälen und Flüssen ihre Anwendung gefunden. Im Rahmen des Forschungsvorhabens wird das Eindringverhalten von typischen Binnenschiffen senkrecht zur Böschung untersucht. Es wird weiter von einem Böschungskörper aus nicht kohäsivem Bodenmaterial ausgegangen. Das Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung eines analytischen Prognoseverfahrens für den Bremsweg und die Kontaktkräfte zwischen Schiff und Boden. Als Eingangsgrößen werden die Schiffparameter Anfahrgeschwindigkeit und Tiefgang des Schiffes sowie die Böschungsgeometrie (Neigung und Höhe der Böschung) und die Bodenkennwerte (Wichte und Scherparameter) des Bodenmaterials verwendet.

Auftragsnummer:

B3952.02.04.10014

Auftragsleitung:



Regina Kauther
 regina.kauther@baw.de

Laufzeit:

2006 bis 2021

3 Untersuchungsmethoden

Als Untersuchungsmethodik wird die bodenmechanische Modellversuchstechnik angewandt. Die Versuche wurden in den Modellmaßstäben 1:75, 1:23 und 1:17,8 ausgeführt. Dabei wurden in den Versuchen Modelle der für die Binnenwasserstraßen charakteristischen Bugtypen Pontonbug und Spitzbug eingesetzt. Zur Erfassung der Einflüsse aus den hydromechanischen Randbedingungen auf den Stoßvorgang und zur Messung der Porenwasserdrücke im Boden während des Bremsvorgangs wurden zusätzlich drei Naturversuche durchgeführt.

4 Ergebnisse

Die Auswertung der Modellversuche zeigt, dass während des Bremsvorgangs im Boden von einer Mobilisierung des Grenzzustandes des passiven Erddrucks vor der Bugwand ausgegangen werden kann. Die Größe des passiven Erddrucks ist von der Größe und der Neigung der Wandfläche, die mit dem Boden in Kontakt ist, sowie von der Lage der Kontaktfläche in der Böschung (Neigung der Böschung oberhalb der Kontaktfläche und Abstand der Kontaktfläche zur Geländeoberkante) beeinflusst. Bild- und Videoaufnahmen von den Modellversuchen belegen, dass die Bruchzustände dabei mehrfach hintereinander auftreten, da das Schiff weiterfährt bis die kinetische Anfangsenergie transformiert ist. Für das Ponton- und das Spitzbugschiff ergeben sich unterschiedlich große Bremswege (siehe Bild 1). Messwerte für die am Schiff gemessenen Beschleunigungen zeigen, dass Trägheitskräfte nur zu Beginn des Bremsvorgangs und nur beim Pontonbugschiff eine relevante Größe besitzen und auf die Länge des Bremswegs nur einen untergeordneten Einfluss haben. Weitere Versuchsergebnisse sind in Kauther und Schuppener (2007) beschrieben. Es genügen deshalb zunächst Modelle, bei denen der Schiffsstoß als quasistatischer Vorgang abgebildet wird.

Das im Rahmen des Forschungsvorhabens entwickelte bodenmechanische Berechnungsmodell beruht auf dem Energieerhaltungssatz der Mechanik und bilanziert die kinetische Energie des Schiffes zu Beginn des Bremsvorgangs mit der Deformationsarbeit längs des Bremswegs und der potentiellen Energie durch die Anhebung des Schiffes (Kauther und Schuppener 2008). Die flächenhaft und in unbekannter Verteilung zwischen Bug und Boden wirkenden Kontaktspannungen werden dafür zu einer resultierenden Kraft zusammengefasst. Der Angriffspunkt der Kraft ändert sich mit der Lage des Schiffes und der Größe der Kontaktfläche. Außer den Kräften aus dem Erdwiderstand wird die Änderung der Auftriebskraft bei der Anhebung des Schiffes berücksichtigt. Da der Verlauf des Bremswegs nicht von vorneherein bekannt ist, wird das Berechnungsverfahren inkrementell formuliert. Das Berechnungsverfahren wurde zunächst für den Pontonbug aufgestellt. Die Validierung erfolgt anhand der Messwerte aus den Modellversuchen. Es kann gezeigt werden, dass der Verlauf des Bremswegs in guter Übereinstimmung mit den Messwerten berechnet werden und dessen Länge auf der sicheren Seite ermittelt werden kann. Für eine Anwendung des Berechnungsverfahrens auf das Spitzbugschiff muss die Geometrie des Bugs näherungsweise erfasst und wegen der erheblich größeren Eindringung des Spitzbugschiffes in die Böschung auch die Sohlreibung als zusätzliche bremsende Kraft im Rechenverfahren berücksichtigt werden. Mit diesem Berechnungsverfahren wurden auch die drei Naturversuche nachgerechnet. Einflüsse, die beim Modellversuch ausgeschlossen waren, wie z. B. das mit dem Schiff mitbewegte Wasserwellensystem und die Elastizität des Schiffes, haben sich auch beim Naturversuch als nicht relevant herausgestellt. Im Ergebnis kann mithilfe des Berechnungsverfahrens gezeigt werden, dass für die verformbare Böschung im Vergleich zur starren Böschung größere horizontale und kleinere vertikale Bremswege und Kontaktkräfte ermittelt werden.

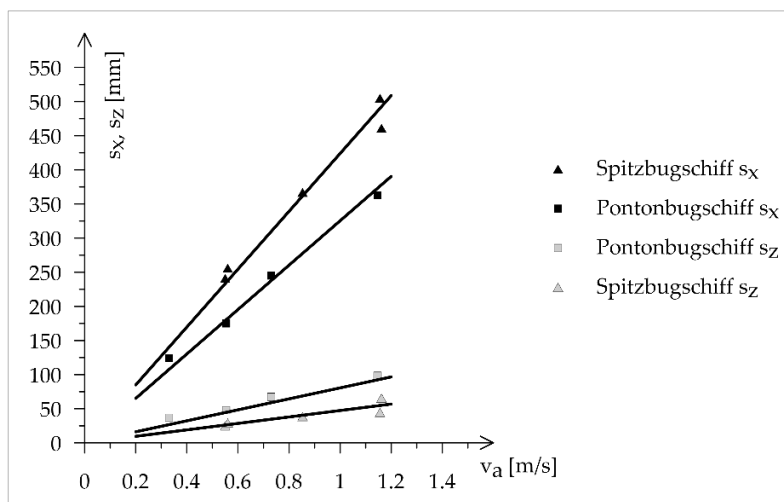
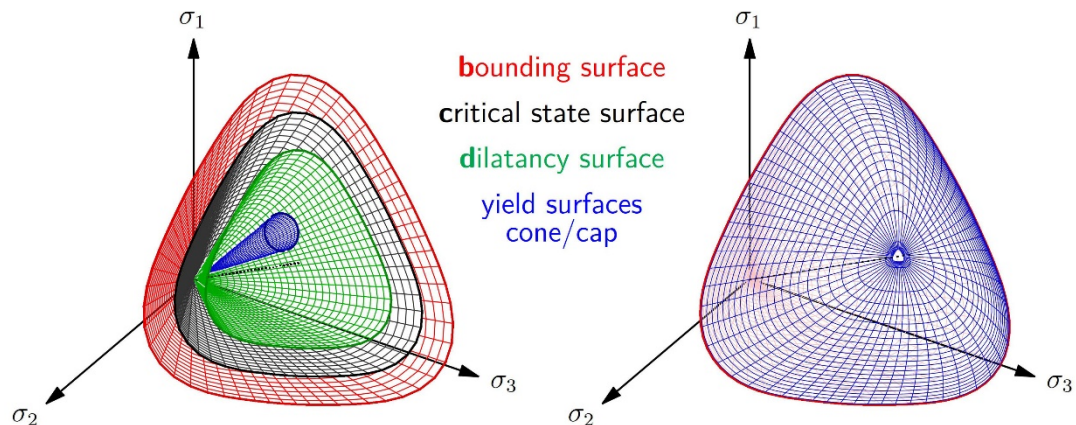


Bild 1: Vergleich des gemessenen Bremswegs für das Ponton- und das Spitzbugschiff.

Literatur:

Kauther, R.; Schuppener, B. (2008). Ship Collision with waterway embankments – a proposal for the calculation of the stopping distance and the contact forces, 11th Baltic Sea Geotechnical Conference, Danzig, Poland.

Kauther, R.; Schuppener, B. (2007): Physical Modelling of Ship Collisions with Embankments of Waterways, IC-CGS 2007, Hamburg, Germany.



Modellierung der Verformung nichtbindiger Böden unter zyklischer Belastungseinwirkung von Schleusenbauwerken

Stoffgesetzentwicklung im Rahmen der Bounding Surface Plasticity

1 Aufgabenstellung und Ziel

Nichtbindige Böden zeigen infolge zyklischer Belastung eine bedeutende Akkumulation plastischer Verformungen. Dies kann sowohl in Laborexperimenten als auch bei Setzungsmessungen wechselbeanspruchter Bauwerke beobachtet werden. Insbesondere bei Schleusen, die in der Regel eine sehr hohe Lastamplitude aufweisen, können beachtliche Langzeitsetzungen verzeichnet werden. Sind diese Verformungen nicht schon in der Planungsphase hinreichend genau bekannt, können sie zu erheblichen Bauwerksschäden führen.

Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines Stoffgesetzes, das es erlaubt, Langzeitsetzungen von Schleusenbauwerken hinreichend genau zu berechnen. Mit den derzeit verfügbaren elastoplastischen sowie den inkrementell formulierten Stoffgesetzen (z. B. Hypoplastizität) in Verbindung mit der Methode der Finiten Elemente (FEM) ist dies nur unzulänglich möglich. Zudem erfordert eine hohe Anzahl von Lastzyklen bei diesen Modellen eine sehr hohe Rechenleistung, da jeder Lastzyklus einzeln berechnet werden muss. In einem FE-Programm (z. B. PLAXIS) implementiert, soll das Rechenmodell in der Lage sein, das Bodenverhalten entlang sowohl elementarer als auch zusammengesetzter Spannungspfade abzubilden. Letztere umfassen neben komplexen Bauprozessen auch Belastungsszenarien mit einer hohen Anzahl an Lastzyklen, die mit akzeptablem Rechenaufwand und ohne rein empirische Ansätze erfasst werden sollen. Damit soll ein Stoffmodell für baupraktische Anwendungen einschließlich einer umfassenden Dokumentation der Funktionsweise und Einsatzgrenzen bereitgestellt werden.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Sowohl zur Vermeidung von Bauwerksschäden als auch für die wirtschaftliche Bemessung einzelner Bauteile ist eine gute Abschätzung der zu erwartenden Langzeitsetzungen unbedingt erforderlich. So ist z. B. die Wahl der einzubauenden Fugenbänder direkt von der Setzungsdifferenz abhängig.

Auftragsnummer:

B3952.02.04.10045

Auftragsleitung:



Katharina Bergholz
 katharina.bergholz@baw.de

Laufzeit:

2006 bis 2021

3 Untersuchungsmethoden

Bei der Entwicklung von Stoffmodellen kommen vorrangig numerische Methoden zum Einsatz. Ein explizit formuliertes Elementversuchsprogramm (constitutive driver) dient der Erarbeitung und Verifizierung des Modells. Dabei wird die Performance des Materialmodells durch den Abgleich mit Ergebnissen aus entsprechenden, in der Literatur dokumentierten Laborversuchen bewertet. Anhand von systematischen Nachrechnungen elementarer und komplexer Spannungspfade werden die Möglichkeiten und Grenzen des Stoffmodells aufgezeigt. Nach der Überführung des Stoffgesetzes in eine Routine mit implizitem Integrationsschema für die Anwendung in einer FEM-Software können Randwertprobleme gelöst und im Sinne einer Validierung mit In-situ-Langzeitmessungen verglichen werden.

4 Ergebnisse

Das aus der Anfangsphase der Forschungsarbeit resultierende elastoplastische Stoffgesetz aus der Klasse der Bounding-Surface-Modelle (z. B. Manzari und Dafalias 1997) wurde durch konstitutive Änderungen den Bedürfnissen praktischer Anwendungen angenähert. Die Struktur des implementierten Modells besteht aus den im Titelbild dargestellten Komponenten: den Modellflächen der Bounding Surface Plasticity (b, c, d), einer konischen, kinematisch verfestigenden Fließfläche (cone, links), sowie einer kappenartigen, isotrop verfestigenden Fließfläche (cap, rechts). Ein klarer Vorteil des Modellkonzepts ist die zustandsabhängige Formulierung im Rahmen der Theorie der kritischen Zustände, sodass das Verhalten von Böden unterschiedlicher Ausgangsspannungszustände und Initialporenzahlen mit einem Parametersatz simuliert werden kann (Bild 1). Darüber hinaus erlaubt die kinematische Verfestigung des Konus die Akkumulation von Verformungen (bzw. Porenwasserdrücken) bei zyklischer Scherung. Die in Anlehnung an das Hardening-Soil-Modell implementierte zusätzliche Kappe ermöglicht plastische (irreversible) Deformationen entlang oedometrischer Spannungspfade.

Da die realitätsnahe Abbildung grundlegender Bodeneigenschaften (z. B. Dilatanz, Entfestigung, Barotropie) Voraussetzung für die erfolgreiche Simulation zyklischen Tragverhaltens und anderer baupraktisch relevanter Belastungssituationen ist, wurden zahlreiche Elementversuche simuliert: Anhand von Labordaten wurden Parametersätze für verschiedene Sande kalibriert und sowohl oedometrische/isotrope Kompressionsversuche als auch drainierte/undrainierte Triaxialversuche zur Überprüfung der Leistungsfähigkeit des Stoffgesetzes nachgerechnet. Alternative Modellierungsansätze für die Dilatanzformulierung und für Verfestigungsmechanismen des Konus wurden im Hinblick auf eine bessere Abbildung experimenteller Daten untersucht und in das neue Modell implementiert. Des Weiteren wurde die Kappe mit einem belastungs- bzw. dehnungsrichtungabhängigen Verfestigungsmechanismus versehen, um das Zusammenwirken der Fließflächen zu optimieren.

In einem früheren Stadium des Projektes wurde die Bedeutung der erhöhten Steifigkeit bei kleinen Dehnungen herausgearbeitet, die zur Entwicklung der Small-Strain-Erweiterung des Hardening-Soil-Modells geführt hat (Benz 2007). Ein den Verfestigungsmodul skalierender Mechanismus sorgt auf ähnliche Weise auch im neuen Bounding-Surface-basierten Modell für die Berücksichtigung des graduellen Steifigkeitsabfalls mit zunehmender Scherdehnung. Analog wird das Akkumulationsverhalten des Bodens bei fortschreitender zyklischer Scherung ebenfalls durch Anpassung der plastischen Steifigkeit beeinflusst (Bergholz 2020). Die Implementierung eines Algorithmus zum Überspringen und zur Extrapolation von Zyklen zur Bewältigung hoher Zyklenanzahlen für die Prognose von Langzeitsetzungen wurde ansatzweise getestet.

Um die Etablierung des Materialmodells in der Ingenieurspraxis zu erleichtern, wurde ein populationsbasierter Optimierungsalgorithmus erarbeitet und erprobt, der allgemein verwendete bodenmechanische Kenngrößen in einen Teil der im Modell intern verwendeten Parameter konvertiert. Das entwickelte Materialmodell wird als benutzerdefiniertes Stoffgesetz (UMAT/UDSM) zum Einsatz in FE-Programmen implementiert und soll, dem Open-Source-Gedanken folgend, frei verfügbar sein.

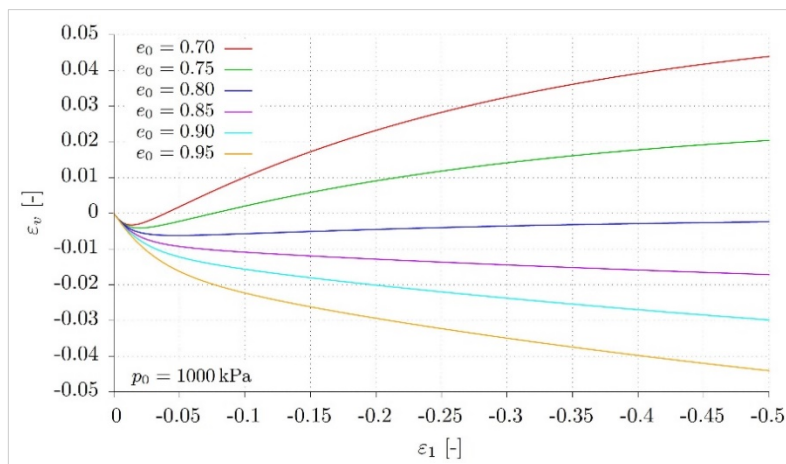


Bild 1: Dilatanz und Barotropie: volumetrisches Verformungsverhalten bei triaxialer Kompression unterschiedlicher Ausgangsdichten.

Literatur:

- Benz, T. (2007): Small-strain stiffness of soils and its numerical consequences. Dissertation, Universität Stuttgart.
- Bergholz, K. (2020): An extended bounding surface model for the application to general stress paths in sand. Dissertation, Technische Universität Dresden.
- Manzari, M. T.; Dafalias, Y. F. (1997): A critical state two-surface plasticity model for sands. In: Géotechnique, 47(2), S. 255-272.



Ermittlung charakteristischer Kennwerte veränderlich-fester Gesteine unter Berücksichtigung des Porenwasserdrucks

1 Aufgabenstellung und Ziel

Veränderlich-feste Gesteine unterscheiden sich in ihrem geomechanischen Verhalten sowohl von den Lockergesteinen (Boden) als auch von den Festgesteinen (Fels). Es handelt sich um eine Gesteinsgruppe, die bei Exposition gegenüber atmosphärischen Gasen und Flüssigkeiten innerhalb kurzer Zeit Zusammenhalt und Festigkeit verliert. Die Untersuchung nach rein boden- oder felsmechanischen Gesichtspunkten hat sich als nicht zielführend erwiesen. Besonderer Forschungsbedarf besteht nach Kanji (2014) im Bereich der Probenahme und bei der Durchführung von Laborversuchen.

In diesem Forschungsvorhaben wird ein Workflow von der Probenahme bis zur experimentellen Untersuchung und der Auswertung im Labor für veränderlich-feste Gesteine erarbeitet. Dies beinhaltet die Wahl geeigneter Probenahmetechniken und -behandlungen, die zu möglichst ungestörten Proben führen sollen, sowie die Identifikation der Faktoren, welche die Probenahme beeinflussen. Es soll erarbeitet werden, mit welchen Versuchen und in welcher Kombination der Probenahmevarianten charakteristische Festigkeits- und Steifigkeitswerte an gesättigten Proben ermittelt werden können.

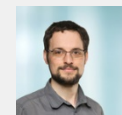
2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Im Rahmen des Neubaus verschiedener Schleusen wie z. B. in Minden, Kriegenbrunn oder Erlangen werden im Untergrund veränderlich-feste Gesteine angetroffen. Eine an das Material angepasste Ermittlung der Festigkeitsparameter ermöglicht eine zuverlässigere Beurteilung von Bauzuständen und der Bauwerk-Boden-Interaktion. Damit werden Ausführungs- und Schadensrisiken minimiert und Kosten eingespart. Zudem können fundiert ermittelte Kennwerte Eingang in numerische Berechnungen finden und deren Qualität verbessern.

Auftragsnummer:

B3952.02.04.70005

Auftragsleitung:



Christian Ungewitter

christian.ungewitter@baw.de

Laufzeit:

2015 bis 2021

3 Untersuchungsmethoden

Vorab wurde durch eine Literaturstudie der gegenwärtige Wissensstand erarbeitet und aktuelle Entwicklungstendenzen im Themenbereich der veränderlich-festen Gesteine identifiziert sowie maßgebende Zerfallsmechanismen recherchiert. Daraus werden Schlussfolgerungen für die Probenahme, die Laboruntersuchungen und die Auswertung der Versuche gezogen.

Anhand der Erkenntnisse zu den Zerfallsmechanismen wurde eine Probenahmematrix erstellt, die darauf ausgerichtet ist, den In-situ-Zustand des veränderlich-festen Gesteins möglichst zu erhalten. In einem kreidezeitlichen Tonstein wurden vier Seilkernbohrungen abgeteuft, von denen je zwei mit einer Klarwasserspülung und mit einer wasserbasierten Polymerspülung ausgeführt wurden. Nach dem Ziehen der Bohrkerne wurde jeder zweite Liner mit einer Salzlösung (2,5 g NaCl/l) aufgefüllt. Die Salzlösung soll das Einsetzen der Zerfallsmechanismen verhindern. Daraus ergeben sich insgesamt vier Probenahmevarianten, die hinsichtlich ihres Einflusses auf die effektiven Scherparameter der Tonsteine ausgewertet und untereinander verglichen werden sollen. Zusätzlich wurde ein Schluffstein ebenfalls mit Seilkernbohrungen beprobt. Hier konnte nur mit Wasser als Bohrspülung gearbeitet werden, sodass bei gleicher Kernbehandlung nur zwei Untersuchungsvarianten (konventionelle Lagerung und Lagerung in Salzlösung) möglich waren.

Bei der anschließenden experimentellen Untersuchung im Labor werden ausschließlich Versuche mit Probekörpern möglichst nah am In-situ-Zustand durchgeführt. Um einen Vergleich der Versuchsergebnisse zu ermöglichen, werden die Proben zunächst genau charakterisiert. Dazu dienen Indexversuche wie die Bestimmung des Wassergehalts und der Dichte sowie die Ergebnisse geophysikalischer Feldmessungen. Die anschließende Durchführung von undränierten und dränierten Triaxialversuchen mit Porenwasserdruckmessungen dient zur Bestimmung charakteristischer Festigkeits- und Steifigkeitsparameter. Zusätzliche Mikrostrukturuntersuchungen mittels spezieller Rasterelektronenmikroskopie-Aufnahmen sollen Hinweise über den Aufbau des Porenraums sowie die Verteilung des Porenwassers geben.

4 Ergebnisse

Vorversuche haben ergeben, dass ein Triaxialversuch mit Tonstein unter bodenmechanischen Gesichtspunkten durchgeführt werden muss (DIN EN ISO 17892-9:2018-07). Für veränderlich-feste Gesteine sind allerdings Modifikationen zu dem in der Norm beschriebenen Vorgehen vorzunehmen.

Berechnungen zum Sättigungsgrad und die Auswertung von Mikrostrukturaufnahmen zeigen, dass das Gestein in situ vollständig gesättigt ist. Diese Beobachtungen bestätigen sich in der Sättigungsphase des Triaxialversuchs, wo nach deren Durchführung keine Hinweise auf eine erhöhte Probensättigung zu erkennen sind. So kann die Sättigungsphase begrenzt bzw. ausgelassen werden. Eine Konsolidierungsphase sollte durchgeführt werden. Bei geringen effektiven Manteldrücken sind dränierte Versuche zu empfehlen. Bei undränierten Versuchen steigt während des Abscherens der Porenwasserdruck so stark an, dass dieser effektive Manteldrücke bis 800 kPa neutralisiert. Alternativ bestünde die Möglichkeit, die Abscherrate stark zu verringern.

In Bild 1 sind die aus Triaxialversuchen ermittelten Bruchwerte von Tonsteinproben mit verschiedenen Kombinationen der Bohrspülung und der Lagerungsvarianten dargestellt. Unterschiede zwischen den einzelnen Probenahmevarianten hinsichtlich der ermittelten Festigkeitsparameter sind baupraktisch nicht relevant, was sich in der starken Überlappung der Punktwolken der Bruchwerte aller Untersuchungsvarianten widerspiegelt. Anhand von Untersuchungen an 10 Minuten und sieben Tage in Laborumgebung getrockneten Proben kann gezeigt werden, dass die Erhaltung des In-situ-Wassergehaltes wichtiger als der Einfluss der Bohrspülung oder Lagerungsvariante ist. Auffällig ist das von Beginn des Abscherprozesses an nicht-lineare Verformungs-Spannungs-Verhalten der Tonsteinproben. Dies sollte entsprechend für numerische Berechnungen berücksichtigt werden.

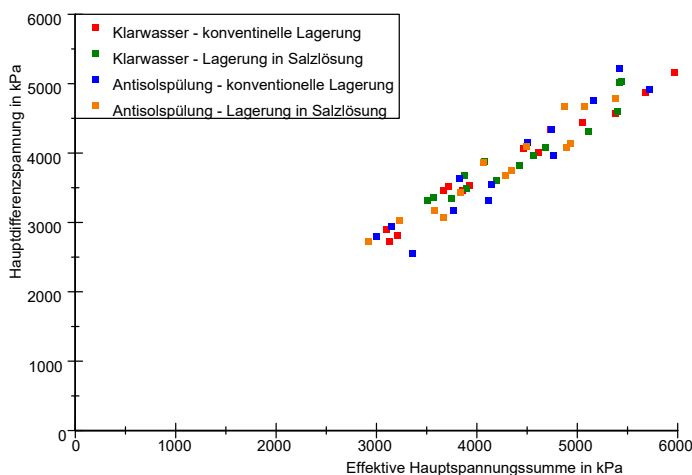


Bild 1: Spitzenfestigkeiten der Proben des Mindener Tonsteins im p-q-Diagramm.

Literatur:

Kanji, M. A. (2014): Critical issues in soft rocks. In: Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering (6/3), 186–195.

Norm DIN EN ISO 17892-9: 2018-07. Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben – Teil 9: Konsolidierte triaxiale Kompressionsversuche an wassergesättigten Böden.



Chemischer Angriff auf geotechnische Elemente

Veränderung der Grenztragfähigkeit

1 Aufgabenstellung und Ziel

Bei den laufenden Projekten und Baumaßnahmen der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) ergeben sich immer wieder Schwierigkeiten, die Auswirkungen eines chemischen Angriffs auf den Mörtel bzw. Beton bei geotechnischen Elementen wie Verpressankern, Kleinverpresspfählen und Betonpfählen bezüglich der dauerhaften Tragfähigkeit realistisch zu bewerten und angemessene Anforderungen an Baustoffe und Bauweisen festzulegen. Die in der Literatur und teilweise auch im Regelwerk sowie in Zulassungen beschriebenen Lösungsansätze sind zumeist entweder nicht praxistauglich oder aufgrund der gewählten Randbedingungen bei den dokumentierten Modellversuchen nicht ausreichend realitätsnah. Im Rahmen eines in drei Teile gegliederten Gesamtvorhabens (1. Einwirkungen von chemischen Substanzen aus dem Grundwasser, 2. Widerstand des Mörtels bzw. Betons gegenüber dem chemischen Angriff, 3. Veränderung des Tragverhaltens aufgrund der Veränderung des Mörtels bzw. Betons) wird in diesem Teilprojekt 3 die Grenztragfähigkeit der geotechnischen Elemente unter der Einwirkung eines chemischen Angriffs untersucht.

Ein Hauptaspekt des FuE-Vorhabens ist die Untersuchung des kalklösenden Kohlendioxidangriffs auf Verpressanker. Zur Tragfähigkeit von Ankern und Verpresspfählen unter Einwirkung von kalklösender Kohlendioxid sind bisher nur wenige Versuchsreihen (Manns und Lange 1993; Hof 2004; Triantafyllidis und Schreiner 2007) durchgeführt worden, welche aufgrund der differierenden Versuchsrandbedingungen nur schwer direkt vergleichbar sind. Unterschiede liegen zum Beispiel in der Größe der Ankerkörper und deren Herstellung. In allen Versuchsreihen zeigte sich in den ersten Monaten eine deutlich erkennbare Abnahme der Tragfähigkeit, die sich mit fortschreitender Dauer des chemischen Angriffs verlangsamt. Dabei variierte der Tragfähigkeitsverlust zwischen 20 und 70 Prozent. Diese divergierenden Ergebnisse für die Grenztragfähigkeit der Verpressanker sollen verifiziert und entsprechend der neuen Erkenntnisse angepasst werden.

Auftragsnummer:

B3952.02.04.70006

Auftragsleitung:

Fabian Heidenreich
 fabian.heidenreich@baw.de

Laufzeit:

2016 bis 2022

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Der Einsatz von Verpressankern, Kleinverpresspfählen und Betonpfählen findet im Rahmen von Baumaßnahmen der WSV in vielfältiger Weise statt. Verwendungsmöglichkeiten liegen beispielweise bei Auftriebssicherungen von Schleusen- und Wehrsohlen, bei Rückverankerungen von Ufereinfassungen aber auch bei der temporären Sicherung von Baugruben. In den Fällen, wo ein erhöhter chemischer Angriff aus dem Grundwasser oder dem Boden auf den Mörtel bzw. Beton dieser geotechnischen Elemente prognostiziert wird, müssen diese aufgrund nicht ausreichender praxistauglicher Erkenntnisse und Lösungsansätze über die Tragfähigkeitsverluste durch kostenintensivere Konstruktionen wie z. B. Stahlrammpfähle ersetzt werden. Die Konsequenzen sind somit deutliche Kostensteigerungen, höhere Lärmbelastigungen, größere Erschütterungen sowie insgesamt ein gestiegener Arbeitsaufwand in Verbindung mit einer längeren Bauzeit.

3 Untersuchungsmethoden

Im Rahmen dieses Forschungs- und Entwicklungsvorhabens wird zum einen ein umfangreiches Laborprogramm mit Modellankern, bei denen baupraktische Randbedingungen wie In-situ-Spannungszustände und der Verpressvorgang berücksichtigt werden können, durchgeführt. Zum anderen findet parallel die Untersuchung an Verpressankern hinsichtlich ihrer Grenztragfähigkeit bei betroffenen Bauvorhaben der WSV statt.

In Verbindung mit der Ruhr-Universität Bochum erfolgte in der ersten Forschungsphase die Entwicklung eines Versuchsstandes, der im Frühjahr 2019 in Betrieb genommen wurde. Eine Erweiterung auf insgesamt sieben Versuchscontainer fand im Februar 2020 statt (siehe Titelbild). Im nächsten Schritt sind Langzeitversuche mit kalklösendem Kohlensäureangriff geplant. Wichtige Aspekte der Laborversuche sind die zeitabhängigen Auswirkungen des chemischen Angriffs auf die Betonoberfläche und daraus resultierende bodenmechanische Einflüsse auf die Grenztragfähigkeit des geotechnischen Elements sowie ein praxisnaher Ansatz zur Bestimmung des Verlustes der Tragfähigkeit in Abhängigkeit von relevanten Bodenparametern.

Zeitgleich zu den Modellversuchen werden bei Baumaßnahmen der WSV Verpressanker und Mikropfähle untersucht, die sich im Bereich von erhöhten Konzentrationen calcitlösenden Grundwassers befinden.

4 Ergebnisse

Wiederholte Ankerprüfungen an Einstab- bzw. Litzenankern im Bereich erhöhter Konzentrationen an kalklösender Kohlensäure an den Schleusen Gleesen (2017, 2018 und 2019) und Bevergern (2011 und 2018), die am Dortmund-Ems-Kanal liegen, haben bisher keine Hinweise auf eine Abminderung der Tragfähigkeit ergeben.

Eine erste Versuchsreihe am Versuchsstand mit einem Fein- bis Mittelsand ohne einen chemischen Angriff hat gezeigt, dass die maximale Ausziehkraft eines verpressten gegenüber eines unverpressten Tragkörpers unter gleichen Versuchsrandbedingungen deutlich ansteigt, was in der Erhöhung der Radialspannung mit der Vergrößerung des Verpresskörperdurchmessers begründet ist (Domes 2015). Bei einem zweiten Sand (Mittel- bis Grobsand) ist im Umfeld des Ankers eine rund zwei bis drei Zentimeter mächtige Ausbildung einer helleren Verfärbung festgestellt worden (siehe Bild 1), die auf eine Penetration der feinsten Zementpartikel in den umliegenden Porenraum des Sandes beim Verpressen hindeutet. Beim zweiten Versuchssand liegt die Tragfähigkeit erwartungsgemäß höher als die des feineren Sandes, wobei fast die doppelte maximale Ausziehkraft erreicht wird. Gleichzeitig weist der Mittel- bis Grobsand eine größere Streuung der Einzelergebnisse auf.



Bild 1: Freigelegter Querschnitt des verfüllten Ankerlochs mit hellerer Verfärbung im Randbereich.

Literatur:

Domes, X. (2015): Cement grouting during installation of ground anchors in non-cohesive soils. Dissertation. Norwegian University of Science and Technology. Trondheim.

Hof, C. (2004): Über das Verpressankertragverhalten unter kalklösendem Kohlensäureangriff. Dissertation. In: Schriftenreihe des Inst. f. Grundbau und Bodenmechanik der Ruhr-Universität Bochum, Heft 35. Bochum.

Manns, W.; Lange, H.-D. (1993): Einfluß aggressiver Wässer und Böden auf das Langzeitverhalten von Verpreßankern und Verpreßpfählen. Abschlußbericht zu Teil 2. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

Triantafyllidis, T.; Schreiner, V. (2007): Tragverhalten von Verpressankern unter kalklösender CO₂-Belastung. Abschlußbericht. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.



Untersuchung des Bodeneintrags in den Frischbeton von Ort betonbohrpfählen

1 Aufgabenstellung und Ziel

Bei der Herstellung von verrohrt gebohrten Bohrpfählen besteht das Risiko eines Bodeneintrags in den Frischbeton beim und nach dem Ziehen der Verrohrung. Im Rahmen verschiedener Bauvorhaben der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) konnte dies bereits beobachtet werden. So wurde z. B. beim Bau einer überschnittenen Bohrpfahlwand in enggestuften Sanden, unterhalb des Grundwasserspiegels Bodenmaterial in die Pfähle eingetragen. Dabei handelte es sich um verkitteten Boden aus dem Bereich des Pfahlfußes, der beim Betonieren an der Verrohrung anhaftete. Dieser Boden kann dann beim Ziehen der Verrohrung verschleppt und teilweise bis an die Oberfläche gefördert werden. Durch die Verschleppung des Bodeneintrags kann es zu einer Verunreinigung des Betons kommen, welche eine Schwächung des Pfahlbetonquerschnittes mit sich bringt.

Das Ziel des Forschungsvorhabens ist es, ein besseres Verständnis der Wechselwirkungen zwischen Frischbeton, Boden und Porenwasser bei der Pfahlherstellung zu erlangen. Dies soll dazu beitragen das Risiko von Ausführungsmängeln bei der Herstellung von Ort betonpfählen zu reduzieren.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Im letzten Jahrzehnt fanden vermehrt gebohrte Ort betonpfähle bei Bauvorhaben der WSV Verwendung. Überschnittene Bohrpfahlwände wurden z. B. an den Schleusenbaugruben der Schleusen Fankel, Zeltingen und Trier an der Mosel und an der Schleuse Bolzum am Stichkanal Hildesheim, sowie an der Schleuse Minden an der Weser als temporäre Baubehelfe ausgeführt. Des Weiteren wurden sie an der Weser bei der Schleusenkammer Dörverden oder als Uferwand bei den Schleusen Lehmen und Trier an der Mosel in das Bauwerk integriert und dienen dort zur dauerhaften Lastabtragung. Für die nächsten Jahre sind an den Schleusenbaugruben des Dortmund-Ems-Kanal (DEK) Nord, in Erlangen und in Kriegenbrunn am Main-Donau-Kanal (MDK) überschnittene Bohrpfahlwände in der Planung. Hierbei gilt es, Ausführungsmängel wie z. B. die oben beschriebenen zu vermeiden, da deren Sanierung, falls überhaupt möglich, zeit- und kostenintensiv ist.

Auftragsnummer:

B3952.02.04.70007

Auftragsleitung:



Hanna Nissen
 hanna.nissen@baw.de

Laufzeit:

2018 bis 2024

3 Untersuchungsmethoden

Untersuchungen mithilfe von In-situ-Messungen und Modellversuchen sollen dazu beitragen, die Wechselwirkung beim Herstellungsprozess abzubilden. Zunächst liegt der Fokus auf der Entwicklung des Frischbetondrucks im Bohrpfahl, um erste Ansätze für die Erfassung der Einflüsse des Betoniervorgangs auf den Boden zu erhalten. Die hierfür zunächst im Labor getesteten Drucksensoren dienen den Messungen zur Frischbetondruckentwicklung auf der Baustelle. Auf Grundlage der Messergebnisse erfolgt dann die Planung der Modellversuche. Es ist geplant, die beobachteten Phänomene parallel mit numerischen Methoden zu simulieren. Als Werkzeug steht z. B. OpenFOAM (CFD) zur Verfügung. Im ersten Schritt wurde im Rahmen einer Literaturrecherche der aktuelle Stand der Technik erfasst.

4 Ergebnisse

Messungen auf Baustellen in Gleesen, Karlsruhe und im Inntal ermöglichen eine erste Abschätzung der Frischbetondruckentwicklung bei verrohrten, im Kontraktorverfahren hergestellten Bohrpfählen mit Wasserauflast. Für die Messung sind Sensoren in fünf Ebenen verteilt über die Pfahlhöhe von bis zu 21,50 m am Bewehrungskorb befestigt. Wann und in welchen Abschlüssen die Verrohrung und das Kontraktorrohr gezogen werden, hat dabei einen entscheidenden Einfluss auf die Druckentwicklung bei der Bohrpfahlherstellung und somit auch auf die maximal gemessenen Drücke. Bei der Herstellung unter Wasserauflast fallen die Drücke ab, sobald die Sensorebene außerhalb des Einflussbereichs von Verrohrung und Kontraktor liegt. Dies lässt darauf schließen, dass der Beton in der Folge auszufiltern beginnt, sodass sich effektive Spannungen im Frischbeton ausbilden können. Des Weiteren können einzelne Ziehprozesse von Verrohrung und Kontraktorrohr in den verschiedenen Messebenen zu Druckspitzen führen (vgl. Nissen et al. 2020).

Es hat sich gezeigt, dass die Maximaldrücke über die Tiefe eine vergleichbare Größenordnung erreichen. Um dies zu verdeutlichen, ist der gemessene Druck p in Bild 1 normiert in Bezug zum maximal möglichen Druck $p_{max} = h * \gamma_c$ (mit γ_c = Frischbetonwichte) des jeweiligen Pfahls und die Höhenlage Δh relativ zur Gesamtlänge h des Pfahls dargestellt. Deutlich sichtbar ist, dass die Frischbetondrücke im oberen Bereich annähernd den theoretischen hydrostatischen Frischbetondruck erreichen. Dieser ist in der Grafik als gestrichelte Linie dargestellt. Im Bereich des Pfahlfußes sind die gemessenen Drücke deutlich geringer. Teilweise steigen sie nur geringfügig gegenüber dem hydrostatischen Wasserdruck in der jeweiligen Tiefe.

Auf der Schleusenbaustelle in Lehmen an der Mosel hat sich die Möglichkeit ergeben, in der späteren Baugrube Forschungspfähle herzustellen. Hier konnten ergänzende Frischbetondruckmessungen durchgeführt werden, die die Beobachtungen der ersten Messungen bestätigen. Die gemessenen Maximalwerte liegen im Streubereich der Messungen aus Karlsruhe, Gleesen und dem Inntal (vgl. Bild 1). Die verschiedenen Betonchargen der Pfähle wurden zusätzlich eingefärbt, um das Ausbreitverhalten des Frischbetons nach dem Freilegen und Aufschneiden der Bohrpfähle nachvollziehen zu können. Ergänzt wurde dies noch durch Temperatur- und Cross-Hole-Messungen. Dies soll weitere Hinweise auf die verschiedenen Herstellungseinflüsse ermöglichen.

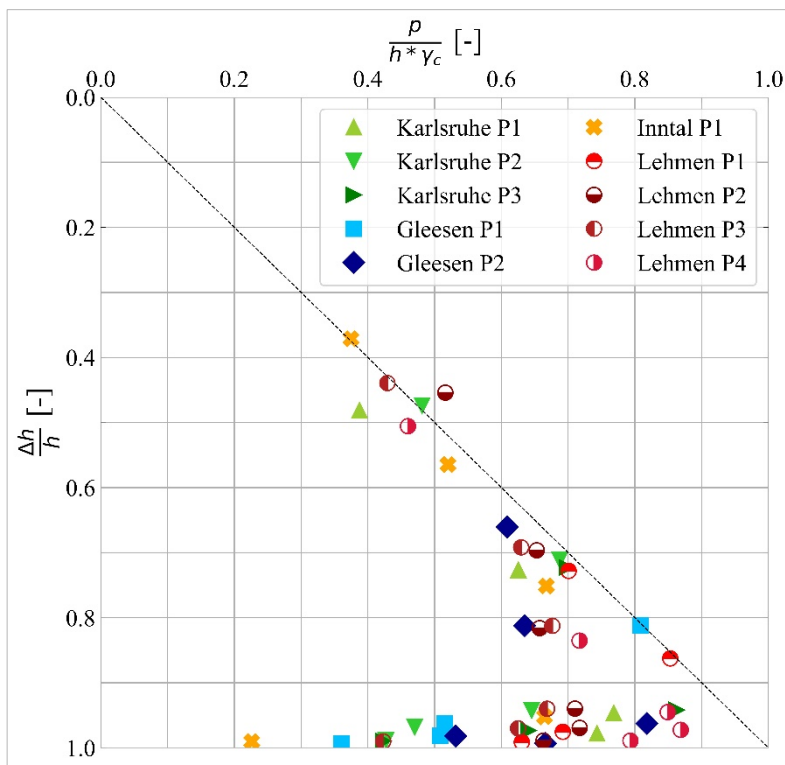
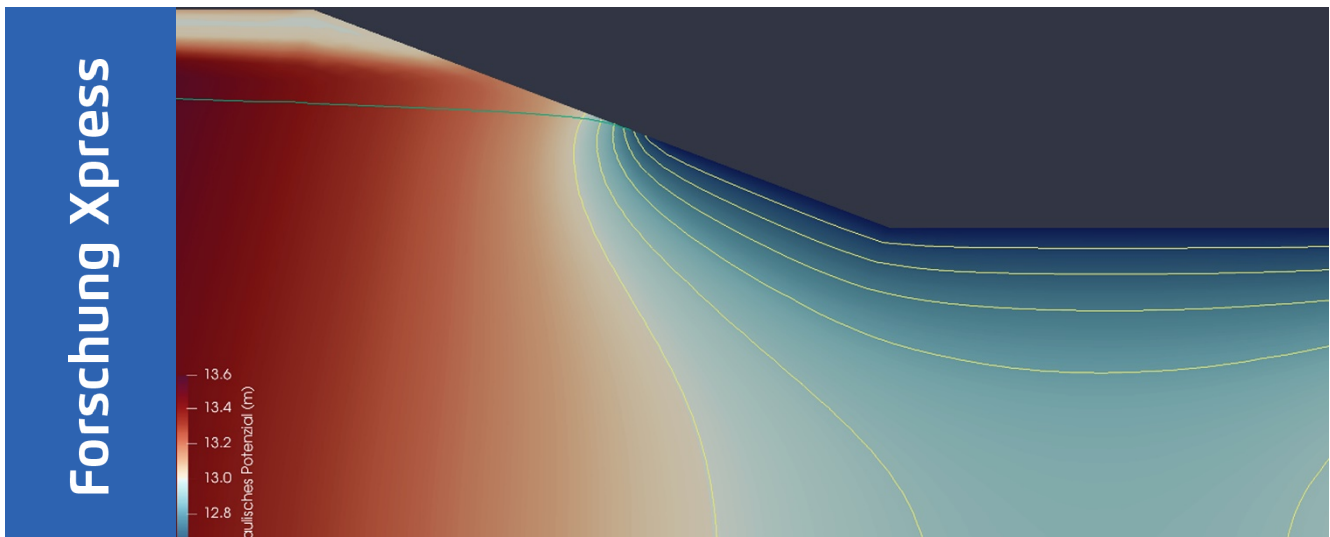


Bild 1: Normierte Maximaldrücke in Bezug zur Höhenlage, bei Herstellung von Bohrpfählen mit Wasserauflast.

Literatur:

Nissen, H.; Herten, M.; Pulsfort, M. (2020): Herstellungseinflüsse auf die Druckentwicklung im Frischbeton bei Bohrpfählen in nichtbindigen Böden. In: Moormann, C.; Vogt-Beyer, C. (Hg.): 12. Kolloquium Bauen in Boden und Fels. Fachtagung über aktuelle Herausforderungen der Geotechnik. Tagungshandbuch 2020. Tübingen: expert Verlag GmbH, S.357–364.



Numerik für Boden-Wasser-Wechselwirkung

Numerische Modellbildung und Simulation der Interaktionen von Porenwasserströmungen und angrenzender Oberflächenwasserströmung

1 Aufgabenstellung und Ziel

Strömungen und schnelle Wasserstandsänderungen im Gewässer können im angrenzenden Gewässerbett (bzw. mineralischen Schutz- und Filterschichten) rasche Änderungen von Porenwasserdruck und -strömung sowie vom Spannungszustand bewirken. Im Grenzfall können diese Einwirkungen zum Verlust der Festigkeit (Geländebruch, Fluidisierung) führen und/oder Boden-transportvorgänge wie Erosion, Suffusion oder Kolmation auslösen. Obwohl das Verständnis dieser Vorgänge für Sicherheit, Unterhaltung und Weiterentwicklung von Wasserstraßen grundlegend ist, ist der gegenwärtige Kenntnisstand unbefriedigend. Neuere theoretische, messtechnische und numerische Entwicklungen erlauben nunmehr eine gekoppelte bodenmechanische, geohydraulische und strömungsmechanische Analyse der interagierenden Strömungs- und Verformungsprozesse, was physikalisch basierte Analysemöglichkeiten eröffnet. Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es, auf Grundlage numerischer Verfahren (Finite-Volumen-Methode) das derzeit vorhandene Prozessverständnis im Modell abzubilden und auf dieser Basis vorhandene Bemessungsansätze zu überprüfen und gegebenenfalls weiter zu entwickeln.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Eine fundierte Beratung der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) zu den Auswirkungen von Baumaßnahmen auf Bauwerke an Bundeswasserstraßen erfordert Analysemethoden, die in der Lage sind, die Wechselwirkungen zwischen Strömung, Bodenverformung, Grundwasserströmung und Materialtransport hinreichend zu berücksichtigen. Dies betrifft sowohl Erdbauwerke, wie z. B. Dämme, (Fluss- oder Baugruben-) Böschungen und Ufersicherungen, als auch die Übergangsbereiche zwischen Oberflächengewässern, Massivbauwerken oder Baugrubenverbauten und dem anschließenden Boden. Ein verbessertes Analyseinstrumentarium ermöglicht darüber hinaus ein besseres Monitoring zur Überwachung von baulichen Maßnahmen an Bundeswasserstraßen.

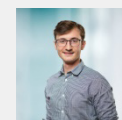
Auftragsnummer:

B3952.00.04.70001

Auftragsleitung:

Dr. Héctor Montenegro
 hector.montenegro@baw.de

Auftragsbearbeitung:



Denis Maier
 denis.maier@baw.de

Laufzeit:

2016 bis 2021

3 Untersuchungsmethoden

In vorliegendem Forschungsvorhaben sollen die Interaktionen zwischen Strömung, Bauwerk und Boden (fluid structure soil interactions, FSSI) untersucht werden. Hierbei kommt es zu wechselwirkenden Beanspruchungen (Last und/oder Verformung) zwischen der Strömung im Gewässer, dem Bauwerk, sei es aus Beton und/oder Stahl (Schütze, Kaimauern, Pfähle usw.) oder aus Geomaterialien (z. B. Ufersicherung), sowie dem Boden/Baugrund. Die theoretische Basis für die numerische Abbildung hydromechanisch gekoppelter Verformungs- und Strömungsprozesse in porösen Medien bildet die von Terzaghi begründete und später durch Biot erweiterte Konsolidierungstheorie. Derzeit implementiert ist ein hydromechanisches 3D-Modell mit zellzentrierter Finite-Volumen-Diskretisierung auf der Basis der Plattform OpenFoam, in dem diverse, als maßgebend erkannte Prozesse Berücksichtigung finden. Das Bodenverhalten basiert auf der Theorie kleiner Verformungen und kann derzeit linear-elastisch sein oder den Bruchkriterien von Mohr-Coulomb bzw. des Bounding-Surface-Plasticity-Ansatzes folgen. Eine wesentliche Rolle bei hydromechanisch gekoppelten Problemen spielt der Sättigungsgrad im Porenraum, denn der Kontrast zwischen Wasser- und Gaskompressibilität bestimmt die Intensität der kinematischen Interaktionen zwischen Matrix und Porenfluid.

4 Ergebnisse

Nach der Implementierung und Verifizierung höherwertiger Stoffmodelle anhand analytischer Lösungen und Vergleichsrechnungen veröffentlichter Datensätze wurden erste realitätsnähere Untersuchungen zur Standsicherheit von geböschten Ufern durchgeführt. Um Wichteänderungen des Bodens bei Auftriebsverlust zu erfassen, mussten die teilgesättigten Strömungsprozesse oberhalb des Wasserspiegels berücksichtigt werden. Für die ungesättigte Bodenzone wurden verschiedene konstitutive Beziehungen zwischen Druck und Sättigung (Wasserspannungskurven) sowie Sättigung und Durchlässigkeit des Bodens implementiert. Diese wurden erweitert, um die Prozesse im Bereich unterhalb des Kapillarsaums, wo Gaseinschlüsse anzutreffen sind, in einem Modellkonzept berücksichtigen zu können (siehe Titelbild: Lage der Sickerlinie sowie Potentialverteilung in einer Kanalböschung unmittelbar nach einem Wasserspiegelabsenk von 1 m). Die implementierte Modellkonzeption erübrigt die gängigen "a-priori-Annahmen" über den Einfluss der teilgesättigten Bodenzone oder über das Vorliegen dräniertes oder undräniertes Verhältnisse und ermöglicht folglich eine realistischere Abbildung geohydraulischer Probleme.

Im Untersuchungszeitraum wurde die Interaktion zwischen einem Festkörpermodell und dem Bodenmodell anhand des Kontaktproblems untersucht. Hierbei geht es um die Beschreibung der 3D-Spannungs-Verformungsprozesse an der Schnittstelle zwischen einem porösen, wassergefüllten und verformbaren Medium und einem starren Körper. Als Beispiel wurde die laterale Beanspruchung eines bindigen Bodens durch einen Pfahl (hier als starrer Zylinder) abgebildet. Das Bodenverhalten wurde gemäß dem Bruchkriterium nach Mohr-Coulomb als elastisch-plastisch angenommen und an der Kontaktfläche Coulomb-Reibung zwischen den Materialien angesetzt. Das Verformungsfeld ist in Bild 1 dargestellt und entspricht dem Verformungsfeld, das sich aus der Umströmung eines Zylinders mit einem stark viskosen Fluid ergibt. Die berechnete Verteilung der infolge von Verformungen induzierten Porenwasserdrücke erscheint ebenfalls plausibel, sodass man von einer guten Abbildung der gekoppelten Strömungs-Verformungsprozesse ausgehen kann.

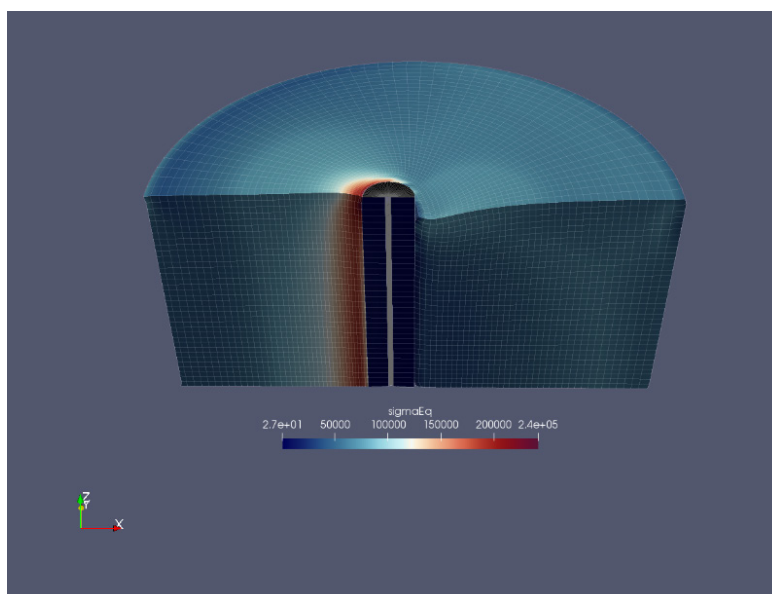


Bild 1: Verformungen und Vergleichsspannungen bei lateraler Beanspruchung eines bindigen Bodens durch einen Zylinder (Schnitt durch die Zylinderachse).

Literatur:

Tang, T.; Hededal, O.; Cardiff, P. (2015): On finite volume method implementation of poro-elasto-plasticity soil model. In: Int. J. Numer. Anal. Meth. Geomech. (39), 1410–1430.



Kolmation als Schlüsselgröße der Wechselwirkung Oberflächenwasser – Grundwasser

1 Aufgabenstellung und Ziel

Die Interaktion zwischen Oberflächengewässern und Grundwasser wird neben den hydrogeologischen Randbedingungen maßgeblich durch die Gewässerstruktur, die Substratzusammensetzung der Gewässersohle und die Ausbildung des Grundwasserleiters beeinflusst (Schälchli 1993). Hierbei sind Kolmationsprozesse an Gewässersohlen, d. h. alle Vorgänge, die zu einer Reduktion des Porenvolumens, einer Verfestigung des Filtermediums und einer Durchlässigkeitsabnahme der Gewässersohle führen, als Schlüsselgrößen zu betrachten. Prinzipiell wird zwischen einer äußeren Kolmation, d. h. einer Ablagerung von Wasserinhaltsstoffen auf der Gewässersohle, einer inneren Kolmation, d. h. dem Eintrag und der anschließende Ablagerung von Wasserinhaltsstoffen im Sohlsubstrat, sowie einer biologischen und auch physiko-chemischen Kolmation, d. h. einer Förderung der Kolmationsbildung infolge biologischer sowie physiko-chemischer Prozesse, unterschieden. Dabei wird die Kolmation von Gewässersohlen von zahlreichen zeitlich und räumlich variablen Einflussfaktoren beeinflusst.

Die komplexen Wirkungszusammenhänge wurden im Zuge von Forschungsaktivitäten unterschiedlicher Institutionen in der Vergangenheit bereits untersucht und in der Fachliteratur beschrieben. Bisher wurden jedoch kaum Untersuchungen unter den besonderen, an Bundeswasserstraßen anzutreffenden Randbedingungen durchgeführt. Dadurch ist eine belastbare Prognose von wasserbaulich induzierten Auswirkungen auf die Wechselwirkung zwischen Oberflächengewässer und Grundwasser im Bereich der Bundeswasserstraßen nur unzureichend möglich.

Ziel des FuE-Vorhabens ist es, die einzelnen – für die Bundeswasserstraßen relevanten – Wirkungsfaktoren dieser komplexen Wechselwirkungen zu identifizieren und hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Kolmationsprozesse näher zu bewerten. Ein weiteres Ziel des FuE-Vorhabens ist die Bewertung verschiedener hydrogeologischer Methoden hinsichtlich ihrer Aussagefähigkeit und ihrer Anwendungsgrenzen in Bezug auf die Beurteilung von Kolmationsvorgängen.

Auftragsnummer:

B3952.03.04.70003

Auftragsleitung:



Daniel Straßer
 daniel.strasser@baw.de



Dr. Hermann-Josef Lensing
 hermann.lensing@baw.de

Laufzeit:

2012 bis 2021

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Durch Unterhalts-, Ausbau- und Renaturierungsmaßnahmen an Bundeswasserstraßen können die Wechselwirkungen zwischen Fließgewässern und dem angrenzenden Grundwasserkörper maßgeblich verändert werden. In Flussabschnitten mit einer naturnahen Wasserstandsdynamik lassen sich baubedingte Auswirkungen auf die quantitativen und qualitativen Grundwasserverhältnisse derzeit nicht mit der erforderlichen Genauigkeit prognostizieren. Diese Wissensdefizite führen bei verkehrswasserbaulichen Maßnahmen im Einflussbereich von besonders geschützten Ökosystemen sowie im Einflussbereich konkurrierender Wassernutzungen (z. B. Uferfiltrat fördernde Trinkwasserfassungen) zu einem erhöhten wasserwirtschaftlichen Konfliktpotenzial. Dieses FuE-Vorhaben soll eine wissenschaftlich fundierte Grundlage liefern, um zukünftig verbesserte Prognosen zu ermöglichen und damit im Rahmen von Genehmigungsverfahren präzisere Aussagen zur vorhabensbedingten Beeinflussung der GW-Verhältnisse zu ermöglichen. Weiter ist zu erwarten, dass auf der Grundlage der Untersuchungsergebnisse Beweissicherungskonzepte wirtschaftlicher und zielführender gestaltet werden können.

3 Untersuchungsmethoden

Am Versuchsstandort Potsdam wurden im Zeitraum zwischen September 2012 und März 2013 zwei Transekte zur kontinuierlichen tiefenorientierten Untergrundtemperaturmessung installiert. Durch die Verwendung der Temperatur als natürlichem Tracer konnten hierdurch bevorzugte Infiltrationszonen in den Untergrund identifiziert und Infiltrationsgeschwindigkeiten sowie Verweilzeiten bestimmt werden. Der Sacrow-Paretzer-Kanal wurde hierfür gezielt als Versuchsstandort gewählt, da im Jahr 2013 bei Ausbauarbeiten die Sohle des Kanals vertieft wurde. Hierbei wurde die vorhandene Kolmationsschicht stark gestört und teilweise entfernt. Begleitet wurde die Messung der tiefenorientierten Untergrundtemperatur durch Monitoring der Grundwasserstände und -temperaturen in 13 Grundwassermessstellen des WNA Berlin sowie der Stadtwerke Potsdam. Bereits im Vorfeld der Ausbauarbeiten wurde der „Ist-Zustand“ der Gewässersohle im Dezember 2012 durch eine flächendeckende Beprobung (Freeze-Core, Infiltrationsversuche) dokumentiert. Weitere Probenahmekampagnen wurden begleitend zum Ausbau des Sacrow-Paretzer-Kanals durchgeführt um die Veränderung der Gewässersohle, beispielweise die Wiederherstellung einer natürlichen Kolmation, fortlaufend zu dokumentieren (Straßer et al. 2015).

Im April 2019 und im Oktober 2019 wurden in Kooperation mit dem Institut für Umweltwissenschaften und Geographie der Universität Potsdam am Standort Brandenburg an der Havel Markierungsversuche mit dem Fluoreszenzfarbstoff Uranin durchgeführt. Die Versuche dienten zur Quantifizierung des Austausches zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser sowie des Einflusses von baulichen Eingriffen an der Gewässersohle auf diesen Prozess. Die Eingabe erfolgte jeweils im oberen Vorhafen der Schleuse Brandenburg. Unmittelbar vor der Eingabe im Oktober 2019 wurden durch das WSA Brandenburg Unterhaltungsbaggerungen an der Sohle des oberen Vorhafens durchgeführt.

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden darüber hinaus Grund- und Oberflächenwasser-Markierungsversuche am Versuchsstandort Hessigheim am Neckar durchgeführt. Die Ausführung erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Institut für Angewandte Geowissenschaften des Karlsruher Instituts für Technologie (Straßer et al. 2017).

4 Ergebnisse

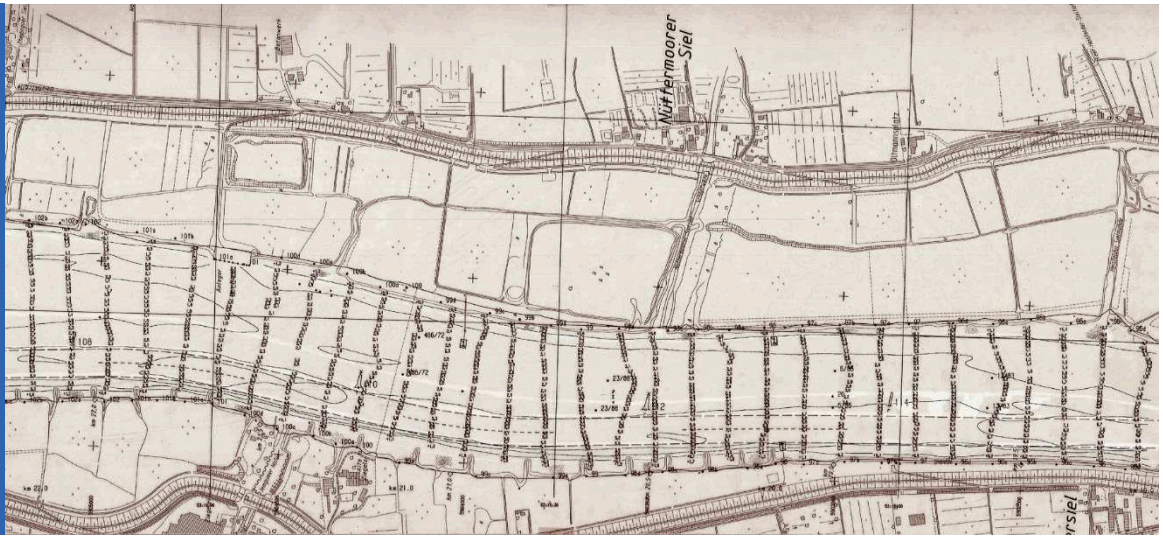
Im Zuge des Vorhabens wurde bisher ein neuer Ansatz zur geohydraulischen Untersuchung und Charakterisierung von Sohlensedimenten entwickelt. Hierdurch kann die hydraulische Durchlässigkeit und die Anisotropie von Gewässersohlen räumlich hochaufgelöst bestimmt werden (Straßer et al. 2015). Die Ergebnisse der Bodentemperaturmessungen im Bereich des Nedlitzer Durchstichs zeigen deutlich eine vorhabenbedingte Veränderung der Infiltration von Oberflächenwasser in den Grundwasserleiter.

Im Rahmen der am Standort Brandenburg an der Havel durchgeführten Markierungsversuche konnte eine weitere Methode zur Quantifizierung der geohydraulischen Auswirkungen der Unterhaltungsmaßnahmen angewandt und erprobt werden. Erste Ergebnisse zeigen eine Veränderung der Austauschprozesse am Standort. Zusätzlich wurden die Austauschströme zwischen Oberflächen- und Grundwasser am Standort Hessigheim am Neckar durch umfangreiche Feldversuche, u. a. Markierungsversuche und weitere hydraulische Versuche, quantifiziert und bewertet (Straßer et al. 2017).

Literatur:

Straßer, D.; Lensing, H.-J.; Nuber, T.; Richter, D.; Frank, S.; Goeppert, N.; Goldscheider, N. (2015): Improved geohydraulic characterization of river bed sediments based on freeze-core sampling – Development and evaluation of a new measurement approach. In: Journal of Hydrology (527), 133–141.

Straßer, D.; Montenegro, H.; Blechschmidt, L.; Liesch, T.; Goldscheider, N. (2017): Multi-tracer approach to characterize hydraulically induced sulfate rock dissolution processes below a weir lock. In: Journal of Applied Water Engineering and Research (5(2)), 142–157.



Interaktion Oberflächenwasser – Grundwasser in den tidebeeinflussten Gebieten der deutschen Nordsee-Ästuar

Fokus Bathymetrie

1 Aufgabenstellung und Ziel

Die Wechselwirkungen zwischen Oberflächengewässern und Grundwasser werden grundsätzlich von den hydrologischen und hydrogeologischen Randbedingungen beeinflusst. Des Weiteren spielen auch die Gewässerstruktur, die Substratzusammensetzung der Gewässersohle und die Stratigraphie des angeschnittenen Grundwasserleiters eine wichtige Rolle. In den tidebeeinflussten Ästuaren der deutschen Nordseeküste werden die Grundwasserverhältnisse zusätzlich durch die Tidedynamik, die Salzgehaltsentwicklung sowie den Schwebstoff- und Sedimenthaushalt geprägt.

Die tideinduzierten Wasserstandsänderungen im Ästuar führen zu einem stark instationären Grundwasserströmungsfeld, dessen Ausdehnung auf Uferseite einige hundert Meter betragen kann. Dabei findet ein ständiger Wechsel zwischen infiltrierenden und exfiltrierenden Grundwasserverhältnissen statt (Führböter 2004).

Ein Ziel des Forschungsvorhabens ist die Verbesserung des grundlegenden Verständnisses dieses komplexen Systems und die Identifizierung relevanter Parameter für den Austausch zwischen Ästuar und Grundwasserkörper. Die Auswirkungen von z. B. Änderungen der Tidedynamik, anthropogenen Eingriffen in den Wasserhaushalt oder durch den Klimawandel hervorgerufenen Veränderungen der hydrologischen Randbedingungen auf das Grundwasserströmungsregime und die Beschaffenheit im Ästuarbereich können so besser prognostiziert werden. Es werden hierzu Methoden und Ansätze entwickelt, die Einblicke in die Austauschvorgänge im Gewässerbett geben und helfen, bestehende Ansätze zur Folgenabschätzung zu verbessern.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Erfahrungen bei WSV-Projekten an Ems, Weser und Elbe zeigen sowohl im Zusammenhang mit den Genehmigungsverfahren als auch bei der Ausführung der Vorhaben die hohe Bedeutung der Thematik Wechselwirkungen zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser für die naturschutzfachliche

Auftragsnummer:

B3952.03.04.70004

Auftragsleitung:

Dr. Sebastian Rudnick
 sebastian.rudnick@baw.de

Auftragsbearbeitung:

Dr. Hermann-J. Lensing
 hermann.lensing@baw.de

Dr. Thomas Nuber
 thomas.nuber@baw.de

Laufzeit:

2016 bis 2022

und wasserwirtschaftliche Bewertung der Maßnahmen. Insbesondere durch maßnahmenbedingte Veränderungen der Tidedynamik und durch Eingriffe in den Schwebstoff- und Sedimenthaushalt der Ästuarie können Änderungen der Grundwasserströmungssituation und der Grundwasserbeschaffenheit in den Ästuargebieten nicht ausgeschlossen werden.

Aufgrund der komplexen Wechselwirkungen zwischen den Oberflächengewässern und dem Grundwasser in den Ästuarbereichen lassen sich die Folgewirkungen von verkehrswasserbaulichen Ausbau- und Unterhaltsmaßnahmen auf die quantitativen und qualitativen Grundwasserverhältnisse derzeit nur eingeschränkt prognostizieren und bewerten. Das FuE-Vorhaben soll eine wissenschaftlich fundierte Grundlage bilden, um zukünftig belastbarere Prognosen zu ermöglichen und somit die Genehmigungsverfahren hinsichtlich der erforderlichen Aussagen zum Grundwasser gezielt zu unterstützen. Außerdem ist zu erwarten, dass auf der Grundlage der Untersuchungsergebnisse die Beweissicherungskonzepte wirtschaftlicher und zielführender gestaltet werden können.

3 Untersuchungsmethoden

Die Interaktion zwischen Ems und Grundwasserkörper wird an drei Standorten entlang der Unterems untersucht. Neben der Erfassung der Grundwasserganglinien (Nuber et al. 2017) werden Grundwasserproben bezüglich der gelösten Inhaltsstoffe und der Isotopenzusammensetzung der Wassermoleküle analysiert. Ein weiterer Baustein für das Verständnis der Interaktion Oberflächenwasser – Grundwasser ist die Morphologie des beteiligten Gewässers. Der Austausch zwischen Ems und Aquifer findet im Untersuchungsgebiet maßgeblich im Bereich von Vertiefungen im Gewässerbett (Kolken) statt, die die sehr gering wasserdurchlässigen Kleinschichten im Untergrund durchschneiden (Führböter 2004). Daher sind Veränderungen der Tiefenstruktur unter bestimmten Voraussetzungen auch mit Veränderungen der Austauschprozesse zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser verbunden.

Für die Betrachtung der Entwicklung der Emssohle werden daher historische Peilpläne digitalisiert (Beispiel siehe Titelbild) und mit aktuellen Vermessungsdaten vervollständigt. Die Daten werden als Gesamtpaket quantitativ und qualitativ betrachtet. So wird die zeitliche Entwicklung der Kolke im Untersuchungsgebiet über den Lauf mehrerer Dekaden nachgezeichnet. Durch die Analyse dieser Veränderungen können Aussagen über die Steuergrößen, die die Austauschprozesse beeinflussen, getroffen werden. Auch die Identifizierung besonders interessanter Bereiche für weitere Untersuchungen ist so möglich.

4 Ergebnisse

Die im Prozess befindliche Auswertung der Jahrespeilungen zeigt ein dynamisches Geschehen auf dem Grund der Ems. Die Lage und die Ausprägung der Kolke ändern sich über den Verlauf des betrachteten Zeitraums und damit auch die potentiellen Kontaktflächen zwischen Oberflächenwasser und Grundwasserleiter. Interessant dabei ist, dass sich die Veränderungen an unterschiedlichen Standorten in unterschiedliche Richtungen bewegen. Abbildung 1 zeigt die Veränderung eines Kolkes über den Zeitraum eines Jahres.

Die in den nächsten Schritten erfolgende Kombination von Ergebnissen aus den unterschiedlichen Untersuchungsbausteinen Bathymetrie und Grundwasser verspricht, spannende Verbindungen zwischen der Oberflächenmorphologie der Flusssohle und der Grundwasserchemie aufzuzeigen.

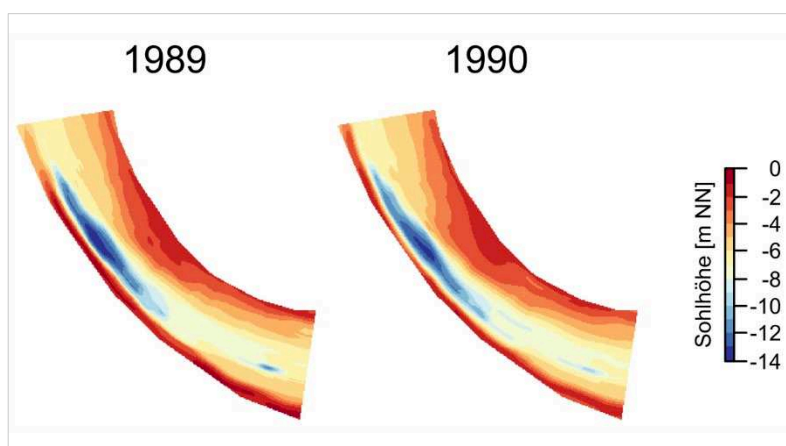


Bild 1: Darstellung der Sohlhöhen Bereich Coldeborg.

Literatur:

Führböter, J. F. (2004): Salz-Süßwasserdynamik im Grundwasser des Ems-Ästuars. Braunschweiger Geowissenschaftliche Arbeiten, Bd. 28.

Nuber, T.; Rudnick, S.; Lensing, H.-J.; Siebenborn, G.; Roeloffzen, F.; Otte, K. (2017): Bau von Grundwasser- und Porenwasserdruckmessstellen zur Grundwasserbeweissicherung an der Unterems. In: 68. Deutsche Brunnenbauertage und BAW-Baugrundkolloquium in Bad Zwischenahn, S. 175–180.



Chemischer Angriff auf geotechnische Elemente

In-situ-Aktivität betonaggressiver Wasserinhaltsstoffe

1 Aufgabenstellung und Ziel

Aktuell gibt es bei den laufenden Projekten der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) immer wieder Schwierigkeiten, die Auswirkungen eines chemischen Angriffs auf den Mörtel bzw. Beton bei geotechnischen Elementen wie Verpressankern, Kleinverpresspfählen und Betonpfählen bezüglich deren dauerhafter Tragfähigkeit realistisch zu bewerten und angemessene Anforderungen an Baustoffe und Bauweisen festzulegen. Exemplarisch seien hier nur die Einwirkungen infolge von Ammonium bei der 5. Schleuse Brunsbüttel, infolge von kalklösender Kohlensäure an der Dortmund-Ems-Kanal (DEK)-Nordstrecke und an der Stadtstrecke Oldenburg sowie infolge von Sulfat an den Staustufen Besigheim und Hessigheim aufgeführt.

Die in der Literatur und teilweise auch im Regelwerk und in Zulassungen beschriebenen Lösungsansätze sind zumeist entweder nicht praxistauglich oder aufgrund der gewählten Randbedingungen bei den dokumentierten Modellversuchen nicht ausreichend realitätsnah. Im Rahmen eines in drei Teile gegliederten Gesamtvorhabens wird folgenden Fragestellungen nachgegangen:

1. Einwirkungen:

Entwicklung geeigneter Untersuchungsmethoden zur Erfassung der dauerhaften In-situ-Aktivität betonaggressiver Wasserinhaltsstoffe aus Böden und Wässern auf geotechnische Elemente, Konzeption physikochemischer Schutzmechanismen bei der Herstellung. (Bearbeitung: K5, G3)

2. Widerstand:

Wie verhalten sich Mörtel bzw. Beton der geotechnischen Elemente bei unterschiedlichen Einwirkungen? Wie kann der Widerstand zielsicher und dauerhaft beeinflusst werden? (Bearbeitung: B3, B2)

3. Tragverhalten:

Welche Auswirkungen auf das Tragverhalten haben Veränderungen am Mörtel bzw. Beton geotechnischer Elemente als Folge eines chemischen Angriffs? (Bearbeitung: G2)

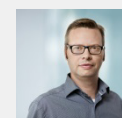
Auftragsnummer:

B3952.03.04.70005

Auftragsleitung:



Dr. Hermann Josef Lensing
 hoerby.lensing@baw.de



Dr. Thomas Nuber
 thomas.nuber@baw.de

Laufzeit:

2017 bis 2022

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

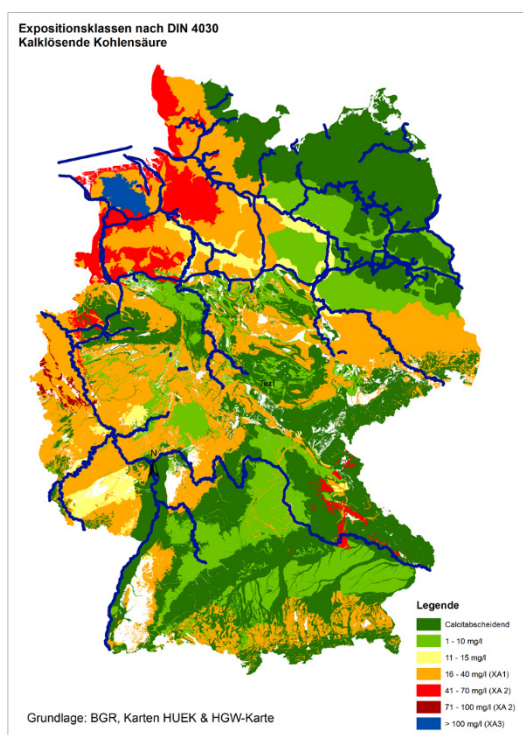
Bei Bauvorhaben an Bundeswasserstraßen werden geotechnische Elemente wie Verpressanker, Kleinverpresspfähle und Betonpfähle aufgrund ihrer kostengünstigen und technisch ausgereiften Herstellung häufig eingesetzt. Typische Einsatzgebiete bilden dabei die Auftriebssicherung von Schleusen- und Wehrsohlen und die Rückverankerung von Ufereinfassungen sowie die temporäre Sicherung von Baugruben. Liegen erhöhte Gehalte betonaggressiver Substanzen in Grundwasser und Boden vor, können die vorgenannten geotechnische Elemente hingegen häufig nicht als dauerhafte Bauteile eingesetzt werden. In diesen Fällen ist man gezwungen, auf meist kosten- und platzintensivere Lösungen wie beispielsweise Stahlrammpfähle oder Anker tafeln und -wände zurückzugreifen. Infolgedessen ergeben sich für die zu erstellenden Bauwerke teils deutliche Kostensteigerungen, höhere Lärmbelastigungen, größere Erschütterungen und längere Bauzeiten.

3 Untersuchungsmethoden

Um im Vorfeld eine grobe Ersteinschätzung der zu erwartenden Betonaggressivität zu treffen und Laboranalysen auf ihre Plausibilität zu prüfen, wurden Karten zur potenziellen Betonaggressivität erstellt. Grundlage dafür sind die Hydrochemischen Hintergrundwerte, die von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe als „Web Map Service“ der Öffentlichkeit zugänglich gemacht wurden (Wagner et al. 2011). Für insgesamt 186 hydrogeochemische Einheiten, die sich aus geologisch-genetischen, lithologischen und hydrochemischen Gesichtspunkten in Deutschland ergeben, wurden die räumliche Verteilung der jeweiligen Expositionsklassen nach der DIN 4030, die sich aus den Hintergrundwerten für die Wasserinhaltsstoffe Ammonium, Magnesium und Sulfat ableiten lässt, dargestellt. Da keine Hintergrundwerte für die kalklösende Kohlensäure angegeben sind, wurden diese Werte mit dem hydrochemischen Programm PhreeqC (Parkhurst und Appelo 1999) für die hydrogeochemischen Einheiten berechnet.

4 Ergebnisse

Bild 1 zeigt exemplarisch die räumliche Verteilung der potenziellen Expositionsklassen, die sich auf der Grundlage der berechneten Konzentrationen an kalklösender Kohlensäure ableiten lässt. Für weite Teile der Norddeutschen Tiefebene sowie Mittel- und Süddeutschlands konnten calcitabscheidende Verhältnisse bzw. geringe Konzentrationen an kalklösender Kohlensäure ermittelt werden, so dass in diesen Gebieten das Auftreten von kalklösender Kohlensäure als gering eingestuft wird. Erhöhte Konzentrationen, die eine Einstufung in die Expositionsklasse XA 1 sowie XA 2 erfordern könnten, wurden für den westlichen Bereich der Norddeutschen Tiefebene einschließlich der Lüneburger Heide, sowie für die Niederrheinische Bucht und für weite Teile des Rheinischen Schiefergebirges berechnet. Die höchsten Konzentrationen an kalklösender Kohlensäure, die eine Einstufung in die Expositionsklasse XA3 erfordern würden, wurden für die Oldenburgisch-Ostfriesische Geest berechnet. Ein Abgleich mit Analyseergebnissen, die im Rahmen von Baugrunderkundungen zahlreicher WSV-Projekte gewonnen werden konnten, zeigt eine gute Übereinstimmung. Vor diesem Hintergrund scheint eine Plausibilisierung von Analyseergebnissen sowie eine mögliche Ersteinschätzung zur Betonaggressivität mit Hilfe dieser Karte zielführend.



Literatur:

Parkhurst, D. L., Appelo, C. A. J. (1999): User's guide to PHREEQC (Version 2): A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations, U. S. Geological Survey.

Wagner et al. (2011): Hydrogeochemische Hintergrundwerte der Grundwässer Deutschlands als Web Map Service, Grundwasser (16), S. 155–166.

Bild 1: Potenzielle Expositionsklassen aufgrund kalklösender Kohlensäure.



Hydraulischer Widerstand feinkörniger Böden

Fracking-Versuche an konsolidierten Schluffproben im Triaxialgerät

1 Aufgabenstellung und Ziel

Hydraulisch induzierte Rissbildung ist in vielen Bereichen der Geotechnik wie der Injektionstechnik, der Erdöl- und Erdgasförderung sowie der In-situ-Bestimmung von Bodendurchlässigkeiten oder Spannungsverhältnissen von Interesse. Seit den Untersuchungen zum Versagen des Teton-Staudammes (Idaho 1976) ist bekannt, dass Risse auch beim hydraulischen Versagen in bindigen Böden eine wichtige Rolle spielen. Die in Kooperation mit der Bauhaus-Universität Weimar im Rahmen des FuE-Projektes „Hydraulischer Grundbruch in bindigem Baugrund“ durchgeführten Laborversuche zeigten, dass das Versagen in tiefen Baugruben in bindigen Böden durch Rissentstehung am Wandfuß eingeleitet wird (Wudtke 2014).

Um diese Rissbildung unter variablen Anfangs- und Randbedingungen im feinkörnigen Boden zu untersuchen, wurde ein modifizierter Triaxialversuch entwickelt, bei dem über eine Kanüle der Porenwasserdruck in der Probenmitte bis zum Aufreißen des Bodens gesteigert werden kann. Dadurch wird in einer Laborstudie mittels Variation verschiedener Einflussgrößen der Widerstand feinkörniger Böden gegen eine hydraulisch induzierte Rissbildung untersucht. Ziel dieser Studie ist die Entwicklung eines geeigneten Nachweises gegen hydraulisches Versagen in bindigen Böden, durch den die physikalischen Gegebenheiten ausreichend berücksichtigt werden.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Für Baugruben im Grundwasser und unterströmte Bauwerke ist nach DIN EN 1997-1 (Eurocode 7) stets der Nachweis gegen hydraulischen Grundbruch, der jedoch auf dem Versagensbild von nichtbindigem Boden beruht, zu erbringen. Da in feinkörnigem Baugrund unter hydraulischer Belastung andere Versagensmechanismen maßgebend werden, führt diese Nachweisführung teilweise zu einer deutlichen Überdimensionierung der Bauwerke. Für eine wirtschaftliche und sichere Bemessung der Baumaßnahmen der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) ist daher eine Anpassung des Nachweiskonzeptes für feinkörnige Böden unerlässlich.

Auftragsnummer:

B3952.03.04.70006

Auftragsleitung:



Helen Machacek
 helen.machacek@baw.de

Laufzeit:

2016 bis 2021

3 Untersuchungsmethoden

Zur Quantifizierung des Widerstands feinkörniger Böden gegen hydraulisch induzierte Risse werden Versuchsreihen in dem modifizierten Triaxialgerät durchgeführt. Die Rissentstehung beginnt an einer lokalen Fehlstelle, wo aufgrund der hohen Beanspruchung und einer Inhomogenität der Widerstand des Materials überschritten wird. Von dort breitet der Riss sich entsprechend der Spannungsverteilung und weiterer Schwachstellen in der Probe bis zum Erreichen eines Grenzgleichgewichtes aus. Um verschiedene Einflussgrößen auf den Risswiderstand zu quantifizieren, sind möglichst homogene, künstlich konsolidierte Probekörper erforderlich. Durch CT-Aufnahmen und Quecksilberporosimetrie konnte gezeigt werden, dass durch die gewählte Probenpräparation kaum Störstellen im Korngerüst vorhanden sind (Günther 2019).

In den Versuchsreihen werden Probenmaterial (Schluff, Kaolin und Bentonit), Überkonsolidierungsgrad $OCR = p'_c / p'$, Spannungsverhältnis $K = \sigma'_h / \sigma'_v$ und Drainagebedingungen (drainierte bis undrainierte Belastung) variiert. Zunächst erfolgen analog zu einem gewöhnlichen Triaxialversuch eine Sättigungsphase und eine Konsolidierung der Probe. Anschließend wird die Probendurchlässigkeit bei konstantem Druckgradienten bestimmt. Die danach durchgeführte Belastung entspricht der eines Fracking-Versuchs: Während der Zeldruck und die Porenwasserdrücke an Kopf- und Fußplatte konstant gehalten werden, wird der Porenwasserdruck in der Mitte der Probe über die Kanüle bis zum Aufreißen der Probe gesteigert. Die Entstehung von hydraulisch induzierten Rissen ist durch eine Zunahme des Volumenstroms und einen plötzlichen Druckabfall an der Kanüle gekennzeichnet. Zur Untersuchung des Rissbildes sind als zerstörungsfreie Methode Scans an ausgebauten Proben im nano-CT durchgeführt worden (Günther 2019). Eine schnellere und kostengünstigere Variante ist das Einspritzen einer violetten Kaliumpermanganat-Lösung nach Probenausbau, die das vorhandene Rissbild einfärbt.

4 Ergebnisse

Die ersten Versuche mit Variation von K und OCR wurden an Schluff durchgeführt. In Bild 1 sind links die gemessenen effektiven Aufreißdrücke $p'_{fr} = p_{fr} - p_{w0}$ aus insgesamt 23 Einzelversuchen über dem mittleren effektiven Druck $p' = (\sigma'_v + 2\sigma'_h) / 3$ aufgetragen, wobei p_{w0} dem initialen Porenwasserdruck und p' der Anfangsspannung vor der hydraulischen Belastung entsprechen. Zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit der Fracking-Versuche wurde jeder Einzelversuch zwei- bis viermal wiederholt. Die relativ geringen Abweichungen zwischen den ermittelten Aufreißdrücken sind anhand der grauen Balken zu erkennen. Zur Bestimmung eines Widerstands gegen die hydraulische Beanspruchung wird die effektive Zugfestigkeit $\sigma'_t = p'_{fr} - p'$ eingeführt, die wiederum durch die Normalisierung σ'_t / p' eine Vergleichbarkeit der Versuche mit unterschiedlicher mittlerer Ausgangsspannung p' ermöglicht. Dadurch kann im Diagramm rechts in Bild 1 ein Anstieg des hydraulischen Widerstands mit dem Überkonsolidierungsgrad gezeigt werden.

Die Intensität der Rissausbildung, die nach Ausbau der Schluffproben durch Einfärben festgestellt wurde, variiert im Gegensatz zu den reproduzierbaren Aufreißdrücken stark. Grundsätzlich wurden jedoch bei normal-konsolidierten Proben ($OCR = 1,0$) horizontale Risse beobachtet, während der Riss bei überkonsolidierten Proben ($OCR > 1,0$) sich diagonal ausbreitet. Eine rein vertikale Rissausbreitung wurde nur bei den Versuchen mit $\sigma'_v > \sigma'_h$ beobachtet (Machacek 2019). Im Titelbild sind beispielhaft besonders deutliche Rissbilder von Proben mit $OCR = 1$ und $OCR = 4$ dargestellt.

Der eindeutige Einfluss von p' und OCR auf den Aufreißdruck und gleichzeitig die große Varianz in den Rissbildern zeigen die Komplexität der Rissausbreitung in feinkörnigen Böden. Zur zukünftigen Ermittlung geeigneter Versagenskriterien wird daher der Fokus auf die initiale Rissentstehung gelegt.

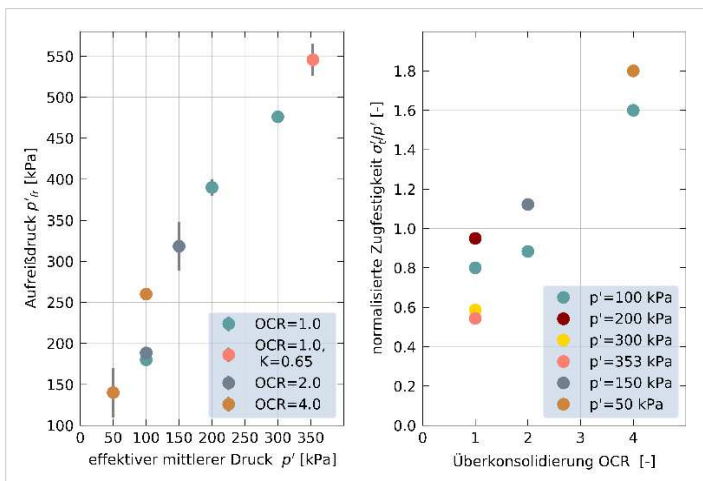


Bild 1: Anstieg des gemessenen Aufreißdruckes bei Rissentstehung mit der Ausgangsspannung p' (links); Zunahme der Zugfestigkeit mit OCR (rechts).

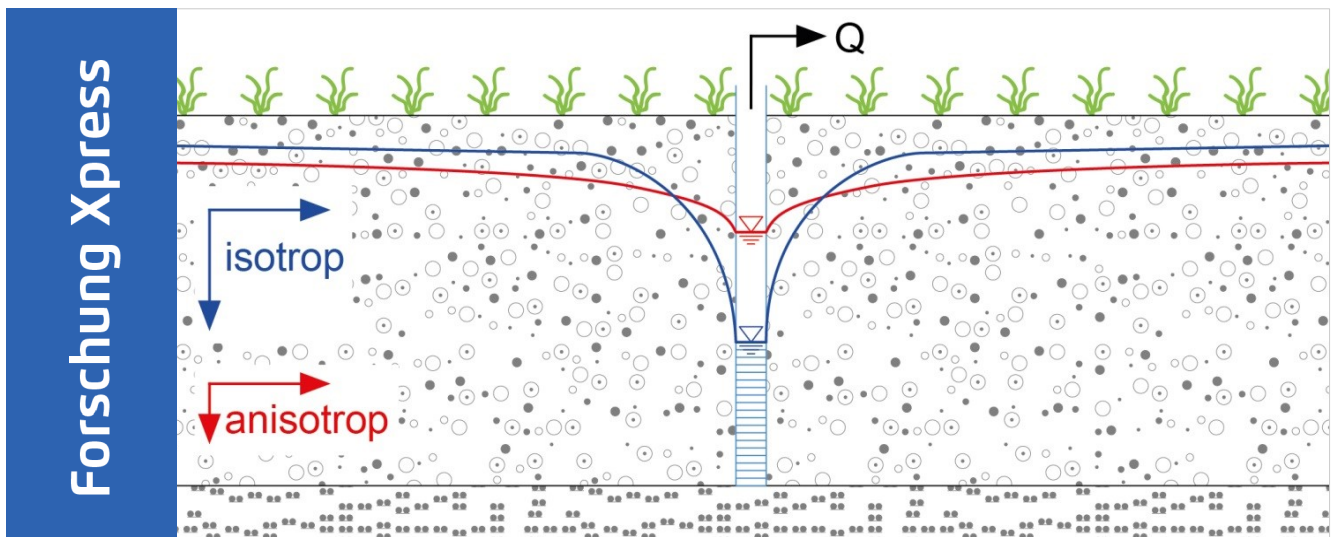
Literatur:

DIN EN 1997-1:2009-09 (Eurocode 7): Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allg. Regeln. Berlin: Beuth-Verlag.

Günther, H. (2019): Development of a triaxial test for hydraulic loading of fine-grained soil. In: Proceedings of the XVII ECSMGE-2019. Reykjavik.

Machacek, H. (2019): Experimentelle Untersuchung zur hydraulischen Rissentstehung in feinkörnigen Böden. In: DGGT (Hg.): Fachsektionstage Geotechnik 2019. Würzburg.

Wudtke, R.-B. (2014): Hydraulischer Grundbruch im bindigen Baugrund. Weimar: Bauhaus-Universitätsverlag.



Geohydraulische Anisotropie des Untergrunds

Ein neuer Ansatz: Kopplung experimenteller und numerischer Untersuchungsmethoden

1 Aufgabenstellung und Ziel

Geohydraulische Berechnungen basieren zumeist auf der Annahme bereichsweise homogener und isotroper Grundwasserleiter und -geringleiter. Dies bedeutet, dass die hydraulische Durchlässigkeit innerhalb einer geologischen Formation als konstant und richtungsunabhängig angenommen wird. Da die einzelnen Kornpartikel einer geologischen Formation jedoch zumeist nicht gleichförmig abgelagert werden und selten kugelförmig sind, orientieren sie sich zumeist während der Ablagerungsprozesse und bilden Lagen aus Feinsedimenten. Kornanalytisch kann hier zwar eine Homogenität nachgewiesen werden, in Bezug auf die hydraulische Durchlässigkeit trifft dies jedoch nicht zu. In den meisten Fällen ist die hydraulische Durchlässigkeit eines Sedimentkörpers in horizontaler Richtung wesentlich größer als in vertikaler Richtung. Dieses Phänomen wird als Anisotropie bezeichnet.

Speziell in größeren Skalen (räumlich) wirkt sich die Anisotropie des Untergrunds maßgeblich auf dessen effektive Durchlässigkeit aus, wodurch beispielsweise die räumliche Ausbreitung von Absenkrüchtern bei Wasserhaltungsmaßnahmen nachhaltig beeinflusst werden kann. Für die Planung und Dimensionierung von Wasserhaltungsmaßnahmen liegt jedoch meist keine ausreichende Kenntnis über die Anisotropie des Untergrunds vor. Oftmals wird deshalb auf Literaturangaben zurückgegriffen, in denen das Anisotropieverhältnis von horizontaler und vertikaler hydraulischer Durchlässigkeit natürlich abgelagerter Sedimente mit Werten zwischen 2 und 10 beschrieben wird. Je nach Standort kann der Wert der tatsächlich vorliegenden Anisotropie jedoch noch deutlich von diesen Größen abweichen bzw. räumlich stark variieren. Hierdurch entstehen bei der Planung von Wasserhaltungsmaßnahmen große Unsicherheiten, woraus ggf. ein erhöhter Aufwand mit entsprechenden Kosten resultiert.

Geohydraulische Standarduntersuchungsmethoden eignen sich nur in geringem Maß, um Informationen über die hydraulische Anisotropie von Sedimentkörpern zu erhalten. Durch die meisten dieser Verfahren kann nur die horizontale, selten auch nur die vertikale Durchlässigkeit des Untergrunds bestimmt werden (Bagarello et al. 2009). Durch Pumpversuche kann in bedingtem Maß ein Rückschluss auf die Anisotropie des Untergrunds gezogen werden

Auftragsnummer:

B3952.03.04.70007

Auftragsleitung:



Daniel Straßer
 daniel.strasser@baw.de

Auftragsbearbeitung:

Universität Tübingen,
 Zentrum für Angewandte
 Geowissenschaften

Dr. Carsten Leven-Pfister
 carsten.leven-pfister@uni-tuebingen.de

Laufzeit:

2016 bis 2020

(Neumann 1975). Die hierbei ermittelten Werte basieren jedoch meist auf einer an wenigen Beobachtungspunkten erhobenen Datengrundlage. Die Auswertung erfolgt dabei auf Grundlage analytischer Lösungen für stark vereinfachte Modellannahmen. Die Zuverlässigkeit der ermittelten Werte ist deshalb zum einen von der Datengrundlage und zum anderen von der Eignung des Berechnungsansatzes für die jeweils vorliegenden Randbedingungen abhängig. Prognostizierte Grundwasserspiegeländerungen mittels numerischer Modelle, die auf einer geringen Datengrundlage erstellt wurden, korrelieren oftmals nicht mit tatsächlichen Beobachtungen.

Aus diesem Grund ist es erforderlich, geeignete Methoden zu entwickeln, um die Erkundungsergebnisse zu verbessern und dadurch die Prognosefähigkeit deutlich zu steigern.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Durch ein verbessertes Prozessverständnis, jedoch vor allem durch die Verfügbarkeit verbesserter Werkzeuge zur Bestimmung der Anisotropie von Sedimentkörpern, wird eine effizientere Beratung im Vorfeld von Baumaßnahmen an Bundeswasserstraßen ermöglicht. Planung und Dimensionierung von Wasserhaltungsmaßnahmen können effizienter erfolgen. Außerdem kann die Prognose der Auswirkungen von baulichen Maßnahmen an Bundeswasserstraßen auf den angrenzenden Grundwasserleiter verbessert werden.

3 Untersuchungsmethoden

Feldversuche

In Abstimmung mit dem Regierungspräsidium Freiburg wurde zur Durchführung der Feldversuche ein geeigneter Standort im Nahbereich des Oberrheins gefunden. Hier wurde im Jahr 2019 ein leistungsstarker Grundwasserentnahmebrunnen für die Durchführung von Pumpversuchen hergestellt. Außerdem wurde geeignete Messtechnik zur Bestimmung von Porenwasserdruck und Temperatur in hoher räumlicher Auflösung (vertikal und horizontal) im Untergrund installiert. Die Veränderung von Druckverhältnissen und Temperaturverteilung im Untergrund konnte hierdurch während mehrerer durchgeführter Pumpversuche an insgesamt 49 unterschiedlich tiefen Grundwassermessstellen bzw. Piezometerrohren erfasst werden.

Numerische Methoden

Durch eine inverse Parameterschätzung auf Grundlage von numerischen Grundwasserströmungsmodellen sollen die geohydraulische Anisotropie sowie Informationen über deren räumliche Varianz auf Basis der Ergebnisse der Feldversuche ermittelt werden.

Ziel der Arbeiten ist die Entwicklung und Evaluierung eines Versuchs-Setups (Kombination von Feldversuchen und numerischen Methoden), das später an anderen Standorten angewendet werden kann.

4 Ergebnisse

Im Zuge des bisherigen Projektverlaufs wurden ein Kooperationsvertrag sowie ein Forschungsvertrag mit dem Zentrum für Angewandte Geowissenschaften der Universität Tübingen geschlossen. Die Bearbeitung des Projekts erfolgt nun gemeinsam mit dem universitären Partner. Im Jahr 2019 wurde auf einem neu eingerichteten Versuchsfeld ein leistungsstarker Grundwasserentnahmebrunnen für die Durchführung von Pumpversuchen hergestellt. Für die Brunnenbohrung am Forschungsstandort wurden ein Bohrdurchmesser von 1.600 mm und ein Ausbaudurchmesser von 800 mm gewählt. Der große Bohr- und Ausbaudurchmesser ist erforderlich, um unter den vorliegenden Randbedingungen bei der späteren Durchführung von geohydraulischen Versuchen im Brunnen eine ausreichend große Pumprate einstellen zu können, durch die im Brunnen eine signifikante Absenkung des Wasserspiegels erzielt werden kann. Diese ist wiederum erforderlich, um eine Ausbreitung des Drucksignals im Grundwasserleiter sicher messen zu können. Mittlerweile wurden in diesem Brunnen mithilfe einer eigens für die Versuche entwickelten Packerkonstruktion 23 Pumpversuche mit unterschiedlichen Grundwasserentnahmetiefen und Pumpraten durchgeführt.

Aktuell wird der gewonnene Datensatz nachbearbeitet und ausgewertet. Hierzu werden numerische Grundwasserströmungsmodelle entwickelt und kalibriert.

Literatur:

Bagarello, V.; Sferlazza, S. and Sgroi, A. (2009): Testing laboratory methods to determine the anisotropy of saturated hydraulic conductivity in a sandy-loam soil. In: *Geoderma* 154(1), S. 52–58.

Neumann, S. P. (1975): Analysis of pumping test data from anisotropic unconfined aquifers considering delayed gravity response. In: *Water Resources Research* 11(2), S. 329–342.



Geohydraulik Schleuse Hessigheim

Die Wechselwirkungen zwischen Bauwerk,
Grundwasserströmung und Gips im Baugrund

1 Aufgabenstellung und Ziel

Im Untergrund der Staustufe Hessigheim am Neckar stehen gipsführende Gesteine des mittleren Muschelkalkes an. Grundwasserinduzierte Lösungsprozesse in diesen Gesteinsschichten verursachen Setzungen und Dolinen an den Bauwerken und im umliegenden Gelände. Durch umfassende Zementinjektionen im Untergrund wurden in den 1980er und 1990er Jahren Hohlräume unterhalb der Bauwerke verfüllt und ein Dichtungsschleier oberwasserseitig der Wehranlage mit Verlängerung nach Westen hergestellt. Damit wurde eine Stabilisierung der Bauwerke erreicht und eine Unterströmung weitgehend verhindert. Baugrundaufschlüsse und geodätische Vermessungen zeigen jedoch, dass die Auslaugungen im Untergrund sowie die Verformungen an den Bauwerken, insbesondere an den unterirdisch umströmten Rändern der abgedichteten Bereiche, weiter voranschreiten.

Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es, zu einem vertieften Prozessverständnis über die Wechselwirkungen zwischen Bauwerken, Untergrund und Grundwasser zu gelangen. Folgende Themen sind Untersuchungsgegenstand:

- Gipslösung und -ausspülung sowie Bildung von Residualsedimenten
- Grundwasserströmungsverhältnisse mit hydraulischen Durchlässigkeiten, Gradienten, Geschwindigkeiten und Fließwegen
- Auswirkungen der bisherigen Sanierungsmaßnahmen in Bezug auf Abdichtung und Umströmung
- Transport und Anreicherung von Sulfat im Grundwasser

Aufbauend auf den Untersuchungsergebnissen sind Empfehlungen für nachhaltige Sanierungsmaßnahmen zu entwickeln. Das im Referat G3 Grundwasser bearbeitete Forschungsvorhaben fokussiert die geohydraulischen Aspekte der Fragestellung und wird in enger Zusammenarbeit mit dem Referat G2 Grundbau durchgeführt.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Voraussetzung für eine nachhaltige Sicherung von Bauwerken einer Staustufe auf lösungsempfindlichem Untergrund sind Detailkenntnisse über die

Auftragsnummer:

B3952.03.04.70008

Auftragsleitung:



Dr. Cindy Giersch
cindy.giersch@baw.de

Laufzeit:

2018 bis 2021

Wirkungszusammenhänge im Untergrund. Am Beispiel der Staustufe Hessigheim werden die Auslaugungsvorgänge in sulfathaltigem Gestein untersucht, um eine verbesserte Planungsgrundlage für die Unterhaltung dieser Anlagen zu schaffen.

3 Untersuchungsmethoden

Durch Automatisierung der Messungen in einem großen Teil der Grundwassermessstellen wird eine Intensivierung der Überwachung der Grundwasserverhältnisse umgesetzt. Darüber hinaus erfolgen im gesamten Bereich der Staustufe Hessigheim wiederholt Messungen des Sulfatgehaltes im Grundwasser, um hydrochemische Veränderungen im Untergrund festzustellen. Sanierungsmaßnahmen im Baugrund werden durch ein Monitoring des Porenwasserdrucks, Grundwasserstands und weiterer Parameter begleitet. Alle gewonnenen Erkenntnisse fließen in ein numerisches Grundwasserströmungsmodell ein. Die Modellierung dient der Darstellung des derzeitigen Baugrundzustandes und dessen fortschreitender Auslaugung. Darüber hinaus werden die Auswirkungen geplanter Sanierungsmaßnahmen auf die geohydraulischen Verhältnisse anhand entsprechender Szenarien untersucht.

4 Ergebnisse

Die Auswertungen der bisherigen geohydraulischen Untersuchungen bestätigen, dass im Bereich der Staustufe Hessigheim sehr komplexe Grundwasserströmungsverhältnisse vorherrschen. Das obere Grundwasserstockwerk der Neckarkiese ist gut durchlässig, während das untere, aus teilweise ausgelaugten Festgestein bestehende Grundwasserstockwerk, sehr heterogene Eigenschaften aufweist. Beide Grundwasserstockwerke sind hydraulisch nicht vollkommen voneinander getrennt. Daher führen sowohl die horizontale Umströmung abgedichteter Bereiche als auch vertikale Grundwasserbewegungen zu lokal erhöhten Fließgeschwindigkeiten, welche wiederum eine fortschreitende Auslaugung der gipsführenden Schichten bedingen. Als Sanierungsmaßnahme wird neben Bodenverbesserungen die Herstellung von Drainagen untersucht, welche den kontrollierten Abstrom des Festgesteinsgrundwassers ermöglichen.

Den derzeitigen Schwerpunkt der Arbeiten bildet die hydrogeologische Begleitung der Baugrundsanie rung im Bereich der Schleusenplanie. Zunächst erfolgte ein Monitoring der Grundwasserverhältnisse während der Herstellung von Testfeldern für Verdichtungsinjektionen. In vier voll verdämmt (fully-grouted) ausgebauten Messstellen wurde der Porenwasserdruck gemessen. Während der Injektionsarbeiten kam es infolge mehrerer Injektionsstufen zum Anstieg und in einzelnen Fällen zu einer Abnahme des Porenwasserdrucks. Die zeitliche und räumliche Verteilung des Porenwasserdrucks bestätigt insgesamt das Vorliegen eines hydraulisch sehr heterogenen Baugrundes.

Als ein weiterer Arbeitsschritt wurde ein numerisches Grundwasserströmungsmodell erstellt und anhand der Grundwasserpotenzialmessungen an den derzeitigen Baugrundzustand unterhalb der westlichen Schleusenplanie angepasst. Die Berechnungsergebnisse für mehrere modellierte Sanierungsszenarien ermöglichen Aussagen über hydraulische Auswirkungen der geplanten Baugrundverfüllung und -verdichtung. Demnach führt eine Verdichtung des Untergrundes im Bereich der Schleusenplanie zu einer Verringerung der Durchlässigkeitsverhältnisse und letztlich zur Verlagerung der Grundwasserströmungsmaxima an deren Rand (siehe Bild 1). Um eine fortschreitende Auslaugung in diesem Bereich zu verhindern, ist die Errichtung einer Drainage als hydraulische Ausgleichsmaßnahme vorgesehen. Die Drainage ermöglicht den Abstrom des Festgesteinsgrundwassers über doppelt verfilterte Brunnen in den gut durchlässigen Neckarkies und damit die Entspannung eines möglichen Grundwasseraufstaus im Festgestein. Es ist geplant, das Grundwasserströmungsmodell durch Integration neu gewonnener Daten sukzessive anzupassen und Modellierungen für weitere Sanierungsszenarien durchzuführen.

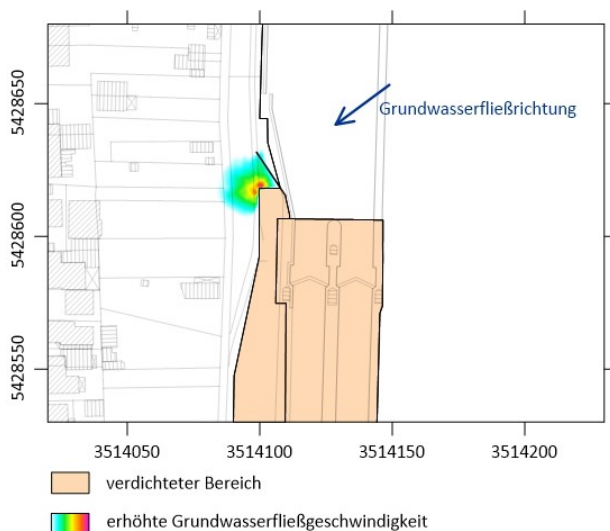


Bild 1: Modellierte Erhöhung der Grundwasserfließgeschwindigkeit im Festgestein nach Sanierung des Baugrundes.



Bestandsaufnahme vorhandener Deckwerke

1 Aufgabenstellung und Ziel

Die derzeitige Dimensionierung von technischen Schüttsteindeckwerken aus losen oder teil- bzw. vollvergossenen Wasserbausteinen erfolgt im Bereich der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) für Standardfälle nach dem „Merkblatt zur Anwendung der Regelbauweisen für Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen“ (MAR), ansonsten auf Basis der „Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Wasserstraßen“ (GGB). Diese beinhalten die theoretischen Bemessungsgrundlagen nach dem derzeitigen Stand der Technik. Die überwiegend auf Erfahrungen beruhenden, parameterbehafteten Bemessungsansätze müssen jedoch weiter präzisiert werden. Dazu ist es erforderlich, verstärkt praktische Erfahrungen mit bestehenden Deckwerken zu sammeln, zu dokumentieren und systematisch auszuwerten, um auf dieser Grundlage die Bemessungsansätze zu validieren und kontinuierlich bedarfsgerecht weiterzuentwickeln.

Aus diesem Grund wurde vor einigen Jahren mit einer umfassenden, langfristig angelegten Bestandsaufnahme vorhandener Deckwerke in der WSV begonnen. Dabei werden unterschiedliche Wasserstraßenabschnitte hinsichtlich des Aufbaus und des Erhaltungszustandes der Deckwerke und des bisher erforderlichen Unterhaltungsaufwandes unter Berücksichtigung der jeweils gegebenen Randbedingungen, insbesondere der hydraulischen Belastungen, begutachtet. Zur Bewertung werden parallel die nach GGB theoretisch erforderlichen Deckwerksabmessungen ermittelt. Das Ziel besteht letztendlich darin, die technischen Deckwerksbauweisen, die an Binnenwasserstraßen mit hohen schiffsinduzierten Belastungen erforderlich sind, durch Präzisierung der theoretischen Grundlagen weiter zu optimieren.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Aufgrund des großen Investitionsvolumens der Ufersicherungen in der WSV kommt einer hinsichtlich Standsicherheit und Kosten optimierten Bemessung der Deckwerke ein hoher Stellenwert zu.

Auftragsnummer:

B3952.04.04.10006

Auftragsleitung:



Petra Fleischer
 petra.fleischer@baw.de

Laufzeit:

2006 bis 2021

3 Untersuchungsmethoden

Im Rahmen der Bestandsaufnahme der zu untersuchenden Deckwerke werden zunächst der Aufbau und Erhaltungszustand der Deckwerke und die technischen Randbedingungen (z. B. Geometrie, Baugrund) in situ sowie der Unterhaltungsaufwand in ausgewählten Wasserstraßenabschnitten erfasst. Unter Wasser werden Untersuchungen mit dem Tauchschacht der WSV durchgeführt. Zur Ermittlung der hydraulischen Uferbelastungen infolge Schifffahrt werden Naturmessungen in ausgewählten Wasserstraßenabschnitten durchgeführt. Im nächsten Schritt sind Berechnungen zur Ermittlung der unter den ermittelten Randbedingungen erforderlichen Deckwerksabmessungen unter Verwendung der Software GBBSoft+ durchzuführen. Auf dieser Grundlage erfolgt für jeden Untersuchungsabschnitt eine vergleichende Dokumentation des ermittelten Soll- und Istzustandes der Deckwerke. Es werden Zustandsanalysen unter Berücksichtigung der konkreten geometrischen, geotechnischen und hydraulischen Randbedingungen sowie umfassende Schadensanalysen durchgeführt. Am Ende sind Empfehlungen für eine optimale Bemessung und Ausführung von Deckwerken zu formulieren.

Parallel werden neue Möglichkeiten zur Erfassung des Zustandes des Deckwerks über und unter Wasser erforscht.

4 Ergebnisse

Bisher wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens Deckwerke in acht unterschiedlichen Abschnitten folgender Wasserstraßen begutachtet: Süd- und Nordstrecke des Dortmund-Ems-Kanals, Wesel-Datteln-Kanal, Main-Donau-Kanal, Mittellandkanal und Untere-Havel-Wasserstraße. Dabei handelt es sich um durchlässige Deckwerke überwiegend aus losen Wasserbausteinen, nur am Mittellandkanal wurden auch Deckwerke aus teil- und vollvergossenen Wasserbausteinen untersucht. Die Ergebnisse wurden ausgewertet und in Teilberichten dargestellt und bildeten u. a. die Grundlage für eine Optimierung der Bemessungsansätze des GBB. 2011 konnte eine überarbeitete Fassung des GBB veröffentlicht werden.

Die bisherigen Untersuchungen haben auch gezeigt, dass Echolot-Verkehrssicherungspeilungen, die bisher schwerpunktmäßig in Bezug auf Untiefen als Gefahr für die Schifffahrt ausgewertet werden, sehr gut zur Beurteilung der Deckwerksoberfläche unter Wasser hinsichtlich eines qualitätsgerechten Einbaus, aber auch langfristig hinsichtlich der Deckwerksschäden herangezogen werden können. Das Merkblatt zur Anwendung von Regelbauweisen für Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen MAR (2008) empfiehlt deshalb zum Nachweis einer qualitätsgerechten Deckwerksherstellung zusätzlich die Durchführung von Flächenpeilungen. Außerdem sollten die Verkehrssicherungspeilungen zukünftig insbesondere in Dichtungsstrecken regelmäßig auch hinsichtlich des Zustandes der Deckschichten ausgewertet werden, um Fehlstellen und eine mögliche Gefährdung der Dichtung rechtzeitig zu erkennen.

Das Forschungsprojekt wird voraussichtlich Ende 2021 mit einer Gesamtauswertung abgeschlossen. Spezielle Fragestellungen zur Standsicherheit, Langzeitbeständigkeit und Wirtschaftlichkeit von Deckwerken werden seit 2016 in einem gesonderten Forschungsvorhaben (B3952.04.04.70009) weiterbearbeitet. Das Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es, ein wahrrscheinlichkeitsbasiertes, zum GBB ergänzendes Bemessungsverfahren für lose Schüttsteindeckwerke zu entwickeln, in dem Unsicherheiten im Berechnungsmodell und in den Eingangsparametern berücksichtigt werden können.



Bild 1: Beispiel für einen Deckwerksschaden infolge des Schraubenstrahls eines manövrierenden Schiffes am DEK, Los2b (2006).

Literatur:

Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2010): Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen (GBB). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien).

Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2008): Merkblatt Anwendung von Regelbauweisen für Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen (MAR). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien).

Fleischer, P.; Kayser, J. (2010): Experience with revetments for inland waterways in Germany. In: PIANC (Hg.): 32nd PIANC International Navigation Congress 2010. 547–560.



Technisch-biologische Ufersicherungsmaßnahmen

Quantifizierung ihrer Belastbarkeit und Möglichkeiten ihrer Anwendung an Binnenwasserstraßen

1 Aufgabenstellung und Ziel

Die überwiegend geböschten Ufer der Binnenwasserstraßen sind bisher in der Regel mit Schüttsteindeckwerken gesichert. Ziel sind stabile Ufer zur Gewährleistung der Sicherheit und Leichtigkeit der Schifffahrt und zum Schutz des angrenzenden Geländes. Seit Einführung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (2000) sind zunehmend ökologische Aspekte zu berücksichtigen, um wieder mehr Lebensraum für Tiere und Pflanzen zu schaffen. Möglichkeiten für ökologische Aufwertungen im Uferbereich sind der Rückbau der vorhandenen Deckwerke oder deren Ersatz durch umweltfreundlichere technisch-biologische Uferschutzmaßnahmen. Dazu muss geprüft werden, wo auf Ufersicherungen verzichtet werden kann bzw. welche naturnäheren Schutzmaßnahmen das Ufer sichern können. Hierfür werden von der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) in Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) im Rahmen des Forschungsprojektes Untersuchungen zur Anwendbarkeit und ökologischen Wirksamkeit technisch-biologischer Ufersicherungen durchgeführt.

Im Projekt arbeiten die Referate Erdbau und Uferschutz (federführend) und Schifffahrt der BAW und die Referate Landschaftspflege/Vegetationskunde und Tierökologie der BfG zusammen. Dadurch können sowohl die technischen als auch die biologischen und ökologischen Aspekte berücksichtigt werden.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Mit den Ergebnissen werden dem planenden Ingenieur der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) Grundlagen zur Bemessung und Ausführung von technisch-biologischen Ufersicherungen und damit wichtige Entscheidungshilfen für zukünftige Uferumgestaltungen zur Verfügung gestellt, wie sie u. a. im Rahmen des Bundesprogramms „Blaues Band Deutschland“ vorgesehen sind.

Auftragsnummer:

B3952.04.04.10151

Auftragsleitung:



Petra Fleischer
petra.fleischer@baw.de

Auftragsbearbeitung:



Volker Schlüter
volker.schluer@baw.de



Carolin Gesing
carolin.gesing@baw.de

Laufzeit:

2006 bis 2021

3 Untersuchungsmethoden

Da es sich bei Pflanzen um lebende Baustoffe handelt, sind bei Anwendung von technisch-biologischen Ufersicherungen wesentlich mehr Einflussfaktoren zu berücksichtigen als bei Steinschüttungen. Bereits vorhandene praktische Erfahrungen werden als Grundlage für weiterführende Untersuchungen ausgewertet. Zu speziellen Fragestellungen werden Labor- und Modellversuche durchgeführt. Von besonderer Bedeutung sind Naturversuche unter Wasserstraßenbedingungen. Dabei werden Messungen zur Ermittlung der hydraulischen Uferwirkungen und der dadurch im Boden entstehenden Porenwasserüberdrücke durchgeführt. Mit Begutachtungen vor Ort werden der Zustand und die langfristige Entwicklung der Maßnahmen aus technischer und ökologischer Sicht bewertet. Durch Aufgrabungen wird die stabilisierende Wirkung der Wurzeln verschiedener Pflanzen untersucht. Unterhaltungsstrategien werden getestet. Letztendlich werden Anwendungsempfehlungen und Bemessungskonzepte erarbeitet.

4 Ergebnisse

Alle bisher vorliegenden Ergebnisse sind auf dem Internet-Fachportal der BAW und BfG veröffentlicht (<https://ufersicherung-baw-bfg.baw.de/binnenbereich/de>). Aktuell bildet der Naturversuch am rechten Rheinufer von km 440,6 bis km 441,6 einen Schwerpunkt, bei dem in Zusammenarbeit mit dem Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt (WSA) Oberrhein seit 2011 neun technisch-biologische Ufersicherungsmaßnahmen getestet werden. In vier Versuchsfeldern wurde die zuvor vorhandene Steinschüttung zwischen Mittelwasser und Böschungsoberkante durch Weidenspreitlagen, vorkultivierte Pflanzmatten und Röhrichtgabionen sowie Steinmattentzen ersetzt. In einem Abschnitt blieb das Ufer weitestgehend ungesichert. In vier Feldern wurde die Steinschüttung durch verschiedene Maßnahmen ökologisch aufgewertet – durch Begrünung mit Weidenetzstangen, Busch- und Heckenlagen, durch Strukturverbesserung mit Kies, großen Einzelsteinen und Totholzfaschinen und durch Schaffung geschützter Bereiche durch einen der Böschung vorgelagerten Steinwall. Seit 2011 wird ein technisches und ökologisches Monitoring von BAW, BfG und WSA durchgeführt.

Bereits 2018 wurden erste Monitoringergebnisse im Rahmen eines BAW/BfG-Kolloquiums in Worms einem breiten Fachpublikum vorgestellt (Kolloquiumsband und Vorträge abrufbar unter <https://ufersicherung-baw-bfg.baw.de/binnenbereich/de/veranstaltungen/kolloquium-2018>). Als maßgebende Belastung am Rhein haben sich die großen Wasserspiegelschwankungen bei gleichzeitigen schiffsinduzierten Einwirkungen erwiesen. Der Anfangszustand nach dem Einbau, wenn sich Wurzeln und Sprosse erst bilden müssen, ist in der Regel der kritische Zustand. Zur Gewährleistung der Stabilität sind häufig temporäre Hilfsmittel, wie Befestigungen oder biologisch abbaubare Geotextilfilter, erforderlich (siehe Forschungsprojekt B3952.04.04.70011).

Nach weiteren Auswertungen wurden die Ergebnisse 2020 in einem umfassenden Abschlussbericht zusammengestellt (abrufbar unter <https://ufersicherung-baw-bfg.baw.de/binnenbereich/de/publikationen/berichte>). Die einzelnen Maßnahmen wurden hinsichtlich der Kriterien Gewährleistung der Uferstandsicherheit, ökologische Wirksamkeit und Kosten im Vergleich zum konventionellen Schüttsteindeckwerk bewertet. Aus technischer Sicht konnten die unterschiedlichen Maßnahmen – mit und ohne technische Komponenten – den Uferschutz unter den Bedingungen am Rhein und in der gewählten Konstruktion und Ausführung nicht alle in gleicher Weise gewährleisten. Nach konstruktiven Optimierungen der Maßnahmen („lessons learned“) und unter Berücksichtigung der gefundenen Anwendungsgrenzen können jedoch alle getesteten technisch-biologischen Ufersicherungen grundsätzlich an Binnenwasserstraßen angewendet werden. Außerdem wurde nachgewiesen, dass sie das Ufer gegenüber Steinschüttungen ökologisch aufwerten können. Je nach Maßnahme werden unterschiedliche Tiergruppen bzw. Pflanzenarten gefördert. Die Herstellungskosten sind überwiegend höher als für technische Deckwerke. Für zukünftige Anwendungen an Binnenwasserstraßen werden Empfehlungen gegeben. Das Monitoring am Rhein wird mit dem Ziel fortgesetzt, die Langzeitentwicklung der Maßnahmen und mögliche Unterhaltungsstrategien zu untersuchen.

Auf der Grundlage der bisherigen Erkenntnisse wurden Kennblätter zu verschiedenen Ufersicherungsarten unter Verwendung von Pflanzen für die Planung und Ausführung der Maßnahmen erarbeitet (<https://ufersicherung.baw.de/de/arbeitshilfen/kennblaetter>). Mit dem Merkblatt DWA-M519 „Technisch-biologische Ufersicherungen an großen und schiffbaren Gewässern“, in das maßgebende Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt eingeflossen sind, steht ein erstes Bemessungskonzept für technisch-biologische Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen zur Verfügung, das bereits in die BAW-Software GBBSOFT+ integriert wurde. Mit dieser Software können jetzt neben Schüttsteindeckwerken auch technisch-biologische Ufersicherungen bemessen werden. Diese Arbeitshilfen werden aktuell bei der Planung und Ausführung von naturnahen Ufersicherungen im Rahmen von Projekten des „Blauen Bands Deutschland“ und bei verschiedenen Renaturierungs- und Ufersanierungsprojekten angewendet. Die Forschungen werden fortgesetzt. Die Erarbeitung von weiteren Regelwerken für die WSV ist ab 2021 geplant.

Literatur:

BAW; BfG; WSA Oberrhein (2020): Versuchsstecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen. Rhein km 440,6 bis km 441,6, rechtes Ufer. Abschlussbericht der Monitoringphase 2012–2017. Karlsruhe, Koblenz, Mannheim.

Söhngen, B.; Fleischer, P.; Liebenstein, H. (2018): German Guidelines for Designing Alternative Bank Protection Measures. In: Journal of Applied Water Engineering and Research. 08/2018. <https://doi.org/10.1080/23249676.2018.1514281>



Filterstabilität grober Gesteinskörnungen

Modellversuche und Messungen

1 Aufgabenstellung und Ziel

Eine Standardbauweise zur Sicherung der Böschungsufer an den Bundeswasserstraßen ist die Schüttung loser Wasserbausteine auf einem Kornfilter. Zur Gewährleistung der Deckwerksstabilität muss die Körnungslinie des Filters auf die Wasserbausteine abgestimmt sein. Das Deckwerk muss der hydrodynamischen Belastung der Schifffahrt widerstehen. Die hydraulischen und mechanischen Vorgänge bei der Durchströmung von Deckschicht und Kornfilter sind weitestgehend unbekannt. Mit Modellversuchen wird die Durchströmung nachgebildet. Die Strömungsgeschwindigkeiten, die Porenwasserdrücke und die Verformungen werden gemessen. Mithilfe der Erkenntnisse sollen bekannte Filterregeln, die überwiegend für feinkörnige Böden formuliert sind, auf grobe Körnungen übertragen und auf die Bemessung für Deckwerke angewendet werden.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Die Deckwerke bilden einen erheblichen Anteil des Anlagevermögens der WSV. Mit Unterstützung dieses FuE-Vorhabens sollen die Bemessungen optimiert und die Unterhaltungsaufwendungen minimiert werden. Mit den Modelluntersuchungen werden die Einflüsse der Schifffahrt auf die Deckwerke genauer quantifizierbar. Eine Optimierung der Filterregeln für grobe Gesteinskörnungen führt zu einer sicheren sowie wirtschaftlicheren Durchführung von Baumaßnahmen an den Bundeswasserstraßen.

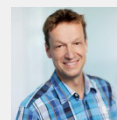
3 Untersuchungsmethoden

Zur Erfassung der komplexen Strömungsverhältnisse und der daraus resultierenden Verformungen werden naturähnliche Modellversuche auf dem BAW-Gelände in Karlsruhe durchgeführt. Dafür wird ein Deckwerk in einen Probekasten mit einer Grundfläche von 1,5 x 1,5 m² eingebaut. Der Deckwerksaufbau entspricht einer Standardbauweise nach dem BAWMerkblatt MAR. Der Probekasten wird in einem Bassin zyklisch auf und ab bewegt und durchströmt. Als Filter werden sowohl filterstabile als auch instabile Körnungen untersucht. Die Drücke und Strömungsgeschwindigkeiten werden in

Auftragsnummer:

B3952.04.04.70001

Auftragsleitung:



Dr. Jürgen Stein
 juergen.stein@baw.de

Laufzeit:

2011 bis 2021

mehreren Ebenen kontinuierlich von elektrischen Aufnehmern aufgezeichnet. Die Oberflächenverformungen werden durch photogrammetrische Scans bestimmt. Die Kornumlagerungen bzw. der Filtrationsvorgang an der Schichtgrenze von Filter zu Wasserbausteinen werden mithilfe von Sichtfenstern beobachtet und fotografiert.

4 Ergebnisse

Es wurden die drei Filterkörnungen Feinsplitt 2/16 mm, Grobsplitt 16/32 mm und Kies 2/63 mm untersucht. Das Deckwerk hatte eine Gesamthöhe von 70 cm, wobei die Schichtdicke des Filters eine Höhe von 30 cm und die Deckschicht aus Wasserbausteinen CP_{90/250} eine Höhe von 40 cm aufwies. Der Nachweis auf Kontakterosion nach dem Filterkriterium nach Myogahara (1993) entsprechend dem BAWMerkblatt Materialtransport im Boden MMB (2013) ist für alle drei Materialien erfüllt. Für jeden Versuch wurde der Kasten 100-mal eingetaucht. Ein Zyklus besteht aus der Eintauchphase, einer Beruhigungsphase bei vollständig eingetauchtem Deckwerk und der Auftauchphase.

Die Kontakterosion ist für jede Filterkörnung unterschiedlich ausgeprägt. Der feinkörnige Splitt 2/16 mm war nicht filterstabil. Das Deckwerk versagte, indem der Splitt mit steigender Zyklenzahl in die Matrix der Wasserbausteine filtrierte und gleichzeitig die Wasserbausteine bis auf den Kastenboden absanken. Der Grobsplitt 16/32 und der weitgestufte Kies 2/63 zeigten einen geringen Materialeintrag und waren stabil. Beim Deckwerksausbau wurden jeweils aus unterschiedlichen Tiefenlagen Proben zur Bestimmung von Änderungen in der Kornverteilung entnommen. An der Kontaktgrenze lagerte sich feinkörnigeres Material an.

Die Deckwerksverformungen wurden nach festgelegten Intervallen bestimmt. Mit Hilfe von Tauchwägungen wurden die Änderungen der Lagerungsdichte, durch 3D-Oberflächenscans die Setzungen und anhand von Fotos die Eindringtiefe des Filtermaterials in die Deckschicht ermittelt. Alle Messungen wurden ausgewertet und grafisch dargestellt. Alle Versuche zeigten deutliche Oberflächenverformungen.

In Bild 1 sind beispielhaft sechs Messzyklen mit jeweils Eintauch-, Ruhe- und Auftauchphasen mit den zugehörigen Strömungsgeschwindigkeiten in der Deckschicht überlagert. Die Strömungsgeschwindigkeiten wurden mit magnetisch induktiven Delft-Sonden gemessen. Für die weiteren Betrachtungen wurden aus den einzelnen Messzyklen die Maximalwerte ausgelesen. Über die ermittelte Porosität wurden die Filtergeschwindigkeiten berechnet und aus bekannten Ansätzen die Reynolds-Zahlen zur Beschreibung des Strömungsverhaltens bestimmt. Die Messwerte wurden durch Geschwindigkeitsmessungen mit Flügelradanemometern und die aus Porenwasserdruckmessungen berechneten Wasseranstiegsgeschwindigkeiten verifiziert. Die Druckgradienten wurden anhand der Porenwasserdrücke ermittelt und die Strömungscharakteristik mittels bekannter rechnerischer Ansätze entsprechend Darcy, Forchheimer oder Ergun verglichen.

Auf Grundlage der hydrodynamischen Messergebnisse und der Korrelation mit den Verformungsbeobachtungen wird an einem Erosionskriterium gearbeitet. Mit dem FuE-Vorhaben sollen die physikalischen Vorgänge bei der Durchströmung von Deckwerk und Filter besser verständlich werden und eventuell ein Vorschlag für einen neuen Bemessungsansatz erarbeitet werden. Für eine Anwendung in der Praxis sind weitere Untersuchungen mit zusätzlichen Filterkörnungen erforderlich.

Der Abschlussbericht befindet sich zurzeit in Bearbeitung. Im aktuellen Berichtszeitraum haben sich keine Änderungen ergeben.

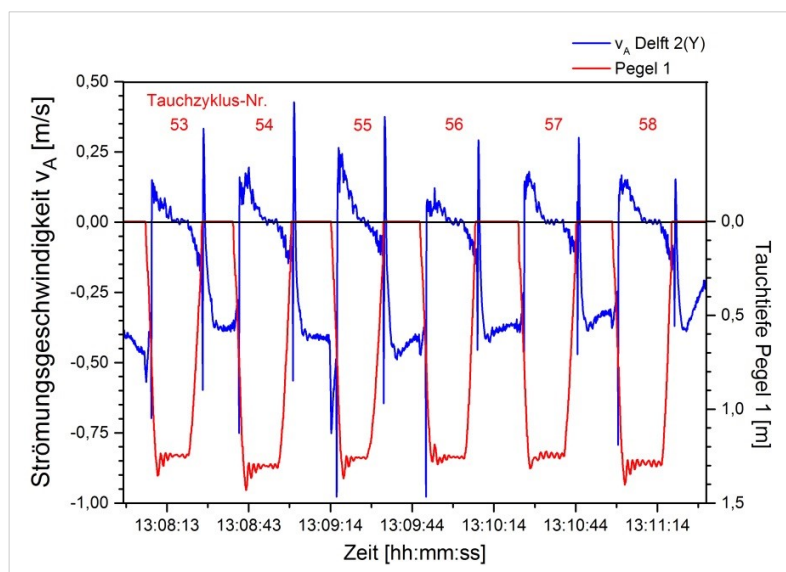


Bild 1: Strömungsgeschwindigkeit v_A (blaue Linie) in der Deckschicht und Tauchtiefe (rote Linie) des Deckwerks über 6 Zyklen mit Kornfilter Splitt 16/32 mm.

Literatur:

Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2008): BAWMerkblatt Anwendung von Regelbauweisen für Böschung- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen (MAR). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau.

Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2013): BAWMerkblatt Materialtransport im Boden (MMB). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau.

Myogahara et al. (1993): Piping stability in the filter of rock-fill dams. In: Proceedings Filters in Geotechnical Engineering. Hg: Brauns, Heibaum, Schuler, Balkema, Rotterdam, S. 107-111.



Wellen-induzierte Porenströmungen im Gewässerbett und ihre Auswirkungen auf Erosionsprozesse

Videoanalyse der Sedimentmobilität

1 Aufgabenstellung und Ziel

Uferböschungen und Sohlen an Binnenwasserstraßen unterliegen hydraulischen Einwirkungen. Dazu gehören natürliche und schiffserzeugte Wellen sowie die freie Strömung und Sickerströmungen im Boden. Das Forschungsprojekt behandelt Prozesse und Wechselwirkungen, die durch diese Einwirkungen am und im Gewässerbett auftreten. Der Begriff Gewässerbett bezeichnet hier den dreiphasigen Bodenkörper, bestehend aus Korngerüst, Porenwasser und im Porenraum eingeschlossenen Gasblasen, an dessen Oberfläche frei fließendes Wasser angrenzt. Dieser Bodenkörper ist durchlässig und verformbar und interagiert mit der freien Strömung. Durch die hydraulischen Einwirkungen kann es am Gewässerbett zu Erosionsprozessen kommen; gleichzeitig treten im Gewässerbett Porenströmungen auf, die den Spannungszustand im Boden ändern. Wie sich diese Mechanismen gegenseitig beeinflussen, wird mit experimentellen Methoden analysiert.

Zunächst wurden Bodenprozesse, die durch Welleneinwirkung hervorgerufen werden, untersucht. Vor allem bei feinsandigen Böden mit einem geringen Anteil an Luft im Porenraum kann es zur Verflüssigung einer oberflächennahen Schicht und damit zum vollständigen Verlust der Scherfestigkeit und effektiven Spannungen kommen. Bei Überströmung treten Wechselwirkungen zwischen Porenströmung, freier Strömung und Verflüssigungsprozessen auf, die sich auf den Erosionsprozess auswirken. In Modellversuchen können die hydraulischen Randbedingungen gezielt und reproduzierbar erzeugt und die Bodenreaktionen beobachtet werden.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

In den Bemessungsgrundlagen für Böschungs- und Sohlensicherungen (GBB 2010) werden durch Schiffswellen induzierte Porenwasserüberdrücke im Gewässerbett im Hinblick auf die Böschungsstabilität berücksichtigt. Die geotechnische Bemessung basiert auf halbempirischen Ansätzen, deren Genauigkeit mit den Laborversuchen überprüft wird.

Auftragsnummer:

B3952.04.04.70008

Auftragsleitung:



Jeanne Ewers
 jeanne.ewers@baw.de

Laufzeit:

2016 bis 2021

Bei 7.300 km Binnenwasserstraßen in Deutschland kann eine Optimierung der Bemessung einen deutlichen Beitrag zur Sicherheit und Wirtschaftlichkeit der Binnenwasserstraßen leisten, was in diesem FuE-Vorhaben in Verbindung mit weiteren laufenden Forschungsprojekten der BAW angestrebt wird.

An technisch-biologischen Ufersicherungen wurde beobachtet, dass trotz geringer Strömungsgeschwindigkeiten Erosion auftritt. Ob entstehende Porenwasserüberdrücke oder Verflüssigung sich auf den Erosionsprozess auswirken, ist bisher nicht eindeutig geklärt. Ein vertieftes Prozessverständnis kann somit zu verbesserten Lösungsansätzen und einer technisch zuverlässigen Ausführung der naturnahen Ufersicherungen beitragen.

3 Untersuchungsmethoden

Im Jahr 2018 wurde der in der BAW entwickelte Gewässerbett-Simulator (GeSi) fertiggestellt. Mit dieser Versuchsanlage werden sandige Bodenproben überströmt, während gleichzeitig fluktuierende Wasserdrücke zur Simulation von Wellen, auf die Probe aufgebracht werden. Damit können bei definierten hydraulischen Randbedingungen im Naturmaßstab die bodenmechanischen Reaktionen, die Mobilität der Sedimentoberfläche und die mittlere Strömungsgeschwindigkeit analysiert werden.

Der Erosionsprozess an der Sedimentoberfläche wird während der Experimente von oben gefilmt. Die Videoanalyse basiert auf der Auswertung der Bilddifferenzen, unter der Annahme, dass eine erhöhte Sedimentmobilität eine erhöhte Bildänderung hervorruft. Berechnet wird die sogenannte „root mean square deviation“ (rmsd) der aufeinanderfolgenden Einzelbilder der Videoaufnahme, die ein Maß für die aufgenommene Änderung von einem Einzelbild zum Nächsten ist. Bild 1a zeigt die Bildänderungen in rot markiert. Eine Erhöhung des rmsd-Wertes stellt eine qualitative Erhöhung der Erosionsrate oder der Sedimentmobilität dar. Die Videoauswertung ergänzt die Druckmessungen im Strömungskanal und in unterschiedlichen Tiefen der Bodenprobe. Diese zeigen die Abhängigkeit der Bodenreaktionen von Überströmung und von den Wasserdruckänderungen.

4 Ergebnisse

In einem Experiment an einer Fein- bis Mittelsandprobe wurde die in Bild 1b dargestellte Druckrandbedingung aufgebracht, die eine Wasserspiegelabsenkung und darauffolgende Erhöhung simuliert. Gleichzeitig wurde die Probe mit einer mittleren Fließgeschwindigkeit von etwa 0,2 m/s überströmt. Durch den vorhandenen Gasanteil von rd. 7 % in der Probe erzeugt die aufgebrachte Druckänderung Porenwasserüberdrücke und oberflächennahe Sickerströmungen. Dies geht aus den Druckmessungen hervor. Bild 1c stellt das Ergebnis des rmsd-Wertes dar. Während der Druckabsenkung, die mit einer vertikal nach oben gerichteten destabilisierenden Sickerströmung einher geht, erhöht sich demnach die Sedimentmobilität. Die Druckerhöhung erzeugt keine erkennbare Änderung der Sedimentmobilität.

Zusammenfassend zeigt die angewandte photogrammetrische Methode, dass schnelle Wasserdruckänderungen, wie sie an Wasserstraßen durch die Schifffahrt erzeugt werden, eine Auswirkung auf die Stabilität des Gewässerbetts haben. Bei einer Druckabsenkung erhöht sich demnach die Sedimenttransportrate.

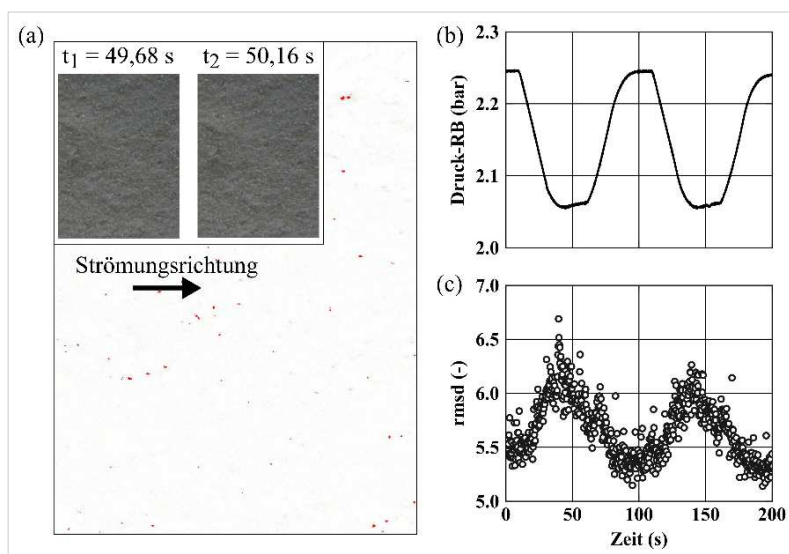


Bild 1: (a) Bilddifferenzen (rot markiert) zweier Einzelbilder. (b) Druckrandbedingung im Versuch und (c) Sedimentmobilität (rmsd-Wert).

Literatur:

Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2011): BAWMerkblatt Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlsicherungen an Binnenwasserstraßen (GBB). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau.

Ewers, Jeanne (2020): Incipient motion of sand under combined flow and full-scale waves. In: Uijtewaal, W. M.; Franca, J.; Valero, D.; Chavarrias, V.; Ylla Arbós, C.; Schielen, R.; Crosato, A. (Hg.): River Flow 2020. Proceedings of the 10th Conference on Fluvial Hydraulics (Delft, Netherlands, 7–10 July 2020), Bd. 10: CRC Press.



Zuverlässigkeitsbasierte Deckwerksbemessung

Erweiterung des bestehenden Bemessungskonzepts um Elemente der Probabilistik zur Berücksichtigung von Parameterunsicherheiten

1 Aufgabenstellung und Ziel

Zur Förderung der Binnenschifffahrt in Deutschland ist es zweckmäßig, eine möglichst weitgehende Befahrbarkeit des Wasserstraßennetzes mit möglichst großen Binnenschiffen zu ermöglichen. Aus ökologischen und/oder wirtschaftlichen Gründen ist ein umfänglicher Ausbau der Wasserstraßen unter Berücksichtigung der derzeit gültigen Standards jedoch nicht in allen Fällen sinnvoll. Vielmehr muss eine ganzheitliche Betrachtung der technischen Ufersicherungen über den gesamten Lebenszyklus erfolgen.

Das Ziel des Forschungsvorhabens ist es, ein zuverlässigkeitsbasiertes, zum GBB (2010) ergänzendes Bemessungsverfahren für lose Schüttsteindeckwerke zu entwickeln. Dieses soll eine Prognose der Standsicherheit, der Langzeitbeständigkeit und der Wirtschaftlichkeit von Böschungs- und Sohlensicherungen projektspezifisch – unter der tatsächlichen Verkehrsbelastung und an das jeweilige Sicherheitsbedürfnis angepasst – ermöglichen.

Das FuE-Vorhaben „Zuverlässigkeitsbasierte Deckwerksbemessung“ ist Teil des BMVI-Expertennetzwerks, das 2016 durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) initiiert wurde. Sieben Ressortforschungseinrichtungen und Fachbehörden des BMVI greifen gemeinsam drängende Probleme der Verkehrsinfrastrukturen durch Innovationen bei ihrer Anpassung an den Klimawandel, ihrer umweltgerechten Gestaltung sowie zur Erhöhung ihrer Zuverlässigkeit auf.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Die Verwendung der Ressourcen der WSV für Ufersicherungen soll sich zukünftig an der Netzkategorisierung orientieren. Das bedeutet, dass für das Rand- und Nebennetz der Wasserstraßen geringere Mittel für die Unterhaltung verwendet werden sollen. Zunehmend sind auch naturschutzfachliche Anforderungen bei der Planung von Unterhaltungsmaßnahmen zu beachten. Dabei stehen jedoch die Grenzen der Sicherheit oder eine Veränderung der Gefährdungslage nicht zur Disposition.

Auftragsnummer:

B3952.04.04.70009

Auftragsleitung:



Julia Sorgatz
 julia.sorgatz@baw.de

Laufzeit:

2016 bis 2021

Um der WSV unter diesen Randbedingungen einen optimalen Einsatz der Ressourcen zu ermöglichen, ist ein Bemessungskonzept erforderlich, das sich mehr an den tatsächlichen Verkehrsbelastungen sowie dem jeweiligen Sicherheitsbedürfnis und weniger an einzelnen Extrembelastungen orientiert.

3 Untersuchungsmethoden

Im Forschungsvorhaben wird ein Mixed-Methods-Ansatz verwendet. Qualitative und quantitative Methoden der Datenerhebung werden miteinander kombiniert. In Experteninterviews werden qualitative Informationen zu Schadensursachen und Schadensbildern am Deckwerk ermittelt. Daraus resultierende Hypothesen werden in ausgewählten großmaßstäblichen Modell- und Naturuntersuchungen überprüft. Versuche in einer Wellengrube sollen primär vertiefende Erkenntnisse zur Schadensentwicklung liefern. Aus Naturmessungen soll eine mindestens erforderliche Messdauer ermittelt werden, die statistisch aussagekräftige Daten zu den Einwirkungen an der Wasserstraße liefert. Dies dient insbesondere der Planung zukünftiger Messkampagnen hinsichtlich Repräsentativität und Wirtschaftlichkeit. Weiterhin werden auf Basis vorangegangener, kürzerer Messkampagnen statistische Kennwerte und Verteilungen der für eine Deckwerksbemessung relevanten Einwirkungen beschrieben. Darauf aufbauend wird unter Verwendung gängiger Methoden der Zuverlässigkeit (Monte-Carlo-Simulation, FORM) ein zum GBB (2010) ergänzendes Bemessungsverfahren entwickelt, welches Unsicherheiten bei Einwirkungen, Widerständen und im Berechnungsmodell berücksichtigt.

4 Ergebnisse

Experteninterviews für Wasserstraßen unterschiedlicher Netzkategorien und Ausbauzustände ergaben, dass vor allem hydraulische Einwirkungen (Wellen, Strömungen) zu Steinverlagerungen an der Wasserstraße führen. Böschungsruutschungen, resultierend aus Porenwasserüberdrücken, werden hingegen selten beobachtet. Aus kleineren Schädigungen (Steinverlagerungen) an der Deckwerksoberfläche entwickeln sich mit der Zeit größere Schadstellen (Sorgatz et al. 2018).

Basierend auf diesen Ergebnissen wurde ein großmaßstäblicher Modellversuch auf dem BAW-Gelände durchgeführt. In einer Wellengrube wurde eine Böschung, bestehend aus einem Feinsand, einem zweistufigen Kornfilter und einer losen Deckschicht aus Wasserbausteinen mit Wellen belastet. Eine Unterdimensionierung der Steingröße bezogen auf bestehende Bemessungsregeln erlaubt es, Steinverlagerungen bei Wellenbelastung zu beobachten. Erste Ergebnisse zeigen ein typisches Schadensbild. Die Deckwerkssteine aus dem Wasserwechselbereich verlagern sich zum Böschungsfuß hin. Die Oberkante der Böschung steilt sich leicht auf. Es entsteht ein S-Profil. Derzeit läuft die Auswertung weiterer Versuchsreihen.

Das entwickelte Konzept zur Anwendung zuverlässigkeitsbasierter Methoden auf die Deckwerksbemessung beschränkt sich derzeit auf die Prognose von Steinverlagerungen, da die für eine Bemessung der Böschungstabilität erforderlichen statistischen Kennwerte der Einwirkungen aufgrund der limitierten Datenbasis mit großen Unsicherheiten behaftet sind. Für eine Prognose der Steinverlagerungen wurde eine Zuverlässigkeitsanalyse mit einem Markov-Ketten-Ansatz kombiniert. Dies erlaubt eine Interpretation der Versagenswahrscheinlichkeit als Wahrscheinlichkeit eines Initialschadens bezogen auf Verkehr (Bild 1) oder Zeit. Zukünftig könnte dieses Verfahren bei der Definition von Grenzzuverlässigkeiten unterstützen. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse, dass homogene Markov-Ketten mit der darin implizierten exponentiell fortschreitenden Schadensentwicklung für eine langfristige Schadensprognose ungeeignet sind. Die Ergebnisse der Zuverlässigkeitsanalyse verdeutlichen die Notwendigkeit einer repräsentativen Datenerhebung. Die Dauer der Messkampagnen muss geprüft und Beobachtungsmethoden müssen standardisiert werden. Die Schadensentwicklung an der Wasserstraße muss langfristig möglichst objektiv erfasst werden, um zukünftig treffendere mathematische Modelle zu finden (Sorgatz et al. 2019).

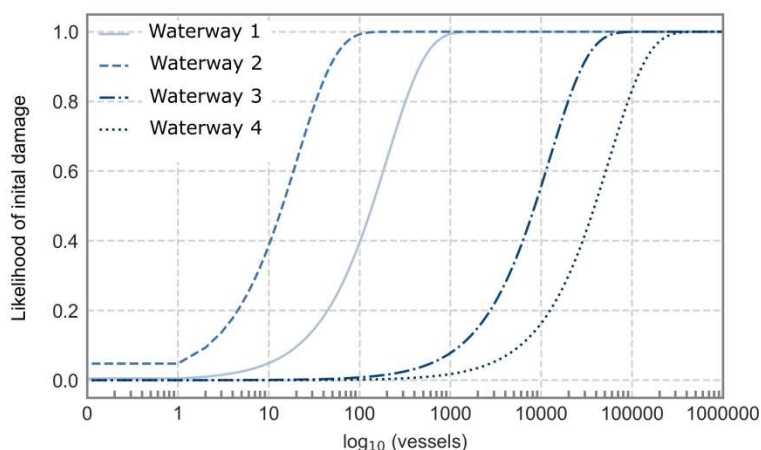


Bild 1: Ergebnisse der Markov-Ketten: Wahrscheinlichkeit eines Initialschadens bezogen auf den Verkehr an vier Wasserstraßen.

Literatur:

Sorgatz, J.; Kayser, J.; Schüttrumpf, H. (2018): Expert interviews in long-term damage analysis for bottom and bank revetments along German inland waterways. In: Caspeele, R.; Taerwe, L.; Frangopol, D. M. (Ed.): Life Cycle Analysis and Assessment in Civil Engineering: Towards an Integrated Vision, London: Taylor & Francis Group.

Sorgatz, J.; Kayser, J.; Schüttrumpf, H. (2019): Armor stone displacements at German inland waterways: An approach to schedule inspections coupling reliability analysis with Markov chains. 7th International Symposium on Geotechnical Safety and Risk, Taipei 2019.



Entwicklung definiert abbaubarer Geotextilien zur Anwendung als temporäre Filter in technisch-biologischen Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen

1 Aufgabenstellung und Ziel

Mit Einführung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) sind an Binnenwasserstraßen neben den technischen Anforderungen verstärkt ökologische Aspekte zu berücksichtigen. Aus diesem Grund sollen zukünftig naturnähere Ufersicherungen unter Verwendung von Pflanzen angewendet werden, wenn die hydraulischen Einwirkungen dies erlauben. Die Anwendbarkeit an Binnenwasserstraßen sowie die Belastbarkeit und ökologische Wirksamkeit dieser alternativen Ufersicherungen werden gegenwärtig in einem gemeinsamen Forschungsprojekt der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) und der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) untersucht (Auftragsnummer B3952.04.04.10151 – <https://ufersicherung-baw-bfg.baw.de/>). Aus diesem Projekt hat sich die Fragestellung für das vorliegende Forschungsvorhaben ergeben.

Auch bei Ufersicherungen unter Verwendung von Pflanzen werden zur Gewährleistung der Filterstabilität in der Regel Filter benötigt. Kornfilter sind hier nicht immer anwendbar. Im Gegensatz zu den in technischen Deckwerken üblichen Geotextil-Kunststofffiltern sollen biologisch abbaubare Materialien zur Anwendung kommen, da die Filter nur temporär für die kritische Anfangsphase benötigt werden. Bisherige Erfahrungen zeigen, dass die gegenwärtig auf dem Markt angebotenen Geotextilien aus natürlichen Materialien, z. B. aus Schafwolle oder Kokosfasern, unter Wasserstraßenbedingungen nicht ausreichend stabil sind und sich zu schnell biologisch abbauen. Benötigt werden temporäre Filtervliese, bis die Pflanzenwurzeln ausreichend gewachsen sind und die Filterfunktion übernehmen können. Im Forschungsprojekt sollen entsprechende Geotextilien entwickelt und getestet werden, die die erforderlichen technischen Eigenschaften für drei Jahre gewährleisten und sich danach vollständig biologisch abbauen.

Das Vorhaben ist ein von der Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) gefördertes Kooperationsprojekt mit dem Fraunhofer-Institut UMSICHT Oberhausen und den Firmen BNP Brinkmann GmbH & Co. KG, FKUR Kunststoff GmbH und Trevira GmbH. Die BAW beteiligt sich als assoziierter Partner.

Auftragsnummer:

B3952.04.04.70011

Auftragsleitung:



Petra Fleischer
 petra.fleischer@baw.de

Laufzeit:

2016 bis 2021

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Mit den definiert abbaubaren Geotextilfiltern werden die Möglichkeiten erweitert, naturnahe Ufersicherungen unter Verwendung von Pflanzen anzuwenden, die den Uferschutz gewährleisten und gleichzeitig den ökologischen Zustand an Binnenwasserstraßen verbessern können. Das ist insbesondere für die Uferumgestaltungen von Bedeutung, die in den nächsten Jahren im Rahmen des Bundesprogramms „Blaues Band Deutschland“ zur Renaturierung von Bundeswasserstraßen vorgesehen sind.

3 Untersuchungsmethoden

Nach Definition des Anforderungsprofils der zu entwickelnden Geotextilfilter (BAW) sind Labor-, Modell- und Naturversuche zum Nachweis der Eignung der neuen Materialien als Filter in technisch-biologischen Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen durchzuführen. Die Laborversuche dienen der Auswahl geeigneter Fasern (Fraunhofer-Institut UMSICHT, FKUR Kunststoff GmbH, Trevira GmbH) und der Beurteilung des biologischen Abbaus (Fraunhofer-Institut UMSICHT), der technischen Eigenschaften (BAW) und der Durchwurzelbarkeit (BAW). Ergänzend wird ein Naturversuch am Rhein durchgeführt, um die neu entwickelten Geotextilfilter als Teil technisch-biologischer Ufersicherungen unter Wasserstraßenbedingungen zu testen (BAW, WSA Oberrhein).

4 Ergebnisse

Das Vorhaben startete im Juli 2016. Von der BAW wurden im ersten Schritt die technischen Anforderungen an die zu entwickelnden Geotextilvliese definiert. Aufgrund der zu erwartenden Belastungen beim Einbau und im Betrieb wurden Mindestwerte für die Zugfestigkeit und den Durchdrückwiderstand sowie für die Gewährleistung der Filterstabilität (Öffnungsweite und Durchlässigkeit) festgelegt. Diese Anforderungen müssen unter Berücksichtigung des biologischen Abbaus in den ersten drei Jahren nach Einbau erfüllt werden. Wichtig ist außerdem, dass der Filter leicht und gut durchwurzelbar ist. Für diese Randbedingungen hat das Fraunhofer-Institut UMSICHT in Zusammenarbeit mit der FKUR Kunststoff GmbH und der Trevira GmbH anwendbare Fasermaterialien entwickelt. Die Firma BNP Brinkmann GmbH & Co. KG hat aus diesen Fasermischungen verschiedene Geotextilvliese hergestellt, die in der BAW hinsichtlich der technischen Eigenschaften geprüft wurden.

2018 und 2019 wurden in der BAW Versuchsreihen zur Prüfung der Durchwurzelbarkeit des ersten Geotextilprototyps durchgeführt. In drei mit kiesigem Sand gefüllten Versuchskästen wurden Geotextilproben und darüber Weidenäste verlegt und übererdet; in drei Kästen erfolgte zum Vergleich der Einbau ohne Geotextil. Die Wurzel- und Sprossentwicklung wurde jeweils nach einer Vegetationsperiode begutachtet. Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass das Geotextil prinzipiell gut durchwurzelbar ist. Allerdings wurden in den Kästen mit Geotextil im Vergleich zu den Kästen ohne Geotextil etwas weniger Wurzeln gebildet.

Für die Durchführung des Freilandversuchs am Rhein (km 441,155 bis km 441,195) wurde 2019 von der BAW in Abstimmung mit dem WSA Oberrhein ein Konzept erstellt. Im Januar 2020 erfolgte der Einbau des neuen Geotextils auf einem 30 m x 6 m großen Böschungsabschnitt oberhalb Mittelwasser unter Steinmatratzen (Bild 1). Durch wechselnde Wasserstände kann der biologische Abbau bei unterschiedlichen hydraulischen Belastungen ermittelt werden. In verschiedenen Zeitabständen werden Proben entnommen und geprüft. Ziel ist zunächst eine Bewertung der Eigenschaften nach drei Jahren und langfristig der Nachweis des Abbauprozesses des Geotextils in Abhängigkeit von der Zeit unter Wasserstraßenbedingungen. Parallel wird im Herbst 2020 am Rhein eine Weidenspreitlage auf dem neu entwickelten Geotextil eingebaut und dessen Durchwurzelbarkeit und die Entwicklung der Weiden auf dem Geotextil untersucht.

Die neuen Geotextilfiltervliese können als temporäre Filter in verschiedenen technisch-biologischen Ufersicherungsmaßnahmen, wie z. B. Röhrichtgabionen, Pflanzmatten und Weidenspreitlagen, angewendet werden und zur Stabilität im kritischen Anfangszustand beitragen.



Bild 1: Einbau des neu entwickelten Geotextils am Rhein, Februar 2020.

Literatur:

Fleischer, P. (2018): Umweltfreundliche Alternativen zum Schüttsteindeckwerk an Binnenwasserstraßen. In: Institut f. Wasserbau u. Wasserwirtschaft, RWTH Aachen University (Hg.) 2018: Tagungsband des 48. Internationalen Wasserbau-Symposiums IWASA „D3 – Deckwerke, Deiche, Dämme“. Aachen: 18.–19.01.2018. Online verfügbar unter <https://www.iww.rwth-aachen.de/cms/iww/Das-Institut/~mwhg/IWASA/>



Erosion bindiger Böden

Bestimmung der Erosionseigenschaften von Dichtungstonen

1 Aufgabenstellung und Ziel

Anders als bei natürlichen Flüssen werden Kanalhaltungen nicht dauerhaft mit Wasser nachspeist. Zur ständigen Gewährleistung der Schiffbarkeit müssen oberhalb des Grundwassers liegende Kanäle daher abgedichtet werden, um Wasserverluste in den Untergrund zu minimieren. Aufgrund der geringen Durchlässigkeit, guten Verfügbarkeit und Einbaubarkeit unter Wasser, bieten sich natürliche feinkörnige Böden als Dichtmaterial an. Um eine Erosion der Dichtschicht zu vermeiden, wird diese mit einer Deckschicht geschützt. Kommt es durch Deckwerksschäden jedoch zu einer Freilegung der Tondichtung, so ist diese einem direkten Strömungsangriff z. B. durch Schraubstrahl ausgesetzt. Ebenso kann es zu einer lokalen Durchströmung kommen, wenn die Tondichtung z. B. infolge einer Durchwurzelung vorgeschädigt ist. Für diesen Fall muss die Erosionsstabilität des Dichtungstones gewährleistet sein, um ein Versagen der Dichtung zu vermeiden.

Die Prüfung von Erdstoffen zur Eignung als Dichtungston erfolgt nach der BAW-Richtlinie *Prüfung von mineralischen Weichdichtungen und deren Einbauverfahren im Verkehrswasserbau* (RPW 2015). Aktuell sieht diese einen modifizierten Pinhole-Versuch mit einer zulässigen maximalen Aufweitung des Strömungskanals um 100 % nach 200 h Durchströmung vor. Der Pinhole-Versuch soll in diesem Projekt weiterentwickelt und optimiert werden.

Die mit dem neuen Versuchsaufbau gewonnenen bodenspezifischen Erosionsparameter können dann zur Klassifizierung eines potentiellen Dichtungstones im Rahmen einer Grundprüfung verwendet werden.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

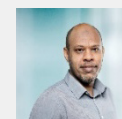
Ein reproduzierbarer und quantitativ auswertbarer Erosionsversuch ermöglicht eine sichere und belastbare Beurteilung von potentiellen Dichtungstonen und damit ggf. eine kosteneffizientere Abdichtung von Kanälen durch ein größeres Spektrum nutzbarer Böden.

Des Weiteren kommt es an vielen Kanälen zu einer Erhöhung der Beanspruchung (z. B. durch größere Schiffe bei gleichbleibendem Kanalquerschnitt),

Auftragsnummer:

B3952.04.04.70012

Auftragsleitung:



Dr. Bahaeldeen Zaid
 bahaeldeen.zaid@baw.de

Laufzeit:

2018 bis 2022

sodass u. U. die Notwendigkeit der nachträglichen Überprüfung der Erosionsbeständigkeit von bereits vorhandenen Dichtungstönen besteht.

3 Untersuchungsmethoden

Zur Verbesserung des derzeitigen Erosionstests wurde der aktuelle Versuchsstand nach RPW anhand von Erfahrungen anderer Institutionen zum Hole Erosion Test (HET) (Wan & Fell 2002) abgeändert und weiterentwickelt. Im HET wird eine Bodenprobe im Probenzylinder verdichtet und ein axiales Loch (Durchströmungskanal) hergestellt. Die Probe wird mit einer kontrollierten Druckdifferenz durchströmt, was zur Aufweitung des Durchströmungskanals führt. Anhand der Aufweitung des Durchströmungskanals mit der Zeit und des hydraulischen Druckverlusts in der Probe, können die Erosionsraten und die Schubspannung im Durchströmungskanal berechnet werden. Die in der BAW modifizierte HET-Anlage (Hark 2018) wurde weiter optimiert (Bild 1a). Ein 3D-photogrammetrischer Scanner (Bild 1c) wurde verwendet, um die Geometrie eines Gipsgusses, der den Durchströmungskanal nach Beendigung des Versuches abbildet, zu erfassen (Titelbild).

4 Ergebnisse

Die Analyse der bis jetzt verwendeten Auswerteverfahren des HET hat gezeigt, dass vor allem die Vernachlässigung von Ein- und Ausgangsverlusten zu fehlerhaften Berechnungen der wirksamen Schubspannungen führt. Anhand von Messungen an nicht erodierbaren Proben konnten geometrie- und geschwindigkeitsabhängige Ein- und Ausgangsverlustbeiwerte bestimmt und eine Berechnungsmethode für den tatsächlich in Wand-schubspannung übergehenden hydraulischen Verlust entwickelt werden (Hark 2018). Dabei wurde festgestellt, dass die örtlichen Verluste nicht nur vom Durchmesser des Durchströmungskanals abhängen, sondern auch in erheblichem Maße von der Geometrie bzw. dem Krümmungsradius im Ein- bzw. Auslaufbereich der Probe.

Der Vergleich der Ergebnisse aus dem HET und den Strömungskanal-Versuchen (SETEG) an der Uni Stuttgart hat gezeigt, dass die Erosionsraten-Schubspannungs-Beziehung, die im HET unter Einbezug der lokalen Verluste ermittelt wurde, gut mit den Ergebnissen aus den SETEG Untersuchungen übereinstimmt.

Die Erosionseigenschaften von drei bereits nach den RPW geprüften Dichtungstönen wurden untersucht. Um die Dichtungstone hinsichtlich der Erosionsstabilität zu klassifizieren, wird das Briaud-Diagramm verwendet, das eine Klassifikation der Böden in 6 Klassen von „sehr stark erodierbar“ bis „nicht erodierbar“ darstellt (Briaud et al. 2017). Bild 1b zeigt, dass die Erosionsraten-Schubspannungs-Beziehung des Nottenkämpertons im Bereich „wenig erodierbar“ liegt.

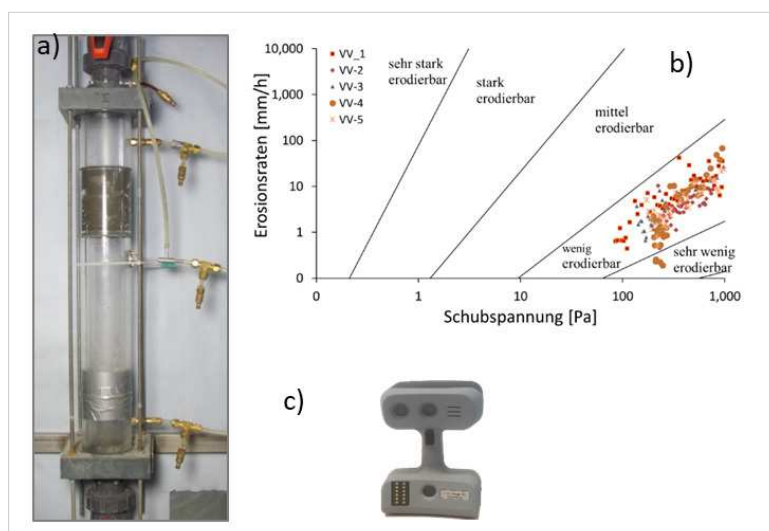


Bild 1: (a) HET Anlage, (b) Erosionsraten-Schubspannungs-Beziehung des Nottenkämpertons und (c) Artech 3D-photogrammetrischer Scanner.

Literatur:

Bundesanstalt für Wasserbau (2015): Prüfung von mineralischen Weichdichtungen und deren Einbauverfahren (RPW).

Briaud, J.; Govindasamy, A. V.; Shafii, I. (2017): Erosion Charts for Selected Geomaterials. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol.143, 2017.

Hark, M. (2018): A modified Hole-Erosion-Test on high plastic clay with different soil structure. In: Yeh, K.-C. (Hg.): *Proceedings of the 9th International Conference on Scour and Erosion*, Taipei. London: Tylor and Francis.

Wan, C. F.; Fell, R. (2002): Investigation of internal erosion and pipings of soils in embankment dams by the slot erosion test and the hole erosion test. University of New South Wales.



Bestimmung der Widerstandsfähigkeit von Deichen

Laborversuche und Numerische Modellierung

1 Aufgabenstellung und Ziel

Die Bemessung von Seedeichen geschieht derzeit auf der Grundlage von Erfahrungswissen, physikalischen Modellansätzen sowie analytischen Berechnungsansätzen. Dabei bestehen analytische Nachweisführungen für verschiedene einzelne Versagensmechanismen. Einzelne Aspekte für die Widerstandsfähigkeit von Deichen werden unabhängig voneinander untersucht, wie z. B. die Rissentwicklung, der Einfluss der Grasnarbe auf den Erosionswiderstand sowie die Erosion des Deichbaumaterials.

Eine ganzheitliche Betrachtung aller Aspekte findet derzeit nicht statt. Der Einfluss aller Faktoren und die jeweiligen Abhängigkeiten sollen durch Feld- und Laborversuche ermittelt und in einem numerischen Modell zusammengeführt werden.

Durch eine numerische mechanisch-hydraulisch gekoppelte Modellierung eines Deichquerschnittes mit seinen charakteristischen Eigenschaften (Deichbaumaterial, Bodenstruktur, Jahreszeit, Grasnarbe) unter der Einwirkung eines hydraulischen Ereignisses (Sturmflut, Starkregen, Einwirkungsdauer) ist eine Bemessung möglich, die alle Versagensmechanismen beinhaltet. Deichschäden und potentielle Gefährdungsbereiche können über eine Parametervariation ermittelt und Deichverstärkungsmaßnahmen bewertet werden.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

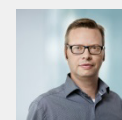
Für den Hochwasserschutz sind funktionstüchtige und widerstandsfähige Deiche gegenüber den Einwirkungen aus Sturmfluten unerlässlich. Im Rahmen der Unterhaltung von Bundeswasserstraßen fallen große Mengen an Baggergut an.

In Kenntnis des säkularen Meeresspiegelanstiegs sind Deichverstärkungsmaßnahmen erforderlich. Die Entnahme von Klei und Mergel ist häufig mit rechtlichen und ökologischen Schwierigkeiten verbunden, so dass sich die Verwendung von Baggergut als Deichbaumaterial anbietet. Zur Bewertung zu

Auftragsnummer:

B3952.05.04.70318

Auftragsleitung:



Dr. Thomas Nuber
 thomas.nuber@baw.de

Laufzeit:

2010 bis 2021

verstärkender Deichquerschnitte mit Baggergut auf bestehenden Klei- oder Mergeldeichen sollen physikalische und numerische Untersuchungen vorgenommen werden.

Beim Ausbau der Bundeswasserstrassen im Tidebereich werden Deichschäden sowie Schäden im Hinterland häufig Ausbaumaßnahmen zugewiesen. Durch eine numerische Simulation sollen auftretende Schäden und verursachende Mechanismen untersucht werden. Die Ursachen können benannt und somit verhindert werden.

3 Untersuchungsmethoden

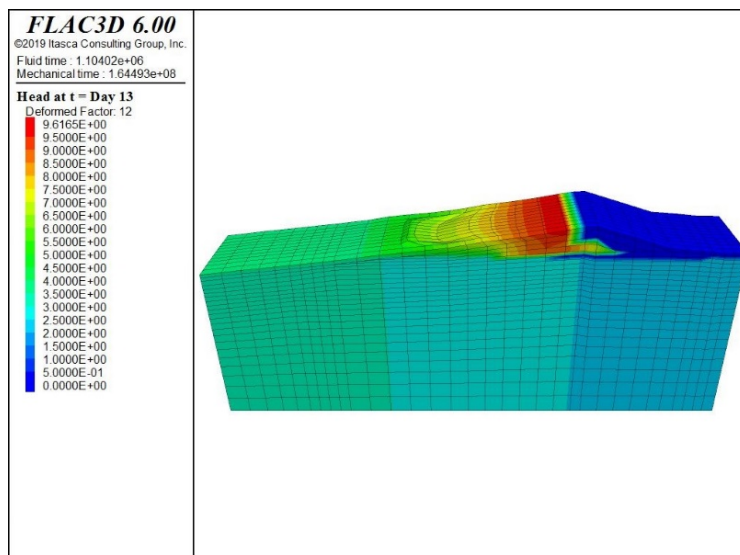
Anhand von Untersuchungen an bestehenden Deichen werden unter definierten Bedingungen der Einfluss von Alterungsvorgängen (Strukturbildung) und Wasserbelastung auf die Scherfestigkeit sowie Durchlässigkeit der Deichabdeckung ermittelt. Zur Simulation erhöhter Wasserstände im Sturmflutfall wird auf der jeweiligen Deichkrone eine Wasserauflast erzeugt. Zu verschiedenen Zeitpunkten werden Sonderproben über die Tiefe der Deichabdeckung entnommen. Diese werden anschließend im bodenmechanischen Labor (z. B. durch Triaxialversuche) untersucht. Ziel ist es, alle wassergehaltsabhängigen Parameter für die jeweiligen Deichabdeckungen zu ermitteln.

Der Deichquerschnitt wird mit einem drei-dimensionalen Finite Differenzen Programm FLAC3D (ITASCA 2013) simuliert. Somit sind Berechnungen bei großen Dehnungen möglich, um Versagensmechanismen sowie deren Verlauf ermitteln zu können. Zur Erfassung der hydraulischen und bodenmechanischen Vorgänge wird die Simulation mechanisch-hydraulisch gekoppelt durchgeführt. Die Spannungs-Dehnungs-Kurven aus den Triaxial- und Kompressionsversuchen in Abhängigkeit der Dauer der hydraulischen Beanspruchung und weiterer Randbedingungen (Bodenart, Alter, ...) werden im Programm hinterlegt, um die Entwicklung der Scherfestigkeiten und Durchlässigkeiten realistisch zu erfassen.

4 Ergebnisse

Probennahmen sowie die entsprechenden Feld- und Laboruntersuchungen wurden an einem Mergeldeich, an einem Kleideich sowie an einem Baggergutdeich durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass die einzelnen Deiche unterschiedliche Infiltrationskapazitäten infolge ihrer Strukturbildung aufweisen und dass die jeweiligen Materialien unterschiedliche, tiefenabhängige natürliche Wassergehalte besitzen. Zudem weisen die jeweiligen Materialien sowohl unterschiedliche Festigkeiten als auch unterschiedliche wassergehaltsabhängige Spannungs-Dehnung-Verhalten auf (Nuber und Pohl 2014).

Parallel erfolgte der Aufbau eines mechanisch-hydraulisch gekoppelten Finite-Differenzen-Modells in FLAC3D 5.0, das durch erste Berechnungsläufe zunächst plausibilisiert wurde (Sorgatz und Nuber 2017) und anschließend in die aktuellere Software-Version FLAC3D 6.0 überführt wurde (Bild 1). Dafür wurden die Ergebnisse der bisher durchgeführten Feld- und Laborversuche hinsichtlich der Parameter, die für die entsprechenden Stoffmodelle erforderlich sind, ausgewertet. Insbesondere für Klei zeigte die Bestimmung des Exponenten m - der für die Formulierung des Steifigkeitsmoduls $E50$ innerhalb des gewählten Stoffmodells entscheidend ist - teilweise unterschiedliche Werte als die, die in der Literatur für kohäsive Materialien genannt werden.



Literatur:

ITASCA Consulting Group Inc. (2013): FLAC3D. Fast Lagrangian Analysis of Continua in 3-Dimensions. User's Guide.

Nuber, T.; Pohl, M. (2014): Geotechnical investigations on dike material as a basis for a holistic numerical model, In: Saathoff, F. (Hrsg.): DredgDikes: Proceedings of the South Baltic Conference in Dredged Materials in Dike Construction, Rostock, April 2014.

Sorgatz, J.; Nuber, T (2017) Numerical Investigations of the Stability of Sea Dikes. In: Conference Proceedings of Workshop on Numerical Methods in Geotechnics 2017, September 2017, Hamburg, Germany.

Bild 1: Beispiel des Deichmodells in FLAC-3D.



Störung des Baugrundes durch Kampfmittelsondierungen

1 Aufgabenstellung und Ziel

Vor einer Baumaßnahme ist sicherzustellen, dass sich keine Kampfmittel im Bau- und Baufeld befinden. Die zur Kampfmittelsuche eingesetzten meist magnetischen und elektromagnetischen Verfahren arbeiten zwar zerstörungsfrei, erfordern aber häufig Bohrungen, um die Messsonde vom Bohrloch aus einsetzen zu können. Während zur Kampfmitteldetektion aber ein möglichst enges Bohrraster benötigt wird, bedeutet die Vielzahl der abgeteuften Bohrungen für den Bauherrn eine Störung des Baugrundes. Zum Ausmaß der daraus resultierenden Festigkeitsänderung liegen keine gesicherten Informationen vor. Die Kenntnis der geotechnischen Eigenschaften des Baugrundes ist aber die Grundlage für erdstatistische Bemessungen zur Dimensionierung von Bauteilen.

Ziel des FuE-Vorhabens ist es, Vorschläge zur Planung und Durchführung von Kampfmittelsondierungen zu erarbeiten, um den Baugrund in seiner Tragfähigkeit möglichst wenig zu beeinträchtigen bzw. um das Ausmaß der zu erwartenden Festigkeitsänderung abschätzen zu können.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Der Bauherr ist gesetzlich verpflichtet, sich die Kampfmittelfreiheit im Bau- und Baufeld bescheinigen zu lassen. Die Freigabe erfolgt durch den Kampfmitteldienst des jeweiligen Bundeslandes oder durch qualifizierte Fachfirmen auf Grundlage länderspezifischer oder bundesspezifischer Vorschriften. Für die WSV ergeben sich daraus folgende Probleme, die über die der meisten anderen Bauherrn hinausgehen:

- Bauprojekte der WSV – wie z. B. der Ausbau von Wasserstraßen – sind häufig Landesgrenzen übergreifend. Zudem sind bei Bundesliegenschaften neben länderspezifischen auch bundesspezifische Regelungen zu beachten.
- Für Pfahlgründungen und Spundwände – häufig verwendete Bauteile im Bereich der WSV – werden meist gesonderte Anforderungen an die Kampfmittelerkundung gestellt.

Auftragsnummer:

B3952.05.04.70362

Auftragsleitung:

Anne Heeling
 anne.heeling@baw.de

Laufzeit:

2012 bis 2022

- In bindigen oder organischen Böden geringer Festigkeit – wie z. B. Auelehm, Mudde, Klei – ist auch in größeren Tiefen mit Bomben-Blindgängern zu rechnen. Solche Böden treten häufig gewässernah und damit im Zuständigkeitsbereich der WSV auf.
- Nach dem zweiten Weltkrieg wurde Munition häufig in Kanälen, Flüssen oder Seen versenkt und damit in den Zuständigkeitsbereich der WSV eingebracht.

3 Untersuchungsmethoden

Zunächst wurden die Kampfmittelverordnungen der Länder und des Bundes hinsichtlich geotechnisch relevanter Vorgaben gesichtet; jedoch geben nicht alle Bundesländer entsprechende Technische Anleitungen heraus. Deshalb wurde in einer anschließenden Fragebogenaktion und in Gesprächen mit Kampfmittelräumdiensten, Fachfirmen und Betreibern von Häfen und Wasserstraßen u.a. erfragt, welche Bohrverfahren, Bohrraster, Erkundungstiefen und Bohrlochverfüllungen in der Praxis vorrangig bei der Kampfmittelerkundung zum Einsatz kommen.

Darauf aufbauend wurde zwischen 2013 und 2019 die Störung des Baugrundes im Rahmen von vier Feldtests für verschiedene Baugrundtypen (bindiger/nichtbindiger Boden unterschiedlicher Ausgangsfestigkeit über/unter Grundwasser) untersucht: In einem (kampfmittelfreien) Testfeld wurde mittels Sondierungen (überwiegend Spitzendrucksondierungen, untergeordnet Sondierungen mit der Leichten Rammsonde) die Vorherfestigkeit bestimmt, eine Kampfmittelerkundung simuliert und anschließend die Nachher-Festigkeit im Feld und unmittelbar im Bohrloch ermittelt. Aus dem Verhältnis von Nachher- zu Vorher-Festigkeit ergibt sich die quantitative Störung als „Strength Change Factor SCF“ des Baugrundes in Abhängigkeit verschiedener Einflussfaktoren, die je Feldtest in Einzelfeldern miteinander kombiniert wurden: Bohrverfahren (Endlos- bzw. Hohlbohrschnecke/verrohrte Trockenbohrung/Spülbohrung), Rasterabstand (0,5 m/1,5 m/3,0 m) und Bohrlochverfüllung (Bohrgut/Dämmer). 2019 wurden zusätzlich weitere Verfüllarten (Sand-Kies-Gemisch/Pellets/Geolit/unverfüllt) sowie die Selbstdichtung unverfüllter Bohr- und Sondierlöcher untersucht.

4 Ergebnisse

Eine Voruntersuchung ergab:

- SCF-Werte, die mittels Sondierung mit der Leichten Rammsonde bestimmt wurden, sind mit einem SCF-abhängigen Korrekturfaktor zu belegen, um so die Vergleichbarkeit mit den maßgeblichen SCF-Werten aus Spitzendrucksondierungen zu ermöglichen.
- Die Oberflächeneinflusstiefe liegt bei maximal 1,5 mGOK. Die Festigkeitsänderungen wurden deshalb für den oberflächennahen und für den „Haupttiefenbereich“ (= 1,5 mGOK bis Bohrendteufe) getrennt ausgewertet.
- Die Mächtigkeit von Einzelschichten hat keinen relevanten Einfluss; eine getrennte Auswertung bzw. die Berücksichtigung einer Mindestschichtdicke ist deshalb nicht erforderlich.
- Es sind drei Grundwasserszenarien getrennt zu betrachten: Böden über GW/Böden unter GW/Böden mit witterungsbedingt wechselnden GW-Ständen.

Die Auswertung der gemittelten SCF-Daten zeigt für den Haupttiefenbereich, dass das Bohrverfahren nur einen untergeordneten Einfluss hat. Folgende Trends zeichnen sich bisher darüber hinaus deutlich ab:

- Nichtbindige Böden reagieren stärker auf eine Kampfmittelerkundung als bindige.
- Je höher die Ausgangsfestigkeit (Lagerungsdichte, Konsistenz), umso niedriger ist der SCF-Wert.
- Im Grundwasser sind die Auflockerungen deutlich höher als oberhalb.
- Nur oberhalb des Grundwassers führt der Einsatz von Dämmer als Bohrlochverfüllung im Vergleich zu bohrgutverfüllten Bohrlöchern zu einer Verfestigung des Baugrundes; unter GW ist der Einfluss des Dämmers nahezu irrelevant.

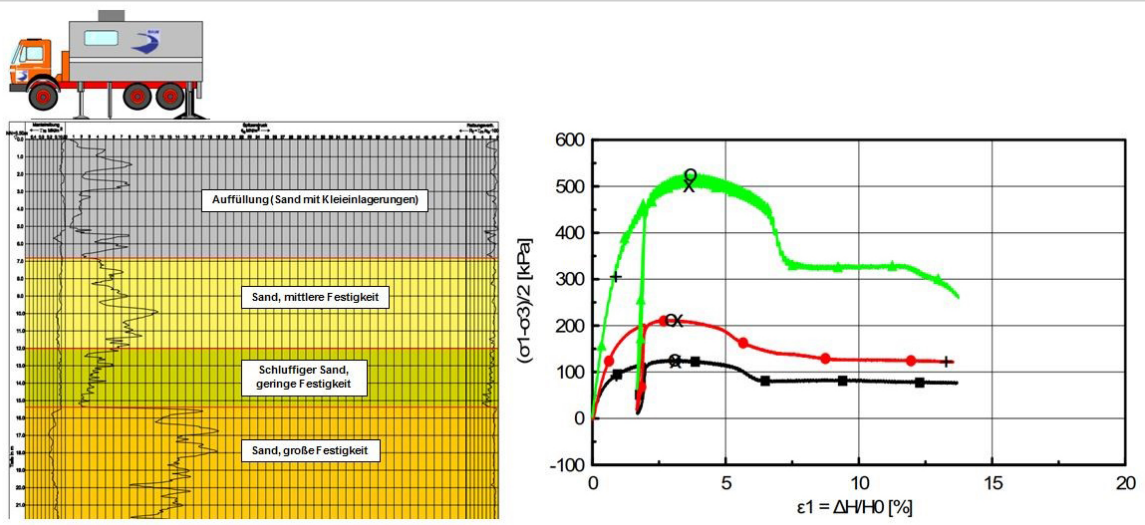
Die o. g. Trends führen im Ergebnis dazu, dass z. B. im in der Praxis gebräuchlichen 1,5-m-Bohrraster mit Schneckenbohrungen in nichtbindigen Böden

- bei Bohrgut-Verfüllung unter GW die größten Auflockerungen mit SCF-Werten bis 0,3 auftreten und
- bei Dämmer-Verfüllung oberhalb GW die größten Verfestigungen mit SCF-Werten bis zu 1,2.

Zudem zeigte sich, dass nicht nur unverfüllte oder mit Bohrgut verfüllte Bohrlöcher, sondern auch „zerstörungsfreie“ Drucksondierlöcher auch noch nach 100 Tagen nahezu stabil im Baugrund verbleiben und zu bevorzugten vertikalen Wasserwegigkeiten führen können. Daher sollte in Ausschreibungen bei Bedarf auch deren Verfüllung mit Dämmer gefordert werden.

Erste Ergebnisse wurden im September 2019 auf der ECSMGE in Reykjavik vorgestellt.

Forschung Xpress



Festigkeiten nichtbindiger Böden

Herleitung von Korrelationen zur realitätsnahen Beurteilung der Festigkeiten nichtbindiger Böden

1 Aufgabenstellung und Ziel

Das maßgebliche Kriterium zur Bemessung von Bauteilen sowie zur Beurteilung von Standsicherheiten ist neben dem Grundwasserstand die Festigkeit, d. h. die Scherfestigkeit und die Kompressibilität der anstehenden Böden. Während bei Festgestein und bindigen Böden (Tone und Schluffe) vornehmlich direkte Untersuchungen an entnommenen Bodenproben im Labor ausgeführt werden, kommen bei nichtbindigen Böden (Sande und Kiese) indirekte Verfahren mittels Sondierungen in Verbindung mit Korrelationen zur Anwendung.

Von den unterschiedlichen Sondierverfahren kommt heutzutage überwiegend die Drucksondierung (CPT – Cone Penetration Test) zur Anwendung, um auf die Festigkeiten und die Schichtenfolge der Böden in situ zu schließen. Wie Untersuchungen (z. B. Melzer 1968; Lunne et al. 1997) gezeigt haben, ist das Sondierergebnis einer CPT, d. h. der Spitzenwiderstand und die Mantelreibung, abhängig von diversen Eigenschaften des anstehenden Bodens, wie z. B.: Kornform, Kornverteilung, Lagerungsdichte, Chemismus, Grundwasserstand. Derzeitige Korrelationen (z. B. DIN EN 1997-2, 10/2010) gehen auf einige der Parameter, insbesondere die Kornverteilung, ein.

Die Datengrundlage zur Herleitung der derzeit verwendeten Korrelationen basiert lediglich auf oberflächennahen Untersuchungen; die Datenbasis ist gering. Eine Interpretation durch den Sachverständigen für Geotechnik auf Grundlage lokaler Erfahrungen wird daher in den Normen empfohlen.

In der norddeutschen Tiefebene stehen regionaltypische nichtbindige Böden in weiten bauwerksrelevanten Bereichen an. Zur realitätsnahen Beurteilung der Festigkeiten dieser Böden sind systematische Untersuchungen mit Hilfe von Drucksondierungen durchzuführen und folglich eigene Korrelationen aufzustellen. Hierbei ist in die unterschiedlichen Ablagerungsmilieus, wie z. B. marine Sedimente, glaziale Schmelzwassersande und Beckensande zu unterscheiden.

Auftragsnummer:

B3952.05.04.70390

Auftragsleitung:



Ulf Matthiesen
 ulf.matthiesen@baw.de

Laufzeit:

2015 bis 2022

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

In der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) werden Sondierungen überwiegend als Drucksondierungen (CPT) für die Erkundung des Baugrunds ausgeführt. Nur durch eine zutreffend ermittelte Scherfestigkeit und Kompressibilität des Baugrundes können Bauteile wie Uferwände, Baugrubenwände und -sohle, Rückverankerungen, Pfähle, etc. gleichzeitig wirtschaftlich und sicher dimensioniert werden. Zudem kann die Standsicherheit realitätsnäher berechnet werden, was z. B. bei bestehenden übersteilen Böschungen an Kanälen das Entscheidungskriterium für die weitere Vorgehensweise (Erhalt, Beobachtungsmethode, Er-tüchtigung, Neubau) ist. Des Weiteren kommt den o. g. Parametern in der Planung eine bedeutende Rolle bei der Festlegung geeigneter Bauverfahren zu.

3 Untersuchungsmethoden

Es sind experimentelle Untersuchungen zur Erstellung eigener Korrelationen vorgesehen. Hierbei sind unter definierten Bedingungen unterschiedliche Korngemische zu untersuchen, um verschiedene Einflussparameter wie z. B. Kornverteilung, Korngröße, Kornform, Kornrauhigkeit, Lagerungsdichte Spannungsabhängigkeit (Überlagerungsdruck) und Alterung (Zementierung) auf das Sondierergebnis zu untersuchen. Zusätzlich können hierbei auch grundsätzliche Einflüsse auf das Sondierergebnis – wie verschieden ausgebildete CPT-Spitzen, deren Abnutzung, die Sondiergeschwindigkeit, etc. – untersucht werden.

Zur Korrelation der Festigkeiten mit den Sondierergebnissen sind Laboruntersuchungen erforderlich. Hierbei sind ungestörte Proben vom untersuchten Material zu gewinnen. Die Bodenprobe wird nachfolgend im Tri-axial-, Rahmenscher- und Kompressionsgerät eingebaut und die Scherfestigkeit und die Kompressionsmodule ermittelt.

Des Weiteren sind numerische Untersuchungen vorgesehen, um einen Vergleich von experimentellen und numerischen Ergebnissen herzustellen und um den Vorgang der Eindringung der Sondierspitze in den Boden bodenmechanisch zu untersuchen und zu interpretieren.

Im Rahmen von aktuellen Baugrunderkundungen sollen Spitzendrucksondierungen durchgeführt und mithilfe von an ebenfalls gewonnenen ungestörten Bodenproben durchgeführten bodenmechanischen Laborversuchen bewertet werden. Im gewachsenen Boden ist jedoch aufgrund der natürlichen Heterogenität mit größeren Schwankungsbreiten der Ergebnisse zu rechnen, sodass diese Untersuchungen lediglich einen ergänzen-den Charakter haben können.

4 Ergebnisse

Für die Durchführung der geplanten experimentellen Untersuchungen wurde in einem ersten Schritt eine Machbarkeitsstudie und Variantenuntersuchung zur Erstellung einer geotechnischen Versuchsgrube auf dem Dienststellengelände der BAW Hamburg in Zusammenarbeit mit einem Ingenieurbüro durchgeführt. Aufgrund der Abmessungen einer derartigen Versuchsgrube und dem damit verbundenen Aufwand zur Durchführung der Versuche durch die ein- und auszubauende Menge des Versuchsbodens wurden anschließend alternative Möglichkeiten der experimentellen Versuchsdurchführung recherchiert.

Eine alternative Untersuchungsmethode zur Durchführung der experimentellen Versuche stellt ein labortechnischer Druckbehälter, auch Kalibrierkammer genannt, dar. In Kooperation mit dem Zentrum Geotechnik der TU München findet derzeit die technische Konzeptionierung und Planung – insbesondere die Detailplanung zur mechanischen Konstruktion einschließlich der Mess- und Steuerungstechnik einer für die Fragestellung konzeptionierten Kalibrierkammer – statt. Die Planungen einschließlich der Durchführung von Vorversuchen zu kritischen Komponenten sollen Anfang 2021 abgeschlossen sein, so dass anschließend die Fertigung der Versuchsanlage beauftragt werden kann. Mithilfe dieser Kalibrierkammer sollen die experimentellen Untersuchungen unter Anwendung und Weiterentwicklung einer von Cudmani (2001) entwickelten Methode zur Interpretation von Sondierergebnissen, basierend auf experimentellen und numerischen Untersuchungen, durchgeführt werden.

Literatur:

DIN EN 1997-2:2010-10: Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds; Deutsche Fassung EN 1997-2:2007 + AC: 2010.

Lunne, T.; Robertson, P. K.; Powell, J. J. M. (1997): Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice. Routledge, London, New York: Blackie Academic & Professional.

Melzer, K.-J. (1968): Sondenuntersuchungen in Sand. Aachen: Technische Hochschule. Mitteilungen aus dem Institut für Verkehrswasserbau, Grundbau und Bodenmechanik (VGB) der TH Aachen, 43.

Cudmani, R. O. (2001): Statische, alternierende und dynamische Penetration in nichtbindigen Böden. Karlsruhe: KIT. Veröffentlichungen des Institutes für Bodenmechanik und Felsmechanik der Universität Fridericiana in Karlsruhe, 152).



Rückverankerung mit Stahlrammpfählen

Einflussfaktoren für geringe Tragfähigkeiten

1 Aufgabenstellung und Ziel

Im Zuge der Errichtung des neuen Schiffshebewerks Niederfinow sollten die Uferwände des Unteren Vorhafens mit Stahlrammpfählen rückverankert werden. Im Baugrundgutachten (aus dem Jahr 2001) wurde der Baugrund bewertet und es wurden für die verschiedenen Bodenarten u. a. Bruchwerte der Mantelreibung für Stahlrammpfähle empfohlen. Diese Werte befinden sich im Bereich der üblichen Erfahrungswerte und entsprechen auch jenen nach der aktuellen EA-Pfähle (2012).

Zur Verifikation der empfohlenen Bruchwerte wurden statische Probelastungen an insgesamt 6 lotrechten Stahlrammpfählen durchgeführt. Hierbei konnten keine ausreichenden Tragfähigkeiten nachgewiesen werden. Die nachgewiesenen Tragfähigkeiten liegen lediglich zwischen 17 % und 49 % der geplanten Prüflast.

Zur Ursachenanalyse wurden zusätzliche Baugrundaufschlüsse ausgeführt. Diese bestätigten den Schichtenaufbau gemäß Baugrundgutachten, d. h. Torf unterlagert von gleichförmigen Feinsanden und zur Tiefe hin gröberen Sanden. Ferner wurden die Rammprotokolle gesichtet, die Stahlrammpfähle ausgebaut und visuell begutachtet. Es konnten keine Auffälligkeiten festgestellt werden, die die geringe Lastaufnahme unmittelbar erklären könnten.

Die Ursachen bzw. die Einflussfaktoren für die geringe Tragfähigkeit der Stahlrammpfähle sollen herausgefunden werden. Je nach Ergebnis sind die bisherigen Erfahrungswerte in den einschlägigen und in der Fachwelt anerkannten Empfehlungen (EAP) neu zu formulieren.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Stahlrammpfähle sind ein übliches und bewährtes Verankerungselement bei Bauprojekten der WSV sowie generell im Hafenbau. Beim Torinstandsetzungsdock in Brunsbüttel werden aktuell Stahlrammpfähle für die Sohlverankerung geplant. (Wegen Betonangriff gibt es dort keine anderen Rückverankerungsarten nach DIBt-Zulassung.)

Auftragsnummer:

B3952.05.04.70410

Auftragsleitung:



Christian Puscher
christian.puscher@baw.de

Laufzeit:

2018 bis 2021

Die Untersuchungsergebnisse sollen eine sichere und fundierte Bemessungsgrundlage für die Anwendung von Verankerungen mittels Stahlrammpfählen ermöglichen.

3 Untersuchungsmethoden

Weitere statische und dynamische Probelastungen mit identischen Stahlrammträgerprofilen sollen im Bereich des Baufeldes erfolgen. Hierbei sollen der Einbringvorgang sowie die Durchführung der Probelastung eng begleitet werden. Zusätzliche Baugrundaufschlüsse im Nahbereich der Probelastungs-Standorte dienen der Bewertungsmöglichkeit der unmittelbaren Baugrundverhältnisse sowie der Herleitung spezifischer numerischer Stoffparameter. Eine messtechnische Instrumentation mittels Faseroptik ist zu erwägen.

Mit numerischen Methoden soll der Einbringvorgang simuliert werden, um die maßgeblichen Einflussfaktoren herauszuarbeiten sowie das Prozessverständnis zu verbessern. Für letzteres sind auch ergänzende kleinmaßstäbliche Modellversuche vorzusehen.

4 Ergebnisse

Das Institut für Geotechnik und Baubetrieb der TU Hamburg von Prof. Grabe wurde beauftragt, die maßgebliche Forschungsleistung durchzuführen, um möglichst zeitnah belastbare Forschungsergebnisse für weitere WSV-Projekte zu erzielen.

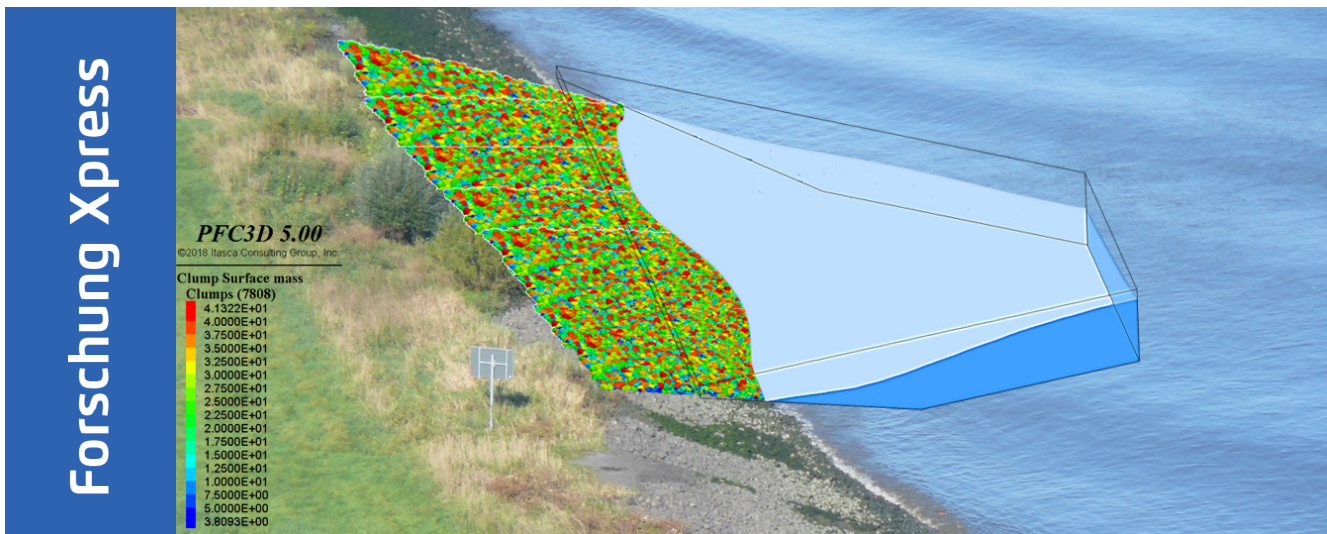
Aus der Sichtung der Literatur und der Analyse der bisherigen Fakten und Untersuchungsergebnisse konnte keine Ursache für die festgestellten geringen Tragfähigkeiten der Stahlrammpfähle beim Bauprojekt Niederfinow abgeleitet werden.

In einem zusammen mit der WSV festgelegten Probefeld im Bereich des unteren Vorhafens stehen die Baugrunderkundungen mit den nachfolgenden Laboruntersuchungen unmittelbar bevor; darauf baut das Konzept zu numerischen Simulationen und Modellversuchen auf.

Im Rahmen der weiteren Untersuchungen sollen statische und dynamische Probelastungen begleitet bzw. durchgeführt, die Ergebnisse dargestellt und analysiert sowie numerische Simulationen und Modellversuche durchgeführt werden.



Bild 1: Ausgerüttelter Probepfahl.



Deckwerksanalyse mit der Diskrete-Elemente-Methode

CFD-DEM-Modellierung von Schüttsteindeckwerken an Seeschiffahrtsstraßen

1 Aufgabenstellung und Ziel

Deckwerke dienen dem Schutz einer Uferböschung vor Erosion infolge der angreifenden hydraulischen Belastungen aus Wellen und Strömungen. Kenntnisse über Schädigungsmechanismen und Widerstände von Deckwerken aus losen Wasserbausteinen gegenüber hydraulischen Belastungen sind für eine wirtschaftliche Bemessung von Deckwerken in der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) unverzichtbar. Für die komplexen und vielfältigen Randbedingungen in den Ästuaren sind die derzeitigen Bemessungsgrundlagen mitunter mit gewissen Unsicherheiten verbunden. Das Ziel ist, mit Hilfe eines gekoppelten CFD-DEM-Modells (Computational Fluid Dynamics und Diskrete-Elemente-Methode) die Widerstände von Schüttsteindeckwerken für die jeweiligen Randbedingungen an Seeschiffahrtsstraßen zu erfassen und somit die bisherigen Bemessungsverfahren zu verifizieren.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Aufgrund zahlreicher Vorteile sind sogenannte Schüttsteindeckwerke aus losen Wasserbausteinen (s. o.) das am häufigsten an Wasserstraßen angewandte Sicherungsverfahren und stellen somit ein erhebliches finanzielles Anlagevolumen dar. In der WSV werden im Rahmen der Unterhaltung und des Neubaus jedes Jahr große Mengen von Wasserbausteinen als Ufersicherung eingebaut. Eine Bemessung von Deckwerken an Seeschiffahrtsstraßen ist jedoch aufgrund der stetig größer werdenden Seeschiffe sowie der sich ändernden Schiffsformen mitunter mit gewissen Unsicherheiten verbunden.

Die derzeitigen Bemessungsgrundlagen für Deckwerke (z. B. GBB 2010; EAK 2002, korr. 2007; Hansen 1985) basieren auf Erfahrungswerten, physikalischen Modellansätzen sowie zumeist kleinmaßstäblichen Modellversuchen und decken hauptsächlich entweder den Binnen- oder den Küsten(schutz)bereich (d. h. seegangbeanspruchte Küstenschutzwerke) ab. Die Interaktion aus hydraulischen Einwirkungen und Deckwerk für die speziellen Randbedingungen im Ästuarbereich mit Tideinfluss und Einwirkungen passierender Seeschiffe wurde bisher nur unzureichend untersucht.

Auftragsnummer:

B3952.06.04.70270

Auftragsleitung:



Dr. Martin Pohl
martin.pohl@baw.de

Laufzeit:

2008 bis 2021

3 Untersuchungsmethoden

Die Projektbearbeitung gliedert sich in die Teile physikalische Modellversuche, Naturversuche sowie numerische Modellierung.

Für die Abbildung des Deckwerkes im numerischen Modell wird die Deckschicht aus losen Wasserbausteinen mithilfe der DEM simuliert. Die einzelnen Steine können so in ihrer Form bzw. Größen- und Massenverteilung weitestgehend realistisch abgebildet und in der Bewegung mit jeweils drei translatorischen bzw. rotatorischen Freiheitsgraden wirklichkeitsnah simuliert werden. Die hydraulischen Einwirkungen aus Wellen und Strömungen werden mit einem CFD-Programm modelliert. Zur ganzheitlichen Simulation der Interaktion Wasser und Deckschicht werden die DEM- und CFD-Modellierung miteinander gekoppelt.

Das numerische Modell wird anhand physikalischer Modellversuche in der großen Strömungsrinne der BAW in Hamburg sowie durch Naturmessungen an bestehenden Deckwerken plausibilisiert. Im Rahmen des FuE-Vorhabens wurde zur Verifikation der Ergebnisse der DEM-Modellierung eigens ein Messsystem entwickelt, bei dem reale Wasserbausteine mit Beschleunigungs-, Drehraten und Drucksensoren ausgerüstet sind. Über die Aufzeichnung der an den Steinen auftretenden Lageänderungen kann auf die Bewegungen infolge der angreifenden hydraulischen Belastungen rückgeschlossen (Beispiel siehe Bild 1) und mit den Simulationsergebnissen verglichen werden. Die somit gewonnenen Erkenntnisse werden für weitere Simulationen angewendet.

4 Ergebnisse

Die für die numerischen Deckwerkssteine erforderlichen Parameter wurden durch die Versuche in der Strömungsrinne ermittelt. Dazu wurde ein Abschnitt aus losen Wasserbausteinen in verschiedenen Versuchsstufen mit steigender Geschwindigkeit und bei jeweils unterschiedlicher Neigung durch böschungsparelle Strömung beansprucht. Die Erfassung der Steinverlagerungen erfolgte messtechnisch mittels Laserscan sowie visuell durch Farbmarkierungen. Die in den Rinnenversuchen gemessene Verteilung der Strömungsgeschwindigkeit sowie die Verlagerung der Deckwerkssteine wurden im numerischen Modell nachvollzogen und somit die entsprechenden Eingangsparameter kalibriert.

Im Rahmen der Naturversuche wurden an der Elbinsel Lühesand in exponierter Lage Wellen- und Strömungsmessungen durchgeführt sowie im bestehenden losen Deckwerk instrumentierte Wasserbausteine platziert. Ergänzend wurden Videoaufzeichnungen der auftretenden schiffsinduzierten Wellenbilder vorgenommen.

Im numerischen Modell wurden Variantenbetrachtungen mit ausgewählten hydraulischen Ereignissen aus den Naturmessungen sowie den an Seeschiffahrtsstraßen üblichen Wasserbausteinclassen CP_{90/250}, LMB_{5/40} und LMB_{10/60} durchgeführt, die resultierenden Beschleunigungen und Kräfte in der Deckschicht untersucht und den Ergebnissen aus den Naturmessungen gegenübergestellt. Ferner wurde der Einfluss wiederkehrender Lastereignisse numerisch simuliert, um progressive Schadensmechanismen analysieren zu können.

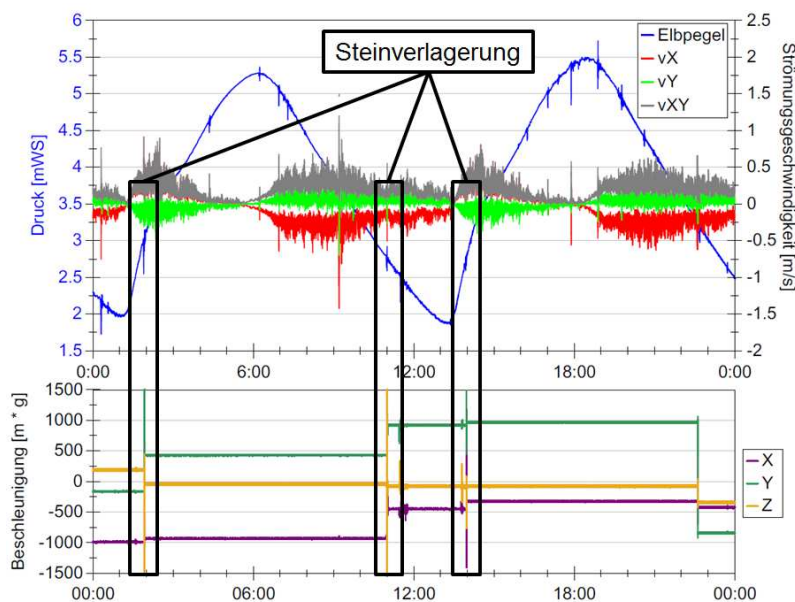


Bild 1: Beispiel für registrierte Steinverlagerungen im Zeitraum von 24 h.

Literatur:

BAW (Hg.) (2010): Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen (GBB). BAWMerkblatt.

Hansen, U. A. (1985): Wasserbausteine im Deckwerksbau, Bemessung und Konstruktion. Heide: Westholsteinische Verlagsanstalt Boysens & Co.

KFKI (Hg.) (2002, korr. Ausgabe 2007): Empfehlungen für die Ausführung von Küstenschutzwerken (EAK). Die Küste, Heft 65. Heide: Westholsteinische Verlagsanstalt Boysens & Co.

Petzoldt, L. (2018): Anwendung der DEM zur Analyse der Stabilität von Schüttsteindeckwerken. In: DGGT (Hrsg.): 35. Baugrundtagung. Forum für junge Geotechnik-Ingenieure. Beiträge der Spezialsitzung. ISBN 978-3-946039-05-1, S. 113–119.



Bestimmung des Tragverhaltens von offenen Stahlrohrpfählen

Zur Regeneration der axialen Pfahltragfähigkeit

1 Aufgabenstellung und Ziel

In der Fachwelt ist das Verständnis für das physikalische Verhalten von offenen Stahlrohrpfählen bei unterschiedlichen Durchmessern nur unzureichend erschlossen. Entsprechend unterscheiden sich beispielsweise Angaben in diesbezüglichen maßgeblichen Empfehlungen: Die Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“ (EAP) weichen deutlich von den Empfehlungen des American Petroleum Institute (API) ab. Diese führen zu unterschiedlichen rechnerischen axialen Pfahltragfähigkeiten, wodurch sich Unsicherheiten bei der Dimensionierung von Gründungen mit offenen Stahlrohrpfählen ergeben.

Bei vielen Pfahlprobelastungen an Rohrpfählen, jedoch auch bei anderen gerammten Profilen und Ankern, konnte zudem durch erneute Probelastung zu einem späteren Zeitpunkt eine Zunahme ΔR der anfänglichen Tragfähigkeit $R_{t=0}$ beobachtet werden.

$$R_t = R_{t=0} + \Delta R$$

Die Bandbreite reicht jedoch – in ähnlichen Zeiträumen – von $\Delta R = 0$ (keine Zunahme der Tragfähigkeit) bis etwa $\Delta R = R_{t=0}$ (Verdoppelung der Tragfähigkeit). Untersuchungen zum zeitlich veränderlichen Tragverhalten von Pfahlgründungen in rolligen Böden lassen darauf schließen, dass unterschiedliche Faktoren sowohl die Tragfähigkeit als auch die Steifigkeit gerammter Profile beeinflussen. Obwohl dieses Phänomen laut Long (1999) bereits vor über 100 Jahren von Wendel zum ersten Mal dokumentiert wurde (Wendel 1900), liegen bis heute keine verlässlichen Ansätze zur Prognose der zeitlichen Tragfähigkeitsentwicklung gerammter Profile vor.

Verschiedenen Untersuchungen nach ist die zeitliche Veränderung von Pfahltragfähigkeit und Pfahlsteifigkeit von mechanischen, chemischen und mikrobiologischen Bedingungen beeinflusst (Suarez 2012). Im Folgenden wird beispielhaft einer dieser möglichen Einflüsse beschrieben:

Nach der Einbringung des Pfahles verspannt sich der Baugrund in dessen Umgebung. Die für die Mantelreibung maßgebenden radialen Spannungen sind laut einer Hypothese von Chow (Chow et al. 1998) zunächst nicht in vollem Umfang wirksam. Aufgrund von Gewölbebildung sollen diese zunächst vom

Auftragsnummer:

B3952.06.04.70378

Auftragsleitung:



Mussie Kidane
 mussie.kidane@baw.de

Laufzeit:

2013 bis 2022

Pfahlmantel abgeschirmt sein. Diese Gewölbebildung soll sich infolge von Kriechprozessen über die Zeit hinweg abbauen, was wiederum zu einem Anstieg der radialen Spannungen und damit zur Erhöhung der Pfahltragfähigkeit führt. Die Hypothese wird u. a. auf Ergebnisse der Feldmessungen von Ng (Ng et al. 1988) zurückgeführt.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Offene Stahlrohrpfähle werden in der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) vornehmlich bei kombinierten Rohrspundwänden, Tiefgründungen im offenen Wasser sowie als Anlegedalben eingesetzt. Häufig kommen sie auch beim Bau von Kajen als zusammengesetzte Tragbohlen vor. Die Belastungsrichtungen variieren stark zwischen vorwiegend vertikal und vorwiegend horizontal. Des Weiteren werden offene Stahlrohrpfähle mit ähnlichen, aber auch deutlich größeren Abmessungen als Gründungselemente von Offshore-Windenergieanlagen und -Plattformen eingesetzt. Um offene Stahlrohrpfähle wirtschaftlich und sicher einsetzen zu können, werden möglichst präzise Prognoseverfahren zur Bestimmung des Pfahltragverhaltens benötigt.

3 Untersuchungsmethoden

Im Rahmen von WSV-Baumaßnahmen soll der Rammvorgang von offenen Stahlrohrpfählen messtechnisch begleitet werden, um die Pfropfenbildung, die innere und äußere Mantelreibung, den Spitzenwiderstand sowie entstehende Porenwasserüberdrücke zu ermitteln. Die Begleitung soll an einer Modellfamilie, bestehend aus Stahlrohrpfählen mit Durchmessern von etwa 70 cm, 150 cm und 250 cm, erfolgen. Durch dynamische und statische Probelastungen soll das Tragverhalten ermittelt werden. Hierdurch wird zudem ein direkter Vergleich der Ergebnisse zur Tragfähigkeit aus verschiedenen Prognoseverfahren ermöglicht. Zur Ermittlung von „Anwachseffekten“ sollen dynamische Probelastungen zu späteren Zeitpunkten ($t = 28$ d, 180 d) durchgeführt werden. In ergänzenden Modell- und Laborversuchen wird die zeitliche Tragfähigkeitsentwicklung unter definierten Bedingungen (u. a. mechanisch, chemisch und biologisch bedingte Alterung) in Kooperation mit der TU München – Zentrum Geotechnik untersucht. Hierbei soll eine Pfahlgruppe in einer Versuchsgrube in Sand eingebaut werden, was für die Fragestellung typische und repräsentative Randbedingungen aufweist. Die Pfähle sollen bei verschiedenen Belastungsbedingungen sowie zu unterschiedlichen Zeiten statischen sowie dynamischen Pfahlprobelastungen unterzogen werden. Ein zugehöriges Laborversuchsprogramm soll die zeitlichen Effekte im Labormaßstab untersuchen. Zusätzliche numerische Simulationen sollen helfen, ein besseres Verständnis für die beobachteten Phänomene zu erhalten.

4 Ergebnisse

In einem ersten Feldversuch im Marinehafen Wilhelmshaven wurden u. a. kombinierte Erddruck-/Porenwasserdrucksensoren an einem Schutzdalben mit einem Durchmesser von 71 cm und einer Einbindetiefe von 15 m installiert. Dieser wurde im Rahmen einer Baumaßnahme des WSA in mitteldicht gelagerten Sand gerammt. Spannungsmessungen entlang des Schaftes des Dalbens bei dessen Einrammung sowie über einen Zeitraum von 27 Monaten ließen auf eine Reduktion der radialen auf den Schutzdalben wirkenden Spannungen schließen. Nach anschließender Durchführung einer zweiten dynamischen Pfahlprobelastung konnte eine deutliche Pfahlwiderstandssteigerung beobachtet werden.

Der Plan für die Ausführung von Probelastungen an einer Pfahlgruppe aus instrumentierten Stahlrohrpfählen in der geotechnischen Versuchsgrube des Zentrum Geotechnik der TU München wurde erarbeitet. In Vorversuchen wurde der Einsatz faseroptischer sowie weiterer Sensortechnik vergleichend untersucht. Erste numerische Simulationen von Feld- und Laborversuchen wurden mittels der Finite-Elemente-Methode (FEM), der Finite-Differenzen-Methode (FDM) sowie der Distinkte-Elemente-Methode (DEM) durchgeführt.

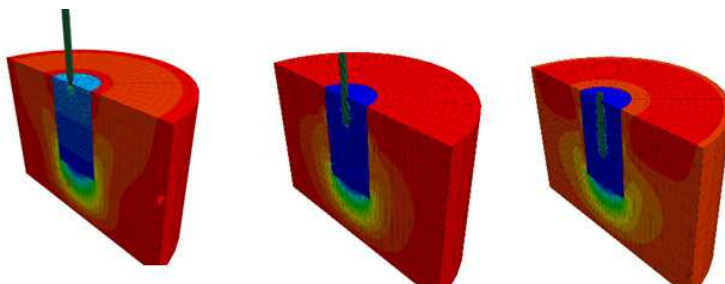


Bild 1: Simulationsergebnis einer Drucksondierung mittels gekoppelter DEM-FDM-Berechnung – farblich dargestellt ist die Größe der vertikalen Verschiebung.

Literatur:

Chow, F. C. (1998): Effects of Time on Capacity of Pipe Piles in Dense Marine Sand. In: ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Bd. 124, (Nr. 3).

Long, J. H. (1999): Measured Time Effects for Axial Capacity of Driven Piling. Transportation Research Record 1663 (Paper No. 99-1183).

Ng E. S. et al. (1988): Pile Foundations: The Behaviour of Single Piles in Cohesionless Soils, Federal Highway Administration Report, FHWA-RD-88-081 & 082 Federal Administration, Washington D. C.

Suarez, N. R. (2012): Micromechanical Aspects of Aging in Granular Soils. Dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University (Blacksburg VA, USA).

Wendel, E. (1900): On the Test Loading of Piles and its Application to Foundation Problems in Gothenburg. Tekniska Samfundet i Göteborg handl. (No. 7).



Ethohydraulische Versuche zur Passierbarkeit des Einstiegs von Fischaufstiegsanlagen

1 Aufgabenstellung und Ziel

Die Funktionsfähigkeit von Fischaufstiegsanlagen hängt im Wesentlichen von der Auffindbarkeit und der Passierbarkeit ab. Letztere bedeutet, dass Fische die gesamte Anlage durchschwimmen können. Neben regulären Becken, für deren Planung Bemessungsgrundlagen vorhanden sind, beinhalten fast alle Fischaufstiegsanlagen an Bundeswasserstraßen Sonderbauwerke, bei denen dies nicht der Fall ist. Gemeinsam mit der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) werden daher im Rahmen des FuE-Vorhabens „Passierbarkeit von Sonderbauwerken in Fischaufstiegsanlagen“ Grundlagen erarbeitet, die es den planenden Ingenieuren ermöglichen, funktionsfähige Anlagen zu dimensionieren.

Die ethohydraulischen Versuche sind Teil dieses Vorhabens. Die Publikation der Ergebnisse der abgeschlossenen Versuche zum Einstiegsbecken (Schütz et al. 2020) und zum Einstiegsschlitz sind für 2021 vorgesehen. Auch die aktuellen Versuche befassen sich mit dem Einstiegsschlitz. Dieser bildet den Schnittpunkt zwischen Auffindbarkeit und Passierbarkeit: Er muss einerseits, z. B. durch eine hohe Fließgeschwindigkeit, eine für Fische gut wahrnehmbare Leitströmung im Unterwasser generieren, aber andererseits auch für kleine, leistungsschwache Fische passierbar sein. Für diese Fische wird angenommen, dass sie die Eigenschaften einer rauen Sohle bei der Schlitzpassage nutzen, wenngleich die sohlnahen Fließgeschwindigkeiten durch die Sohlrauheit, anders als unter Normalabflussbedingungen, nicht merklich reduziert werden. Im aktuellen Projekt wird untersucht, ob sich durch eine raue Sohle im Vergleich zu einer glatten Sohle die Passagewahrscheinlichkeit für schwimmschwache Fische erhöht. Die Ergebnisse werden für die Berücksichtigung der Sohlrauheit bei der Auslegung der Bemessungsgeschwindigkeit von Fischaufstiegsanlagen benötigt.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Seit der Novellierung des Wasserhaushaltsgesetzes zum 1. März 2010 ist die Erhaltung bzw. Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit, soweit dies zur Erreichung der einschlägigen Bewirtschaftungsziele erforderlich ist,

Auftragsnummer:

B3953.01.04.70006

Auftragsleitung:



Dr. Martin Henning
 martin.henning@baw.de

Auftragsbearbeitung:



Veronica Wiering
 veronica.wiering@baw.de

Auftragsbearbeitung BfG:

Dr. Martina Heynen
 heynen@bafg.de

Laufzeit:

2015 bis 2021

gesetzlicher Auftrag der WSV. Im Hinblick auf die Dringlichkeit der Maßnahmen, die große Zahl von circa 250 durchgängig zu gestaltenden Stauanlagen und die dort zumeist beengten Platzverhältnisse besteht ein großer Bedarf an belastbaren Bemessungskriterien, der angesichts des noch unzureichenden Wissens auf diesem Gebiet einen entsprechenden Forschungsbedarf begründet. Ethohydraulische Untersuchungen werden eingesetzt, um Erkenntnisse im Zusammenhang von Fischverhalten und Hydraulik für die Planungspraxis zu erzielen.

3 Untersuchungsmethoden

In einer 2,5 m breiten Rinne wurde ein gegenständliches Modell (Maßstab 1:1) eines Einstiegsschlitzes aufgebaut (Bild 1). Die Schlitzgeometrie orientiert sich an gängigen Maßen sowie an Erkenntnissen aus hydraulischen Voruntersuchungen. Das Modell wird mit Wildfischen besetzt, wobei die Versuchszeiträume durch die Wanderperioden der jeweiligen Art vorgegeben sind. Im Frühjahr 2020 fand der erste Teilversuch mit Rotaugen statt. Der zweite Teilversuch mit Gründlingen folgt im Frühjahr 2021. Pro Einzelversuch werden je drei Individuen in einen strömungsberuhigten Startbereich eingesetzt und ihre Schwimmwege werden mittels Zeitmessung und durch manuelle Protokollierung dokumentiert. Es wird erfasst, wie viele Fische, gemessen am Überschwimmen einer definierten Ziellinie, den Einstieg passieren (Erfolg/Nichterfolg).

Der Rinnenboden ist entweder als unbewegliche raue oder als glatte Sohle ausgebildet. Die Fischversuche werden wechselnd mit rauher oder glatter Sohlstruktur durchgeführt, wobei der Durchfluss, die Wasserstands-differenz am Schlitz (Δh) und somit die Bemessungsgeschwindigkeit im Schlitz beibehalten werden. Der Unterwasserstand wird dementsprechend eingestellt. Die vorgegebene Bemessungsgeschwindigkeit ergab sich aus den vorangegangenen Fischversuchen und stellt einen Wert dar, dessen Überschreitung zu einer signifikanten Reduzierung des Passage-Erfolgs führt. Sie ist eine für die Praxis relevante Zielgröße. Es wird erwartet, dass sich in diesem Geschwindigkeitsbereich ein möglicher Einfluss einer veränderten Sohle auf den Passage-Erfolg besonders deutlich zeigt.

Die Hydraulik des Ober- und Unterwassers sowie im Besonderen des Schlitzes wird für beide Sohlauf-lagen mittels Acoustic Doppler Velocimetry (ADV) vermessen. Die Versuche werden außerdem mit einem Videosystem aus zehn synchron betriebenen Industriekameras aufgezeichnet, was im Nachgang die 3D-Analyse der Fischbewegungen ermöglicht. Durchführung und Auswertung der Fischversuche obliegen der BfG, während die BAW die hydraulischen Untersuchungen und den Betrieb der Infrastruktur vornimmt.

4 Ergebnisse

In einem Variantenstudium wurde für die raue und die glatte Sohle jeweils ein hydraulischer Zustand ermittelt, sodass die relevanten hydraulischen Kenngrößen für die Schlitzpassage in beiden Fällen vergleichbar sind. Bild 1 zeigt die gemessenen vertikalen Geschwindigkeitsprofile im Schlitz (zeitgemittelt und normiert) bei rauher und glatter Sohle. Bei gleichem Δh und somit gleicher Bemessungsgeschwindigkeit sind die Geschwindigkeitswerte über die Tiefe nahezu konstant. Je nach Sohlauf-lage zeigen sich nur geringfügige Unterschiede in der lokalen Verteilung der Geschwindigkeiten. So sind in unmittelbarer Nähe des Wasserspiegels die Geschwindigkeiten leicht reduziert, wobei diese Abnahme im Fall der rauhen Sohle stärker ausgeprägt ist. Im sohl-nahen Bereich vermindert sich die Geschwindigkeit bei der glatten Sohle, während es im Fall der rauhen Sohle zu einer lokalen Erhöhung kommt. Die sohl-nahen Änderungen fallen mit ± 2 Prozent des Mittelwerts sehr gering aus, wobei auch zu erwähnen ist, dass die Geschwindigkeiten im Lückensystem der rauhen Sohle aus messtechnischen Gründen nicht erfassbar waren.

Die Messungen bestätigen die zuvor getroffene Annahme, dass eine Erhöhung der Sohlrauheit bei einer Schlitz-durchströmung im messtechnisch erfassbaren Bereich (bis ca. 2 cm oberhalb der Steinspitzen) keine maßgebliche Veränderung der dort auftretenden mittleren Fließgeschwindigkeit bewirkt. Inwiefern die Strömungsverhältnisse im nicht messbaren Bereich oder andere Eigenschaften der rauhen Sohle (z. B. veränderte optische Reize) einen Einfluss auf die Fischpassage nehmen, ist Gegenstand der Fischexperimente.

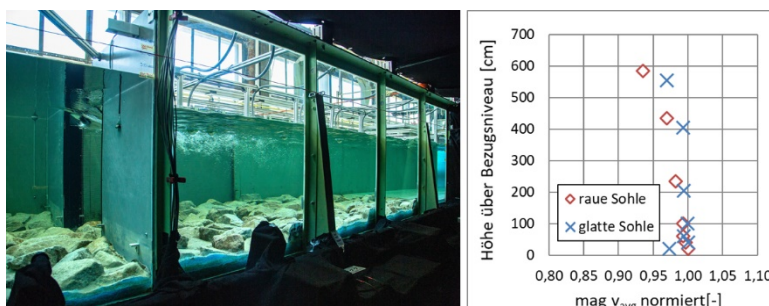
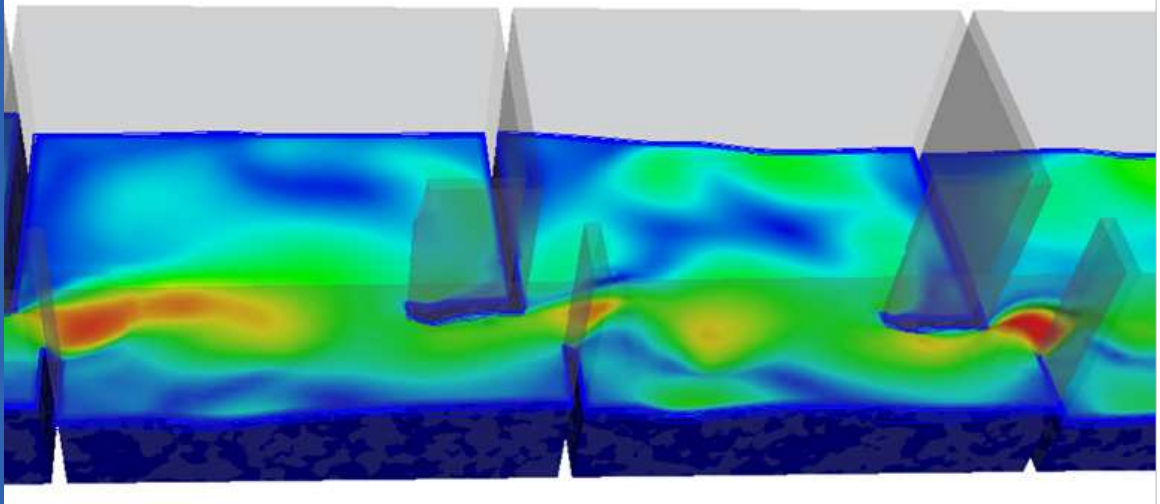


Bild 1: Modellierter Einstiegsschlitz bei rauher Sohlauf-lage (links), ADV-Vergleichsmessungen bei rauher und glatter Sohle: vertikales zeitgemittelttes normiertes Geschwindigkeitsprofil (rechts).

Literatur:

Schütz, C. et al (2020): Addition of auxiliary discharge into a fishway – a contribution to fishway design at barrages of large rivers. Manuscript submitted for publication.



Berücksichtigung zeitabhängiger Strömungsprozesse bei der Beurteilung der Hydraulik von Fischaufstiegsanlagen

1 Aufgabenstellung und Ziel

Um die Hydraulik von Fischaufstiegsanlagen (FAA) zu erfassen, betreibt die BAW gegenständliche und numerische Modelle. Momentan werden zur Beurteilung der Hydraulik für Fische überwiegend zeitliche Mittelwerte der Strömungsgeschwindigkeiten genutzt. Es besteht jedoch Übereinstimmung mit Biologen, dass im turbulenten hydraulischen Umfeld in und an Fischaufstiegsanlagen die Schwankung und Struktur und somit die zeitliche Auflösung der Strömungsfelder eine große Rolle für die Wahrnehmung der Strömung durch Fische spielt. Allerdings gibt es kaum Wissen über das Fischverhalten in turbulenter Strömung und auch keine anerkannten Berechnungsverfahren zur Beschreibung zeitabhängiger Strömungsprozesse. Im vorliegenden Forschungsprojekt werden solche Verfahren anhand hochaufgelöster Labormessungen (Particle Image Velocimetry, PIV) und numerischer Simulationen (Large Eddy Simulation, LES) entwickelt. Das gewonnene Wissen soll genutzt werden, um Ergebnisse aus Fischverhaltensuntersuchungen zu interpretieren. Langfristig sollen die Projektergebnisse dazu dienen, allgemeingültige Zusammenhänge zwischen zeitabhängigen Strömungsprozessen und dem Fischverhalten zu formulieren.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Im Zuge der Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie und der Änderung des Wasserhaushaltsgesetzes fällt die Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit und insbesondere des Fischaufstieges in den gesetzlichen Auftrag der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV). Im Hinblick auf die Dringlichkeit der Maßnahmen und die große Zahl von circa 250 durchgängig zu gestaltenden Stauanlagen besteht ein großer Bedarf an neuen Erkenntnissen und daraus abgeleiteten Bemessungskriterien für Fischaufstiegsanlagen an Bundeswasserstraßen. Im Rahmen dieses Forschungsprojekts sollen Verfahren zur Parametrisierung zeitlich aufgelöster Strömungsfelder entwickelt werden, anhand derer die Fischbewegung interpretiert und vorhergesagt werden kann. Somit werden die Ergebnisse des

Auftragsnummer:

B3953.01.04.70008

Auftragsleitung:



Dr. Béla Sokoray-Varga
 bela.sokoray-varga@baw.de

Laufzeit:

2016 bis 2022

Forschungsvorhabens an der zentralen Schnittstelle der BAW mit der Bundesanstalt für Gewässerkunde benötigt. Sie dienen der Vorbereitung und Auswertung der Versuche an den WSV-Pilotanlagen und in ethohydraulischen Modellen sowie der Entwicklung von Prognosemodellen, Bewertungsverfahren und Bemessungsgrundlagen für die Dimensionierung verschiedener FAA-Bauwerksteile.

3 Untersuchungsmethoden

Zur Entwicklung von Thesen bezüglich des Zusammenhanges von Hydraulik und Fischverhalten sind Untersuchungen mit lebenden Fischen notwendig, in denen die Fischbewegung bei gleichzeitiger Erfassung zeitabhängiger Strömungsprozesse ermittelt werden kann. Für die Erfassung der Strömung müssen Daten in den für die Fische relevanten Skalen gewonnen werden. Dazu werden erst maßstäbliche Versuche durchgeführt, in denen komplexe Strömungsmuster mittels PIV in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung vermessen werden können. Mit den Ergebnissen wird, aufbauend auf bisherigen Untersuchungen (Sokoray-Varga 2016), die Parametrisierung zeitabhängiger Strömungsprozesse weiterentwickelt, sodass diese anschließend mit Punktmesssonden (z. B. Acoustic Doppler Velocimeter, ADV) während ethohydraulischer Versuche gemessen werden können.

Um unabhängig von aufwändigen gegenständlichen Versuchen zu sein, werden anhand der Messergebnisse numerische Methoden zur Vorhersage zeitabhängiger Strömungsprozesse, beispielsweise mittels LES, weiterentwickelt. Somit wird eine Übertragung der im Versuch gewonnenen Erkenntnisse auf weitere, komplexe Strömungssituationen, wie z. B. auf das Unterwasser von Wehr- bzw. Wasserkraftanlagen, ermöglicht. Langfristig dienen die Ergebnisse der Entwicklung von Vorhersage- und Verhaltensmodellen (z. B. Gisen 2018) und der Formulierung allgemeiner Zusammenhänge zwischen kohärenten, zeitlich aufgelösten Strömungsprozessen und dem Fischverhalten.

4 Ergebnisse

Als Basis für die Messung zeitabhängiger Strömungsprozesse und zur Vorbereitung der ethohydraulischen Versuche dienen PIV-Messungen im Maßstabsmodell. Aus diesem Grund wurde das Modell des ethohydraulischen Versuchsaufbaus in den PIV-Versuchsstand der BAW eingebaut (Bild 1). Die erste Validierung des Maßstabsmodells erfolgt mit ADV-Messungen im Modell sowie im ethohydraulischen Versuchsaufbau. Im Anschluss werden hochauflösende PIV-Untersuchungen der Strömung durchgeführt.

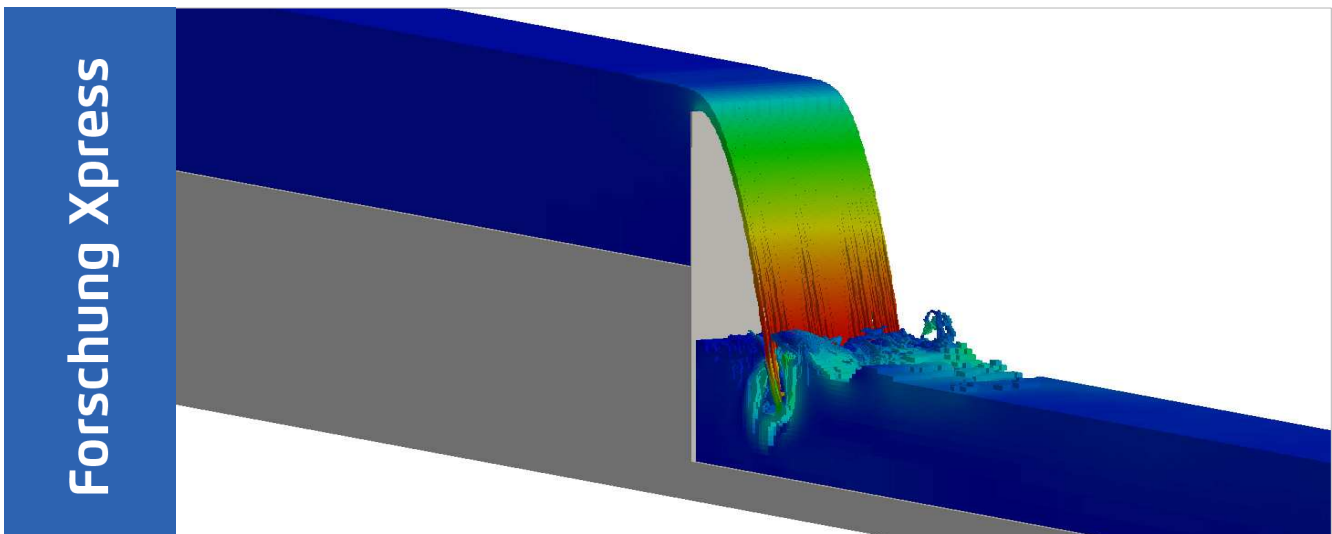


Bild 1: Ansicht des PIV-Versuchsstandes mit dem Maßstabsmodell des ethohydraulischen Versuchsaufbaus.

Literatur:

Gisen, D. C. (2018): Modeling upstream fish migration in small-scale using the Eulerian-Lagrangian-agent method (ELAM). Dissertation an der Universität der Bundeswehr München.

Sokoray-Varga, B. (2016): Detecting flow events in turbulent flow of vertical-slot fish passes. Dissertation am KIT, Karlsruhe.



Fischabstieg an Wehranlagen – Untersuchungen zur Mehrphasenströmung beim Wehrüberfall

1 Aufgabenstellung und Ziel

Bei der Passage von Wasserbauwerken sind Fische einer Vielzahl von Einflüssen ausgesetzt. Diese können neben der Verzögerung der Wanderung auch zur physischen Schädigung der passierenden Fische führen. Das Schädigungspotential bei einem Fischabstieg über ein Wehr wird dabei maßgeblich durch dessen hydraulische Situation bestimmt, welche u. a. durch den Einsatz von numerischen Verfahren bewertet werden kann.

Mit den aktuell zur Verfügung stehenden Zweiphasenlösern auf Basis der Volume-of-Fluid-Methode (VoF-Methode) ist jedoch die realitätsgetreue Abbildung großskaliger frei fallender Strömungen, wie sie zumeist an überströmten Wehren anzutreffen sind, nur schwerlich möglich. Ursächlich hierfür ist die Notwendigkeit einer sehr feinen Auflösung der Wasser-Luft-Grenzfläche, um die dort herrschende Strömungssituation auf der Mikroskala erfassen zu können. Eine derartig feine Auflösung der Wasser-Luft-Grenzschicht erzeugt jedoch einen enormen Bedarf an Rechenressourcen, welcher diese Methode impraktikabel werden lässt. Eine gröbere Auflösung des Strömungsgebiets stellt die hydraulische Situation im Überfallbereich des Wehres unter Verwendung der VoF-Methode nicht realistisch dar und beeinflusst dadurch ebenfalls das Strömungsbild im weiteren Verlauf der unterwasserseitigen Strömung. Damit ist die numerische Bewertung der ökologischen Durchgängigkeit von Wasserbauwerken mit frei fallenden Überfallstrahlen zum aktuellen Stand der Technik nur unzureichend möglich.

Ziel des Forschungsprojektes ist die Entwicklung eines numerischen Ansatzes zur Berücksichtigung des Lufteintragungs- und Aufweitungsprozesses frei fallender Strömungen für großskalige Strömungssituationen. Das zu entwickelnde Modell soll durch ein gegenständliches Modell validiert werden. Durch die Kombination mit einem bereits entwickelten numerischen Ansatz zur Abbildung des Luftransports und zum Aufsteigen von Luftblasen (Schulze 2018) soll die hydraulische Situation an und stromabwärts von überströmten Wehren künftig realitätsnah abgebildet werden.

Auftragsnummer:

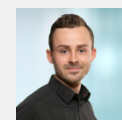
B3953.01.04.70009

Auftragsleitung:



Dr. Roman Weichert
 roman.weichert@baw.de

Auftragsbearbeitung:



Markus Wagner
 markus.wagner@baw.de

Laufzeit:

2019 bis 2021

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Bei Baumaßnahmen an Wehranlagen stehen derzeit Fragen zu möglichen Fischschädigungen in der Diskussion. Kenntnisse, unter welchen WSV-relevanten Randbedingungen mit Schädigungen bei der Passage einer Wehranlage zu rechnen ist, sind daher, insbesondere im Hinblick auf die anstehenden Genehmigungsverfahren, von großer Bedeutung. Die Entwicklung eines numerischen Ansatzes zur realitätsnahen Abbildung von Überfallstrahlen wird zu einer belastbaren Beurteilung des Fischabstiegs durch fischbiologische Experten beitragen.

3 Untersuchungsmethoden

Der numerische Modellansatz zur Berücksichtigung der Strahlaufweitung im frei fallenden Bereich des Überfallstrahls soll weitgehend physikalisch basiert sein. Zunächst wird durch eine Literaturrecherche zum Thema „Lufteträg bei Freistrahlen“ vertieftes Wissen über die physikalischen Vorgänge am Freistrahlaufgebaut und somit für ein verbessertes Prozessverständnis gesorgt.

Für die dreidimensionale Strömungssimulation wird bei der Bundesanstalt für Wasserbau unter anderen die Open-Source-Software OpenFoam® eingesetzt. Diese ermöglicht durch direkten Zugriff auf den Quellcode die Weiterentwicklung der Strömungslöser.

Zur Validierung der numerischen Entwicklung soll ein gegenständliches Modell betrieben werden, welches in einem 1:1-Maßstab zum Anwendungsfall ausgeführt ist. Für die Bestimmung der im Strahl herrschenden Strömungsbedingungen sollen neben konventionellen Strömungsmesssonden zur Geschwindigkeitsmessung auch Leitfähigkeitsmesssonden eingesetzt werden. Diese ermöglichen die Detektion der Strahloberfläche und somit die Quantifizierung der Strahlaufweitung im frei fallenden Bereich des Überfallstrahls.

4 Ergebnisse

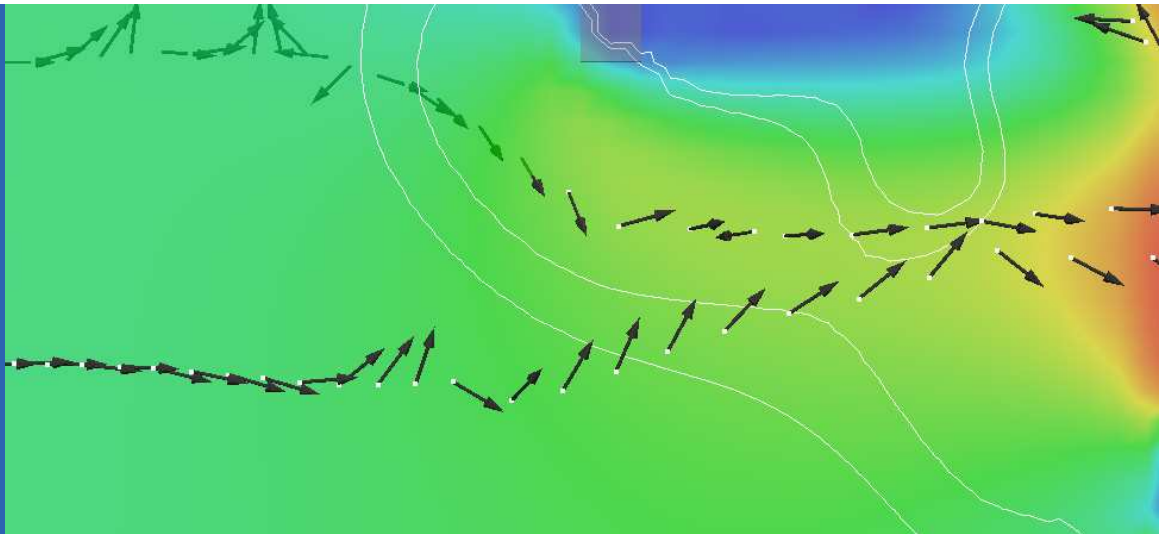
Eine erste Evaluierung des gegenständlichen Modells liefert wertvolle Erkenntnisse für die zukünftige Modellentwicklung. Zu diesen Erkenntnissen gehört, dass die im Oberwasser und insbesondere an der Wehrkante und durch Strahlaufreißer eingetragene Turbulenz maßgeblich für den Aufweitungs- und Luftpentragsprozess des Überfallstrahls einer Wehranlage während des freien Falls ist. Der Einfluss der Reibung an der Wasser-Luft-Grenzschicht ist bei Fallhöhen, die dem Anwendungsfall entsprechen, nur von untergeordneter Bedeutung. Die Aufweitung des Strahls bestimmt dessen Auftrefffläche sowie dessen Eintauchtiefe im unterwasserseitigen Bereich der Wehranlage und dadurch dessen lufteträgende Wirkung. Eine Literaturrecherche zum Aufweitungsverhalten bei Überfallstrahlen an Wehranlagen lieferte keine verwendbaren Messdaten, welche jedoch für die Validierung im Rahmen der numerischen Modellentwicklung nötig sind. Daher ist zur Quantifizierung der Strahlaufweitung die Untersuchung eines Überfallstrahls mit Kenntnis der Oberstrom herrschenden Strömungsbedingungen unabdingbar. Die für die Messung der Strahlaufweitung notwendigen Leitfähigkeitsmesssonden wurden bereits angefertigt und durch geeignete Belastungstests auf ihre Eignung hin überprüft. An einem großskaligen Versuchsstand einer anderen Forschungseinrichtung sollen nun Untersuchungen durchgeführt werden. Hierzu ist eine Kooperation mit dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) in Vorbereitung.

Erste Untersuchungen der numerischen Abbildbarkeit von Überfallstrahlen zeigen, dass aufgrund numerischer Fehler die Strahlaufweitung für kleine Überströmungshöhen der Wehrkante und hohe Fallhöhen des Strahls tendenziell überschätzt wird. Ursächlich ist hierbei die Limitierung der Auflösengenauigkeit der Wasser-Luft-Grenzschicht. Der Einsatz einer künstlichen Komprimierungsfunktion zur Schärfung der Wasser-Luft-Grenzschicht hat sich hier als nicht zielführend herausgestellt, da diese zu einer künstlichen Verkürzung der Aufbrechlänge des Überfallstrahls führt. Lösungen bestehen hier lediglich in der Wahl geeigneter numerischer Transportschemata und in der Erzeugung geeigneter Rechengitterfeinheiten im Grenzbereich des Überfallstrahls.

Für große Überströmungshöhen der Wehrkante und hohe Fallhöhen wird die Strahlaufweitung bei gleicher Auflösung der Wasser-Luft-Grenzschicht tendenziell unterschätzt. Das angestrebte numerische Modell wird genau an diesem Punkt ansetzen. Die richtungweisende Idee ist dabei, den strahlaufweitenden Effekt der nichtaufgelösten turbulenten Strukturen über einen physikalisch basierten Modellierungsansatz zu berücksichtigen. Dieser Ansatz wird einer realitätsnahen numerischen Abbildbarkeit von Strömungssituationen mit Überfallstrahlen, insbesondere für große Überströmungshöhen, näher kommen.

Literatur:

Schulze, L. (2018): Development of an Application-Oriented Approach for Two-Phase Modelling in Hydraulic Engineering. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen, 61).



Modellierung aufwärtsgerichteter Fischwanderung im Kraftwerksunterwasser

1 Aufgabenstellung und Ziel

Die Auffindbarkeit ist für die Funktionsfähigkeit von Fischeaufstiegsanlagen (FAA) an den deutschen Bundeswasserstraßen ein entscheidender Faktor. Existierende Richtlinien wie das DWA-Merkblatt 509 (DWA 2014) sind jedoch nicht detailliert genug, um alle relevanten Planungsfragen zur Auffindbarkeit quantitativ zu beantworten, da wissenschaftliche Erkenntnisse für die Mehrheit der einheimischen Arten derzeit nicht vorliegen. Rein hydraulische Modelluntersuchungen können benötigte Antworten liefern (Gisen et al. 2017), stoßen jedoch bei der Bewertung von hydraulisch geringfügigen, aber finanziell gravierenden Planungsunterschieden mangels geeigneter Methoden an ihre Grenzen.

Eine häufige Frage aus der Beratungspraxis von BAW und BfG (Bundesanstalt für Gewässerkunde) lautet beispielsweise, wie sich die Vergrößerung des Längsabstands zwischen Einstieg und Querbauwerk um wenige Meter auf die Auffindbarkeit auswirkt. Um diese sicher zu beantworten, müsste sowohl der Anteil der in die FAA eingestiegenen Fische als auch ihr Zeit- und Energieaufwand verglichen werden. Diese Werte in der Natur zu erheben, ist mit immensem Aufwand und Unsicherheiten verbunden. Ziel des Projekts ist daher die Entwicklung eines numerischen Verfahrens, welches einen quantitativen Vergleich von baulichen und betrieblichen Planungsvarianten einer FAA in Bezug auf die Auffindbarkeit ermöglicht.

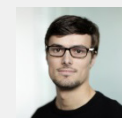
2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Im Auftrag der WSV wird der Bau einer FAA an 42 Standorten geplant (Stand Mai 2019). Insgesamt sind an den Bundeswasserstraßen circa 250 Anlagen zu errichten. Fragen nach der optimalen Position, baulichen Gestaltung und Anzahl der Einstiege in eine FAA und dem Leitabfluss sind überall kostenrelevant, insbesondere bei paralleler Wasserkraftnutzung und räumlich beengten Verhältnissen.

Auftragsnummer:

B3953.01.04.70010

Auftragsleitung:



Dr. David Gisen
 david.gisen@baw.de

Laufzeit:

2019 bis 2024

3 Untersuchungsmethoden

Als Untersuchungsstandort wurde die Staustufe Eddersheim am Main gewählt, da die BfG dort umfangreiche 2D- und 3D-Fischtrack-Daten in unmittelbarer Nähe der dortigen Wasserkraftanlage erhoben hat. Für das Fischtracking im Kraftwerksunterwasser setzt die BfG akustische Telemetrie mit aktiven Sendern ein.

Die Berechnung der Durchflüsse der Wehrfelder und Kraftwerksturbinen für den Untersuchungszeitraum erfolgt an der BAW mit MATLAB. Die Durchflüsse dienen als Input für numerische Modelle, die u. a. Strömungsgeschwindigkeiten und -richtungen für die Analysen der BfG liefern. Zur Simulation des Strömungsfelds im Unterwasser der Staustufe werden 3D-hydro-dynamisch-numerische Modelle verwendet, die mit OpenFOAM erstellt werden.

Die Ergebnisse werden mittels der ELAM (Eulerian-Lagrangian-agent Method) mit einem Verhaltensmodell verknüpft. Die ELAM wird seit über 15 Jahren vom US Army Corps of Engineers zur Beschreibung der abwärts gerichteten Wanderung von Jungsalmoniden entwickelt und angewandt (Goodwin et al. 2014). Ein bestehendes ELAM-Modell wurde im vorangehenden FuE-Projekt "ELAM-Modellierung" mit OpenFOAM gekoppelt (Gisen 2018). Das Verhaltensmodell wurde ersetzt durch ein kleinskaliges ($<0,1$ m; <1 s) 3D-Verhaltensmodell für aufwandernde Bachforellen in einer Laborrinne. Dieses neue ELAM-Modell („ELAM-de“) ist die Basis für weitere Untersuchungen.

4 Ergebnisse

Bislang konnten folgende Ergebnisse erzielt werden:

- Die Geschwindigkeit des Software-Frameworks wurde ungefähr um den Faktor 43 gesteigert und es wurde von OpenFOAM 2.3.1 auf 4.1 portiert.
- Ein visueller Stimulus wurde in das Verhaltensmodell eingebaut und erfolgreich auf den bestehenden Rinnendatensatz angewandt.
- Es wurden zwei 3D-HN-Modelle des Unterwassers Eddersheim mit 100 m und 350 m Länge (Bereich vor der Wasserkraftanlage bzw. gesamter Bereich der Fischdetektionen) erstellt. Berechnet wurden Strömungsgeschwindigkeiten und -richtungen, advective Beschleunigungen, turbulente kinetische Energie und Wasserspiegellage für jeweils drei Abflussszenarien mit den meisten Detektionen (Bild 1).
- Wegen der geringen Strömungsgeschwindigkeiten von maximal circa 1 m/s in Eddersheim soll ein zusätzliches Modell aus den Bewegungsdaten der BfG aus dem Unterwasser der Staustufe Dörverden/Weser erstellt werden. Dort betragen die maximalen Fließgeschwindigkeiten circa 2 m/s, was eine stärkere Reaktion der Fische auf hydraulische Parameter erwarten lässt.

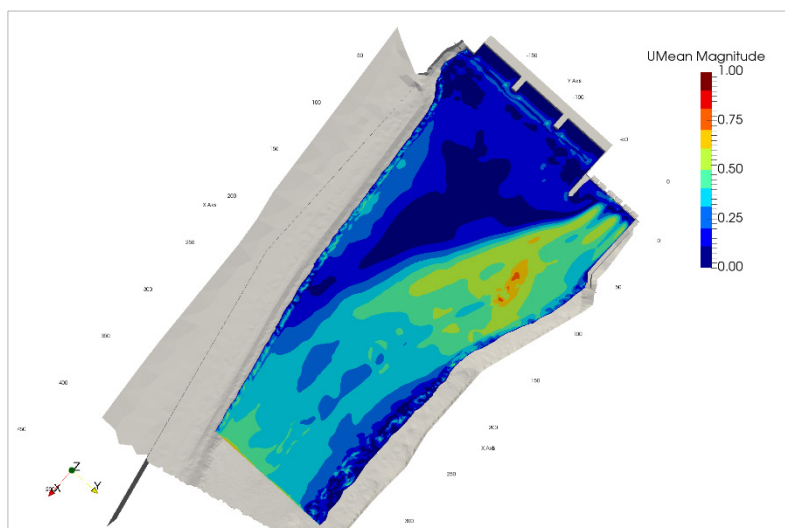


Bild 1: Strömungsgeschwindigkeit (m/s) im Horizontalschnitt circa 0,2 m unter der Wasseroberfläche im 350 m langen 3D-HN-Modell. Kein Durchfluss durch das Wehr; am Wasserkraftwerk sind zwei der drei Turbinen mit je $Q = 50$ m³/s beschriftet.

Literatur:

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (Hg.) (2014): Merkblatt DWA-M 509 – Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke. Hennef: Eigenverlag.

Gisen, David C.; Weichert, Roman B.; Nestler, John M. (2017): Optimizing attraction flow for upstream fish passage at a hydropower dam employing 3D Detached-Eddy Simulation. In: Ecological Engineering 100, S. 344–353. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2016.10.065.

Gisen, David C. (2018): Modeling upstream fish migration in small-scale using the Eulerian-Lagrangian-agent Method (ELAM). Dissertation Universität der Bundeswehr München, <https://hdl.handle.net/20.500.11970/105158>.

Goodwin, R. A.; Politano, M.; Garvin, J. W.; Nestler, J. M.; Hay, D.; Anderson, J. J.; Weber, L. J.; Dimperio, E.; Smith, D. L.; Timko, M. (2014): Fish navigation of large dams emerges from their modulation of flow field experience. In: Proceedings of the National Academy of Sciences 111 (14), S. 5277–5282. DOI: 10.1073/pnas.1311874111.

MAKING River-Sea-Systems Work


 www.danubius-ri.eu

DANUBIUS-RI

Etablierung einer europäischen Forschungsinfrastruktur zu Fluss-Meer-Systemen

1 Aufgabenstellung und Ziel

Fluss-Meer-Systeme sind bedeutende Ökosysteme von großem ökologischem, gesellschaftlichem und ökonomischem Wert. Sie unterliegen hohem Nutzungsdruck und sind infolgedessen in vielfältiger Weise gefährdet. Maßnahmen zum Erhalt bzw. zur Wiederherstellung dieser wertvollen Systeme müssen integrale Wirkungen entfalten und setzen ein koordiniertes Vorgehen voraus. Die Funktionsweise und die Dynamik von Fluss-Meer-Systemen sind jedoch trotz weltweiter Forschungsaktivitäten aufgrund der Komplexität der Prozesse bis heute nur unzureichend verstanden. Das Projekt DANUBIUS-PP bereitet die Einführung der pan-europäischen Forschungsinfrastruktur (European Research Infrastructure Consortium – ERIC) DANUBIUS-RI vor. Diese soll langfristig (30 bis 40 Jahre) Forschungsaktivitäten im Bereich der Fluss-Meer-Systeme in Europa wesentlich unterstützen, indem zentrale Elemente und Leistungen für interdisziplinäre Forschungsaktivitäten und Wissensweitergabe erarbeitet und angeboten werden. Hierzu zählen insbesondere Analyse- und Beobachtungsdaten, die auf Basis abgestimmter Standards erhoben und bereitgestellt werden, fachspezifische und integrative Modellwerkzeuge, die auch eine verständliche Kommunikation von Forschungserkenntnissen ermöglichen sollen sowie die Betrachtung von Folgen und Lösungsstrategien. Eine wesentliche Rolle spielen sogenannte Supersites, in Europa verteilte Naturräume begrenzter Ausdehnung mit unterschiedlicher Charakteristik, die auf Grundlage der angebotenen Dienstleistungen Bezugsräume für Fluss-Meer-Forschungsaktivitäten sind. Zwei von bislang zwölf Supersites sind der freifließende deutsche Rhein (*Supersite Middle Rhine*) unter Federführung der BAW und Mitwirkung der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) sowie das Elbe-Ästuar mit angrenzenden Bereichen der Nordsee (*Supersite Elbe-North Sea*), für welche die BAW wichtige Beiträge liefert.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

In Anbetracht des hohen Nutzungsdrucks auf unsere Flüsse und Ästuar und angesichts ihres heutigen ökologischen Zustandes sind dauerhafte Anstrengungen notwendig, um das Ziel einer nachhaltigen Gestaltung in der

Auftragsnummer:

B3953.02.04.70007

Auftragsleitung:

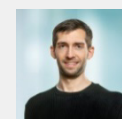


Prof. Dr. Nils Huber
 nils.huber@baw.de

Auftragsbearbeitung:



Annkathrin Lammin
 annkathrin.lammin@baw.de



Dr. Martin Struck
 martin.struck@baw.de

Laufzeit:

2019 bis 2021

Abwägung unterschiedlicher Anforderungen zu erreichen. Nur mit einem profunden Systemverständnis kann den damit verbundenen Herausforderungen an die Fluss-Meer-Systeme wirkungsvoll begegnet werden. Die Schaffung einer hierfür bedeutende Beiträge liefernden Forschungsinfrastruktur, mit bereits mehr als 30 Partnern aus dem europäischen Raum, ermöglicht der WSV sowie den Bundesoberbehörden BAW und BfG einen intensiven Fachaustausch mit internationalen Experten. Die Koordination bzw. die Beteiligung an den *Supersites Middle Rhine* und *Elbe-North Sea* ermöglicht maßgeschneiderte Forschungsvorhaben, welche das Verständnis für bedeutende Herausforderungen und insbesondere ökologisch orientierte Lösungsansätze vertiefen. Eine enge Kooperation mit den niederländischen Partnern der *Supersite Rhine-Meuse-Delta* in DANUBIUS-RI wird als besonders vielversprechend angesehen und daher vorbereitet. Im Rahmen von DANUBIUS-PP und während der sich anschließenden, seit 01.12.2019 laufenden Implementierungsphase, vertritt das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) die Belange Deutschlands und nimmt damit eine zentrale unterstützende Rolle bei den Planungen für den langfristig orientierten Betrieb von DANUBIUS-RI ein.

3 Untersuchungsmethoden

Die Implementierungsphase dient dem weiteren Aufbau und dem Test der in DANUBIUS-PP erarbeiteten Strukturen und somit der Vorbereitung des Übergangs in den operativen Betrieb von DANUBIUS-RI. Allerdings muss sie bislang ohne europäische Projektfinanzierung bewältigt werden. In dieser Phase wurde die Zusammenarbeit zwischen den deutschen DANUBIUS-Partnern bezüglich einer koordinierten Strategie intensiviert. Zudem fand bereits ein fachlicher und administrativer Austausch mit der niederländischen DANUBIUS-Gemeinschaft statt. Im weiteren Verlauf werden verschiedene Austauschformate zu Fluss-Meer-Systemen im nationalen wie internationalen Rahmen zwischen Fachleuten, z. B. Vertretern von Flussgebietskommissionen, Wasserwirtschafts- und Umweltverwaltungen und Verbänden, angestrebt. Im Rahmen der Implementierungsphase sind sowohl der Aufbau der Supersites als auch der Probetrieb verschiedener Testfälle von Dienstleistungsanfragen aus der Forschungslandschaft geplant, um Arbeitsabläufe zu verbessern und den Weg in den operativen Betrieb zu ebnen. Zur Erhöhung der Sichtbarkeit der deutschen DANUBIUS-Gemeinschaft und der im Land verorteten Komponenten – *Supersites Middle Rhine* und *Elbe-North Sea* sowie *Analysis Node* – ist ein gemeinsamer Webauftritt für das Frühjahr 2021 geplant.

4 Ergebnisse

Aufgrund des noch frühen Stadiums von DANUBIUS-RI bietet der folgende Abschnitt einen Überblick über den laufenden und den in Planung befindlichen Projektfortschritt.

Neben der langfristigen Erhebung, Aufbereitung, Sicherung und Interpretation von Daten wird die BAW zusammen mit der BfG Expertise in vielen Bereichen flussbezogener Forschung anbieten. Im vergangenen Jahr wurden vier Pilotprojekte identifiziert, ein weiteres befindet sich in der Konzeptionierung. Diese Pilotprojekte sollen einerseits dem Test der bestehenden Strukturen dienen, andererseits aber auch einen Einblick in den Leistungsumfang an den beiden Supersites bieten und praktisch veranschaulichte Beispiele für mögliche Forschungsprojekte liefern. Im Detail soll die Zusammenarbeit der Supersite-Partner im Hinblick auf zukünftige DANUBIUS-Projekte optimiert werden, um einen weitestgehend reibungslosen Start in den operativen Betrieb zu ermöglichen. Idealerweise soll das gesamte Spektrum von der Erschließung bestehender und der bedarfsorientierten Erhebung neuer Daten über weiterführende, auch modellgestützte Analysen bis hin zur Identifikation möglicher Auswirkungen eines defizitären Fluss-Meer-Systems auf gesellschaftliche Belange abgedeckt werden. Der Fokus liegt hierbei auf folgenden, in der wissenschaftlichen Agenda von DANUBIUS-RI definierten Prioritäten der ersten 5 Jahre: 1) Wasserquantität, 2) Sedimentgleichgewicht, 3) Nähr- und Schadstoffe und 4) Biodiversität. Die Pilotprojekte sollen sich mit folgenden Themen befassen:

- Geschiebedynamik am Niederrhein (ggf. Transportkörperanalyse)
- Sohlkornentwicklung und Geschiebedynamik am Oberrhein (Sohlbeprobung, Tracerversuche)
- Monitoring im Renaturierungsprojekt "Monsterloch" des Bundesprogramms "Blaues Band Deutschland"
- Stofftransport in den deutschen Supersites (Aufbau eines Supersite-übergreifenden Wissensportals und Forschung zu sediment- und partikelgebundenem Schadstoff- und Nährstofftransport)

Ein länderübergreifendes Pilotprojekt an den *Supersites Middle Rhine* und *Rhine-Meuse-Delta* ist in Planung.

Neue Erkenntnisse und neues Wissen aus den Pilotprojekten werden kontinuierlich für die beiden deutschen Supersites aggregiert und dem DANUBIUS-Nutzer zur Verfügung gestellt. Projektsteckbriefe, ausgewählte Datensätze und Publikationen werden auf der Website der deutschen DANUBIUS-Gemeinschaft veröffentlicht.

Die im Rahmen des Horizon-2020-Programms EU-geförderte Vorbereitungsphase DANUBIUS-PP endete am 30.11.2019 und die finale Prüfung durch die EU-Kommission kam im März 2020 zu einem positiven Ergebnis. Der Antrag auf Anerkennung eines ERIC-Status zu DANUBIUS-RI wurde daraufhin mit Unterstützung der Partnerländer Ende August 2020 bei der EU-Kommission eingereicht. Im Falle einer positiven Entscheidung im Laufe des Jahres 2021 kann mit dem formalen Aufbau der Forschungsinfrastruktur begonnen werden, um einen operativen Betrieb ab dem Jahr 2024 zu erreichen.

Literatur:

Projektseite
<https://www.danubius-ri.eu/>
 (zuletzt geprüft am
 26.10.2020)



Abbildung der Rauheitswirkung von Vorlandvegetation in der HN-Modellierung von Bundeswasserstraßen

1 Aufgabenstellung und Ziel

Die Vegetation auf den Vorländern der freifließenden Bundeswasserstraßen hat einen signifikanten Einfluss auf das Strömungsgeschehen bei Hochwasserabflüssen. Um bauliche Maßnahmen zur naturnahen Umgestaltung und Anbindung von Flussauen sowie die Unterhaltung und das Management der Vorländer im Planungszustand analysieren und bewerten zu können, ist es essentiell, die entsprechenden hydraulischen Verhältnisse für den Ist- und Planungszustand möglichst genau berechnen zu können (siehe auch Merkblatt DWA-M 524).

In den letzten Jahrzehnten konnten große Fortschritte im Verständnis der Interaktion von Strömung und Vegetation erzielt werden. Dennoch gibt es viele offene, noch zu klärende Forschungsfragen. Insbesondere die Beschreibung von flexiblem Bewuchs und der Hydraulik bei überströmten Bedingungen stellen derzeit noch eine große Herausforderung dar. Bisher ist auch noch nicht vollständig geklärt, wie komplexe Bewuchselemente interagieren. Zur Abbildung des Ufer- und Vorlandbewuchses an den Bundeswasserstraßen in der hydraulischen Modellierung ist die Klärung der offenen Fragen wesentlich. Das geplante Forschungsvorhaben soll daher an die bisherigen Untersuchungen anknüpfen und sich insbesondere auf die typischen Vorlandstrukturen an den Bundeswasserstraßen fokussieren.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Zur Erreichung der Ziele der EU-Wasserrahmenrichtlinie gewinnen Ufer- und Vorlandbewuchs für die WSV im Rahmen von Unterhaltung und Ausbau der Bundeswasserstraßen zunehmend an Bedeutung. Dies vor allem auch vor dem Hintergrund der zu erwartenden Ausweitung der gesetzlichen Zuständigkeit der WSV im Hinblick auf den wasserwirtschaftlichen Ausbau. Durch die Umsetzung des Bundesprogramms „Blaues Band Deutschland“ zur Förderung der Renaturierung von Fließgewässern und Auen wird die WSV derzeit und auch zukünftig zunehmend mit Renaturierungsmaßnahmen konfrontiert. Die BAW wird daher verstärkt gefordert sein, den Einfluss von Vegetation auf die Hydro- und Morphodynamik an den Bundeswasserstraßen zu bewerten.

Auftragsnummer:

B3953.02.04.70008

Auftragsleitung:



Frederik Folke
 frederik.folke@baw.de

Laufzeit:

2019 bis 2022

3 Untersuchungsmethoden

Im Rahmen des FuE-Vorhabens sollen sowohl gegenständliche als auch numerische Modelle für die Untersuchungen verwendet werden. Hintergrund hierfür ist, dass es zahlreiche Fragen auch grundsätzlicher Art gibt, insbesondere im Bereich der flexiblen Vegetation und der Interaktion von Mischbewuchs. Für die Modellierung des Widerstandsverhaltens durchströmter flexibler Vegetation existieren vielversprechende Ansätze, welche aber noch einer Validierung im Naturmaßstab bedürfen. Derzeit fehlt die Erweiterung der Ansätze für den Fall der überströmten flexiblen Vegetation und für Mischbewuchs. Allerdings werden laufend neue Ergebnisse zum Thema Interaktion zwischen Vegetation und Strömungsfeld publiziert. Neben den Berechnungsansätzen selbst ist auch die Erfassung der erforderlichen Vegetationsparameter Voraussetzung für eine erfolgreiche Modellierung.

In Kooperation mit dem Leichtweiß-Institut für Wasserbau der Technischen Universität Braunschweig wird die Rauheitswirkung von terrestrischer Vegetation in einer speziell für diese Versuche ausgestatteten Laborrinne untersucht. Hierbei wurden sowohl Untersuchungen mit homogener flexibler Vegetation als auch mit Mischbewuchs durchgeführt, jeweils für den durch- und den überströmten Zustand (Niewerth und Aberle 2019 und 2020). Beim Mischbewuchs wurden einerseits belaubte flexible Bewuchselemente mit unterschiedlicher Höhe und Dichte kombiniert und andererseits die Interaktion von flexibler und starrer Vegetation untersucht. Parallel zu den experimentellen Untersuchungen wurde ein 2D-HN-Modell des Labormodells aufgebaut und es wurden verschiedene Vegetationsansätze in Telemac-2D implementiert (Folke et al. 2019a und 2019b). Unter Verwendung des 2D-HN-Modells wird das Verhalten der unterschiedlichen Vegetationsansätze untersucht und bewertet.

Weiterführende Laborversuche mit komplexerer Konfiguration sind geplant. Ergänzend zu den Laborversuchen am LWI wird derzeit in der BAW ein Labormodell in einer 5 m breiten und 30 m langen Rinne mit einem gegliederten Querschnitt aufgebaut. Hierin soll die Rauheitswirkung von flexiblen und starren Vegetations-Patches untersucht werden.

4 Ergebnisse

Für überströmte flexible Vegetation existiert derzeit noch kein adäquater Ansatz zur Beschreibung der Rauheitswirkung. Für die durchströmte, flexible und belaubte Vegetation haben die experimentellen und numerischen Untersuchungen gezeigt, dass der 1-Schicht-Ansatz von Järvelä (2004) das Widerstandsverhalten gut abbildet. Zur Modellierung der Rauheitswirkung von überströmter Vegetation wurde dieser, analog zu dem Ansatz von Baptist et al. (2007), zu einem 2-Schicht-Ansatz erweitert (Folke et al. 2020). Die Ergebnisse in Bild 1 zeigen, dass der weiterentwickelte Ansatz über das gesamte untersuchte Spektrum zu einer verbesserten Prognose der Widerstandsbeiwerte führt, auch wenn eine tendenzielle Unterschätzung zu beobachten ist.

Die Erweiterung des Ansatzes nach Järvelä (2004) auf überströmte Bedingungen für flexible Vegetation ist vielversprechend. Wie signifikant der Einfluss der Flexibilität für die Modellierung des Widerstandsverhaltens von Ufer- und Vorlandvegetation an Bundeswasserstraßen ist, konnte bisher noch nicht geklärt werden und ist Bestandteil der weiterführenden Untersuchungen innerhalb des FuE-Projekts.

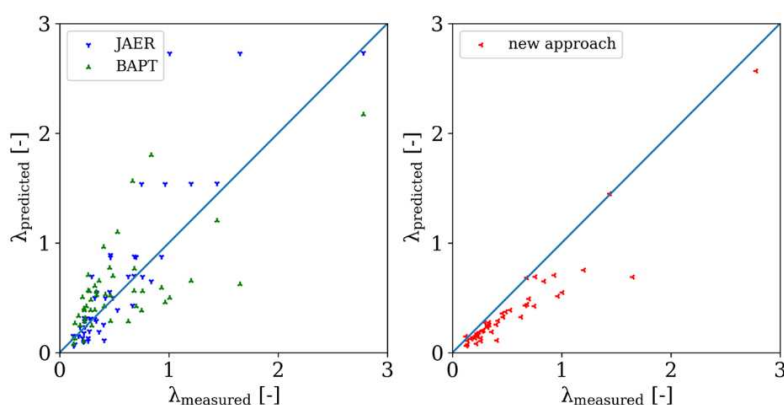


Bild 1: Vergleich von simulierten und gemessenen Widerstandsbeiwerten nach Darcy von durch- und überströmter flexibler Vegetation (links: Vegetationsansätze von Järvelä (2004) (JAER), und Baptist et al. (2007) (BAPT); rechts: modifizierter 2-Schicht-Ansatz).

Literatur:

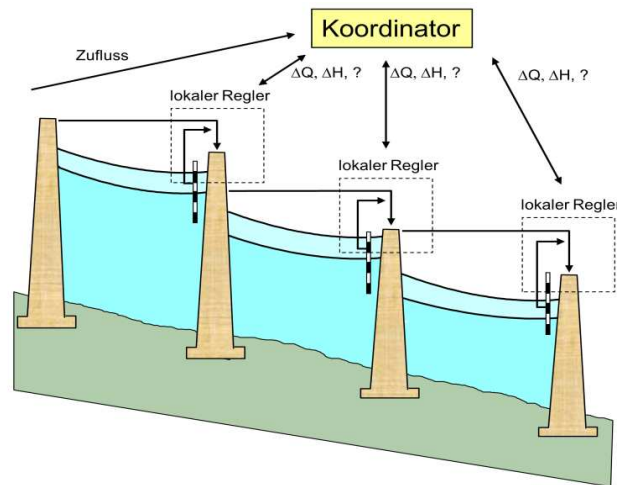
Folke, Frederik; Attieh, Mohamad; Kopmann, Rebekka (2019a): In search of friction laws for vegetated flow within 2D large-scale applications. E-Proc. IAHR World Congress, Panama City, Panama.

Folke, Frederik; Kopmann, Rebekka; Dalledonne, Guilherme; Attieh, Mohamad (2019b): Comparison of different vegetation models using TELEMAC 2D. Proc. TELEMAC-MASCARET User Conference, Toulouse, France.

Folke, Frederik; Niewerth, Stephan; Aberle, Jochen (2020): Modelling of just-submerged and submerged flexible vegetation. IAHR Europe Congress, Warsaw, Poland. (accepted)

Niewerth, Stephan, Aberle, Jochen (2019): Grundlagenversuche mit überströmter flexibler Vegetation. LWI, TU Braunschweig.

Niewerth, Stephan; Aberle, Jochen (2020): Grundlagenversuche mit Mischbewuchs. LWI, TU Braunschweig.



Koordinierte Bewirtschaftung von Staustufenketten

Modellierung und Betrieb

1 Aufgabenstellung und Ziel

Die lokale OW/Q-Regelung einer einzelnen Staustufe ist Stand der Technik und arbeitet in der Regel zuverlässig. Diese Regelung ist im Rahmen des FuE-Vorhabens „Optimierungsverfahren für die Parametrisierung von Reglern der automatisierten Abfluss- und Stauzielregelung (ASR)“ analysiert worden. Die Ergebnisse wurden in den BAWMitteilungen 96 dokumentiert.

Das aktuelle FuE-Projekt konzentriert sich auf eine Kette von Staustufen, deren Betrieb gegenüber einer rein lokalen Regelung verbessert werden kann, wenn die lokalen Regler in vorgegebenen Grenzen „richtig (vor)gesteuert“ werden.

Die Verbesserung der Bewirtschaftung einer Staustufenkette erfordert Eingriffe auch auf der Ebene der lokalen OW/Q-Regelung. Daraus resultieren die Fragen, wie sicher diese Algorithmen auf eine echtzeitfähige Zielplattform einer speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) übertragen werden können und mit welchem Aufwand dies verbunden ist.

Ziele sind die Entwicklung eines allgemeingültigen Ansatzes einer koordinierten Bewirtschaftung von Staustufenketten, die Portierung des Ansatzes auf eine SPS und die Implementierung vor Ort.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Die Entwicklung eines Verfahrens zur standardisierten und optimierten Bewirtschaftung von Staustufenketten bietet zahlreiche Vorteile für den Betrieb von staugeregelten Wasserstraßen, da der zunächst am Beispiel der Mosel entwickelte Ansatz auf andere Stauketten übertragen werden kann. Vorteile einer koordinierten Bewirtschaftung sind eine Abflussvergleichmäßigung, ein Ausgleich von Defiziten und Störungen, beispielsweise durch Pumpspeicherbetrieb oder Mischwassereinleitungen, sowie eine bessere Beherrschung extremer Wetterereignisse. Im Hinblick auf eine zukünftige zentrale Leitwarte, die die Wasserstände mehrerer Staustufen mit einem begrenzten personellen Aufwand führen soll, stellt eine koordinierte Bewirtschaftung die dafür notwendigen Informationen bereit.

Auftragsnummer:

B3953.03.04.70003

Auftragsleitung:



Dr. Peter Schmitt-Heiderich
 peter.schmitt-heiderich@baw.de

Auftragsbearbeitung:

Dr. Eckhard Arnold
 eckhard.arnold@isys.uni-stuttgart.de

Laufzeit:

2012 bis 2021

3 Untersuchungsmethoden

Die Umsetzung der koordinierten Bewirtschaftung ist an der Mosel und zu einem späteren Zeitpunkt an Neckar und Saar vorgesehen. Die Bearbeitung erfordert ein vertieftes Wissen zu partiellen Differentialgleichungen im Zusammenspiel mit der Regelung und der Optimierung gekoppelter Systeme. Das dafür notwendige Spezialwissen ist am Institut für Systemdynamik der Universität Stuttgart (Prof. Sawodny) vorhanden. Das Institut wurde über einen FuE-Kooperationsvertrag mit der Entwicklung eines allgemeingültigen Algorithmus zur koordinierten Bewirtschaftung von Staustufenketten beauftragt.

4 Ergebnisse

Die theoretischen Untersuchungen der Universität Stuttgart zeigen, dass mit einer modell-prädiktiven Vorsteuerung (MPFFC) die Wasserstände gut geführt und die Abflüsse über die nutzbaren Speicherlamellen gleichmäßig abgegeben werden. Eine MPFFC setzt sich aus einem linearisierten Modell der Staustufe und einem Optimierungsalgorithmus zusammen. Diese Regelung kann innerhalb der Staustufenkette für eine einzelne Staustufe zentral oder dezentral implementiert werden. Eine dezentrale Implementierung der MPFFC erfordert für die Prognoserechnungen einen Datenaustausch mit den benachbarten Staustufen. Die technischen Voraussetzungen hierfür sind gegeben. Daher wird an der Mosel der MPFFC-Softwareteil des Koordinators dezentral, d. h. auf jeder Staustufe, vorgehalten.

Neben der Verteilung der Rechenlast ergeben sich damit einige Vorteile. Beispielsweise ist die Inbetriebnahme für einzelne Staustufen möglich und eine Staustufenkette kann schrittweise in eine koordinierte Bewirtschaftung überführt werden. Dies erhöht die Sicherheit des Betriebes der koordinierten Bewirtschaftung im Zusammenspiel mit der lokalen OW/Q-Regelung. Die Vergleichmäßigung des Abflusses erfolgt dann nur in den Staustufen, deren MPFFC aktiv ist. Außerdem stehen die Parameter des Koordinators, vorrangig die der MPFFC, in Bezug zu der Staustufe, die koordiniert bewirtschaftet wird. Durch die lokale Implementierung der MPFFC reduzieren sich die Gefahren einer Verwechslung von Parametersätzen und einer Fehlbedienung. Bei Ausfall einer MPFFC an einer einzelnen Staustufe muss deren Abflussprognose in geeigneter Weise durch eine zeitversetzte Abflussprognose oberhalb liegender Staustufen ersetzt werden. Diese Prognose wird von der nachfolgenden, koordiniert bewirtschafteten Staustufe benötigt.

Die Umsetzung vor Ort läuft im Testbetrieb an der Moselstaustufe in Detzem. Erste Funktionstests verliefen erfolgreich. Die Softwarekomponenten der MPFFC liegen der BAW vor und werden bereits genutzt, um für die Mosel und den Neckar die MPFFC zu entwickeln und anzupassen. Die Bachelorarbeit von Dietz (2020) vergleicht die MPFFC und OW/Q-Regelung an den drei aufeinanderfolgenden Neckarstaustufen Obertürkheim, Untertürkheim und Bad Cannstatt. Diese sind jeweils nur zwischen 3 und 4,5 km lang und haben im Vergleich zur Mosel eine kleine nutzbare Speicherlamelle. Für eine bekannte Zuflusswelle in die Staustufe Obertürkheim zeigt Bild 1 anhand der Abgabe in Cannstatt deutlich die dämpfende Wirkung der MPFFC gegenüber der OW/Q-Regelung. Allerdings reagiert die MPFFC störanfällig bei Niedrig- bis Mittelwasser, wenn die Zuflüsse infolge von Schleusungen oder seitlichen Einleitungen unbekannt sind (Dietz 2020). Hierfür ist die MPFFC weiterzuentwickeln, um sie den Anforderungen an einen Betrieb vor Ort anzupassen.

Das FuE-Vorhaben soll mit einer Dissertation zum Jahresende 2020 abgeschlossen werden.

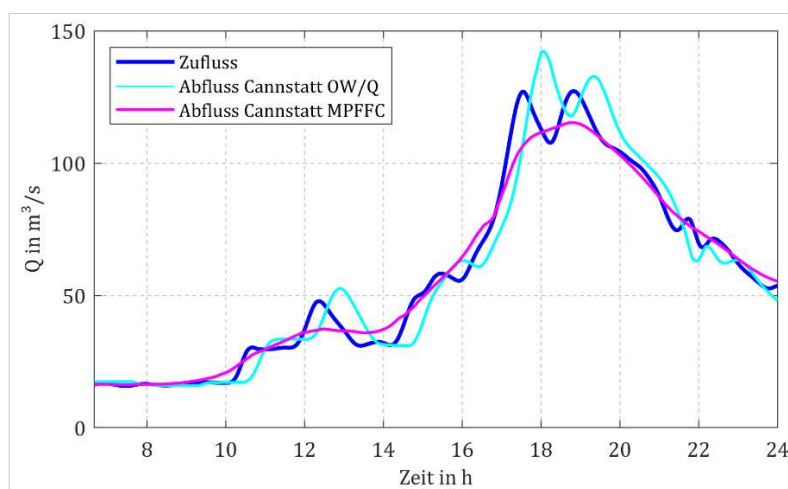
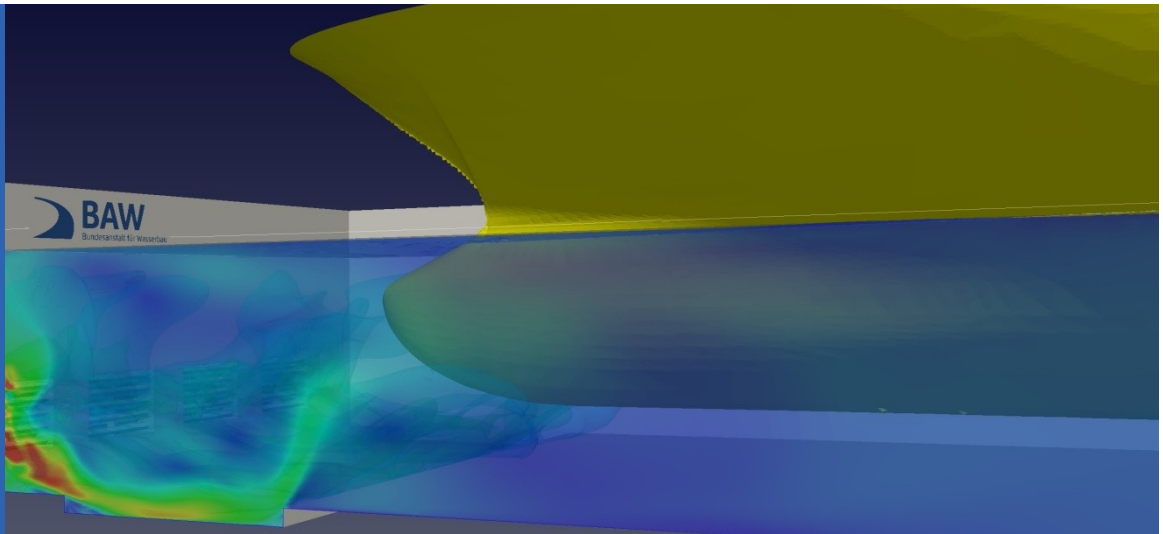


Bild 1: Vergleich von OW/Q-Regelung und MPFFC für den oberen Neckar von Obertürkheim bis Bad Cannstatt.

Literatur:

Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2012): Automatisierte Abfluss- und Stauzielregelung. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAWMitteilungen Nr. 96).

Dietz, P. (2020): Modellprädiktive Regelung von drei aufeinanderfolgenden Neckarstauhaltungen – Analyse des Regelungsverhaltens bei kurzen Stauhaltungen. Bachelor-Thesis, Fakultät für Architektur und Bauingenieurwesen der Hochschule Karlsruhe.



Entwicklung von Verfahrensweisen zur Simulation bewegter Objekte mit OpenFOAM®

3D-numerische Simulation von Schleusungsprozessen

1 Aufgabenstellung und Ziel

Die numerische Simulation, insbesondere unter Verwendung dreidimensionaler Verfahren, ist ein wertvolles Werkzeug, das detaillierte Einblicke in Strömungsvorgänge und strömungsmechanische Wechselwirkungen im Bauwerksnahfeld ermöglicht. Im Rahmen der Auftragsarbeit treten immer wieder Fragestellungen auf, bei denen bewegte Objekte eine wesentliche Rolle spielen und signifikanten Einfluss auf das Simulationsergebnis haben.

Die Simulation der Schleusung eines Schiffes ist ein Beispiel, das stellvertretend für die Schwierigkeiten bei der Modellierung bewegter Objekte steht. Der große Bewegungsumfang des schwimmenden Schiffes bei gleichzeitig sehr geringem Abstand zu statischen Umrundungen und die Querschnittsfreigabe an Verschlüssen erweisen sich als Herausforderungen für den Modellierungsprozess. Aus diesem Grund werden zur Berücksichtigung wasserbaulich relevanter Objektbewegungen individuelle Modellierungskonzepte benötigt.

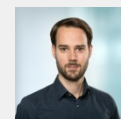
2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Beim Entwurf von Schleusen werden kurze Schleusungszeiten bei gleichzeitig geringen hydraulischen Krafteinwirkungen auf das zu schleusende Schiff durch eine optimierte Füllstrategie erreicht. Bislang wurden entsprechende Schützfahrpläne sowie die resultierenden Schiffskräfte meist mit gegenständlichen Modellen ermittelt. Der Modellaufbau erfordert dabei einen hohen zeitlichen und personellen Aufwand, während die Durchführung der eigentlichen Messkampagne vergleichsweise wenig Zeit in Anspruch nimmt. Die Entwicklung geeigneter numerischer Methoden soll es mittelfristig ermöglichen, derartige Problemstellungen auch mit numerischen Modellen zu bearbeiten. Der Aufwand für den Aufbau numerischer Modelle ist gegenüber gegenständlichen Modellen gering, während die Durchführung der Simulation vergleichsweise viel Zeit in Anspruch nimmt. Ein großer Vorteil numerischer Modelle besteht in der leichten Auswertbarkeit der Strömungsdaten an beliebigen Stellen des Modells. Dies ist, wenn überhaupt, bei gegenständlichen Modellen nur mit sehr großen Messanstrengungen zu realisieren. Numerische

Auftragsnummer:

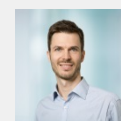
B3953.03.04.70004

Auftragsleitung:



Fabian Belzner
 fabian.belzner@baw.de

Auftragsbearbeitung:



Torsten Hartung
 torsten.hartung@baw.de

Laufzeit:

2014 bis 2021

und gegenständliche Modelle können dann entweder zeitgleich, z. B. für hybride Modellierungsansätze, oder unabhängig voneinander genutzt werden. Der Auftragsbearbeiter wird dadurch in die Lage versetzt, für jede Fragestellung und zu jedem Zeitpunkt die geeignetste Untersuchungsmethode zu wählen, wodurch Effizienz und Qualität der Gesamtbearbeitung für die WSV gesteigert werden.

3 Untersuchungsmethoden

Die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) verwendet das Open-Source-Verfahren OpenFOAM® für die dreidimensionale numerische Strömungssimulation. Die Open-Source-Umgebung ermöglicht die Anpassung der auf der Finiten-Volumen-Methode basierenden Löser an die individuellen Anforderungen des Anwenders. Die Abbildung der freien Oberfläche wird mit dem Volume-of-Fluid-Ansatz realisiert. Zur Berücksichtigung von Starrkörperbewegungen existieren unterschiedliche Methoden, die sich einerseits in Bezug auf die Komplexität, andererseits hinsichtlich des realisierbaren Bewegungsumfangs unterscheiden und jeweils individuelle Vor- und Nachteile aufweisen. Für die Modellierung eines Schleusungsprozesses wurde in diesem Vorhaben zunächst die Deforming-Mesh-Methode herangezogen und im Verlauf mit zwei weiteren Werkzeugen der dynamischen Gitterbehandlung kombiniert. Weiterhin werden auch konkurrierende Ansätze wie die Overset-Mesh- und die Immersed-Boundary-Methode betrachtet. Diese ermöglichen hinsichtlich der Objektbewegung eine größere Flexibilität, weisen jedoch Einschränkungen in der Genauigkeit auf. Zur Validierung der numerischen Ergebnisse werden gegenständliche Modelle genutzt, wobei der Fokus auf der Bestimmung der Füllvolumenströme und der resultierenden Schiffskräfte liegt.

4 Ergebnisse

Alle oben genannten Methoden wurden im Hinblick auf ihre Eignung für die Auftragsarbeit der BAW getestet. Dabei lagen die Schwerpunkte auf der Simulation von Schleusenfüllprozessen und auf der Betrachtung von abstrahierten Funktionsmodellen, um die generelle Funktionsweise der einzelnen Methoden beurteilen zu können. Es zeigte sich, dass die Deforming-Mesh-Methode zur Simulation von Schleusenfüllprozessen bei kleinen Hubhöhen geeignet ist. Der entwickelte Workflow ermöglicht es dem Auftragsbearbeiter, solche Simulationen durchzuführen. Das Einfügen ganzer Zellschichten während der Laufzeit im Zusammenspiel mit einem Sliding Interface erweitert die Anwendbarkeit der Deforming-Mesh-Methode auch für Schleusen mit großer Hubhöhe. Die Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen zeigten jedoch, dass diese methodische Erweiterung aufgrund des deutlich erhöhten Komplexitätsgrades sehr fehleranfällig und damit für die Auftragsarbeit ungeeignet ist. Weiterhin wurde die Overset-Mesh-Methode betrachtet, bei der das bewegte Objekt mit einem eigenen, körperangepassten Gitter diskretisiert wird, das sich relativ zu einem Hintergrundgitter bewegen kann. Tests zeigten, dass die Simulation bewegter Objekte mit dieser Methode zwar möglich, die Methode in der verwendeten OpenFOAM-Implementierung aber nicht massenkonservativ ist. Bei der Immersed-Boundary-Methode werden diejenigen Zellen des Berechnungsgitters, die von (sich bewegenden) Festkörpern blockiert werden, mit einer Randbedingung versehen, sodass keine Durchströmung dieser Zellen mehr möglich ist. Erste Tests dieser Methode verdeutlichten, dass Entwicklungsbedarf im Hinblick auf die Massenerhaltung, die automatische Gitterverfeinerung im Bereich des bewegten Objektes und die dynamische Verteilung der Rechenlast (Load Balancing) besteht. Diese Entwicklungen wurden zusammen mit der Firma WIKKI Ltd. durchgeführt. Erste Ergebnisse wurden bereits in der BAW präsentiert. Derzeit werden weitere Anpassungen im Hinblick auf die Nutzbarkeit der Methode im Bereich der Simulation einer Schleusenfüllung mit bewegtem Schiff realisiert. Dabei werden u. a. eine spezifische Randbedingung angepasst und eine Dokumentation des Workflows erstellt. Die Tests der Deforming-Mesh-Methode wurden ebenfalls wieder aufgegriffen. Aktuell werden hiermit vergleichende Simulationen mit dem Labormodell der Schleusen Erlangen und Kriegenbrunn durchgeführt.

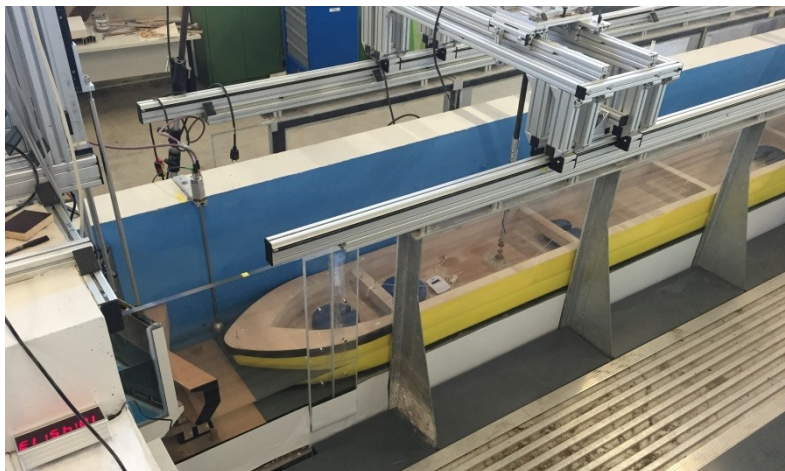


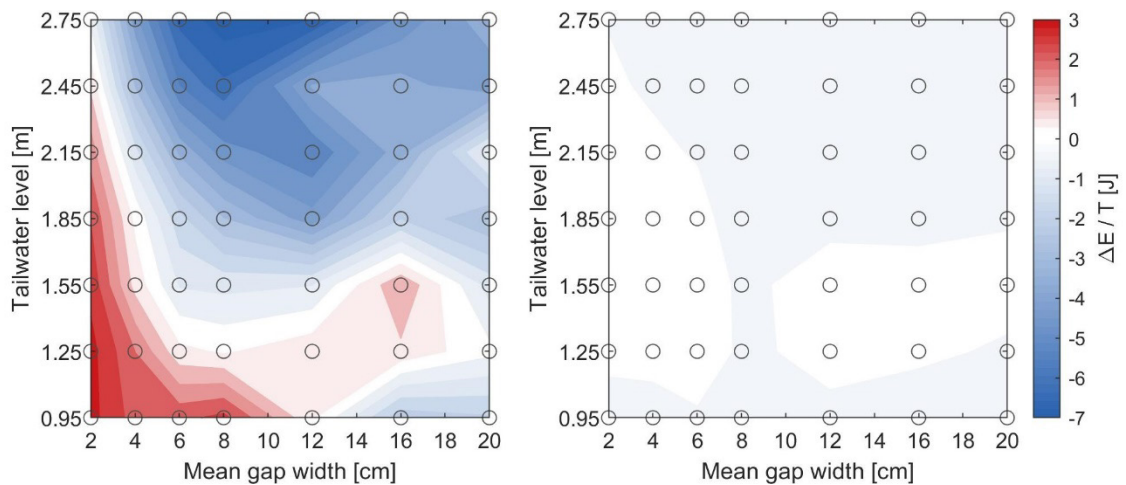
Bild 1: Gegenständliches Schleusenmodell zur Validierung numerischer Simulationsergebnisse.

Literatur:

Jasak, Hrvoje (2018): Immersed Boundary Surface Method foam-extend. In: BAW (Hg.): BAW-Workshop OpenFOAM® in Hydraulic Engineering. Karlsruhe: BAW, S. 9–10.

Thorenz, C.; Belzner, F.; Hartung, T.; Schulze, L. (2017): Numerische Methoden zur Simulation von Schleusenfüllprozessen. In: BAW (Hg.): BAWMitteilungen 100. Karlsruhe: BAW, S. 91–108.

Forschung Xpress



Fluid-Struktur-Wechselwirkung im Stahlwasserbau

Ursachen, Auswirkungen und Abhilfemaßnahmen bei strömungsinduzierten Schwingungen

1 Aufgabenstellung und Ziel

Strömungsinduzierte Schwingungen treten dann auf, wenn elastische oder elastisch gelagerte Körper derart umströmt werden, dass zeitliche oder örtliche Druckschwankungen in der Strömung anfachende Kräfte verursachen. Dabei können Dichtungen oder Teile von Verschlussorganen an Wehren und Schleusen betroffen sein. Im ungünstigsten Fall wird das gesamte Verschlussorgan zu Schwingungen angeregt. Das Forschungsvorhaben wird von Experten aus den Bereichen Stahlwasserbau, Strömungs- und Strukturmechanik sowie aus der Messtechnik bearbeitet. Ziel ist es, Ursachen und Mechanismen der strömungsinduzierten Schwingungen besser zu verstehen, bekannte Abhilfemaßnahmen zu prüfen und wo erforderlich, neue Konstruktionsempfehlungen zu entwickeln. Dabei kommen insbesondere In-Situ-Messmethoden und numerische Werkzeuge zum Einsatz. Momentan entsteht ein Labormodell zur systematischen Untersuchung von Schwingungsursachen an Drucksegmenten.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Durch die Vielfalt an Verschlüssen und Wasserbauwerken an den deutschen Wasserstraßen sind auch die Schwingungserscheinungen entsprechend unterschiedlich. Betroffen sind Wehranlagen und Verschlüsse an Schleusen, wobei Schwingungen sowohl im Bestand wie auch an Neubauten auftreten. Im Bestand werden häufig individuelle betriebliche Lösungen angewendet. Ein Beispiel dafür sind Schützfahrpläne, in denen vorgegeben ist, welche kritischen Öffnungsweiten zu meiden und entsprechend zu durchfahren sind. Derartige Schützfahrpläne können auch bei automatisierten Anlagen umgesetzt werden. Daher ist es wichtig, die Betriebszustände zu kennen, in denen Schwingungen auftreten können. In Bezug auf die Standardisierung werden schwingungsfreie Geometrien, insbesondere von Drucksegmenten, erforscht.

Auftragsnummer:

B3953.03.04.70006

Auftragsleitung:



Dr. Michael Gebhardt
 michael.gebhardt@baw.de

Auftragsbearbeitung:



Georg Göbel
 georg.goebel@baw.de

Laufzeit:

2016 bis 2022

3 Untersuchungsmethoden

Mittels In-Situ-Messungen können charakteristische Größen einer Schwingung wie Amplitude und Frequenz, aber auch relevante Betriebszustände wie Öffnungsweite, Abfluss und Wasserstände bestimmt werden. Die Schwingungssignale geben Aufschluss über die mechanische Schwingung, allerdings sind die Ursachen vor Ort nur sehr schwer zu identifizieren. Mit den Messdaten werden numerische Modelle kalibriert, um diese für weitere Untersuchungen zu verwenden.

Basierend auf der Kopplung von Strömungssimulation und bewegter Struktur wurde in den letzten Jahren im Rahmen des Projektes eine Methode entwickelt, mit der die Schwingungsgefahr von Wasserbauverschlüssen eingeschätzt werden kann. Die Methode sieht die Simulation einer Vielzahl von Betriebszuständen vor, um die Schwingungsgefahr über den gesamten Betriebsbereich bewerten zu können. Zur Reduzierung des nicht unerheblichen Rechenaufwandes wird die Bewegung des Festkörpers mit bekannter Amplitude und Frequenz vorgeschrieben. Zur Quantifizierung des Schwingungsrisikos werden dann die schwingungsanregenden Kräfte in der Strömung ausgewertet und die Arbeit bestimmt, die durch die Kraft am Schütz verrichtet wird (Bild1) (Göbel et al. 2019).

Im Rahmen einer Bachelorarbeit wurde eine weitere, aus der Literatur bekannte Methode auf ihre Anwendbarkeit in der Praxis getestet. Im Rahmen dieser Methode, welche auf der Galloping-Theorie basiert, werden die auf das Schütz wirkenden Kräfte bei statischer Berandung ausgewertet. Im Vergleich zur bisherigen Methode zeigte sich, dass die Vernachlässigung der Schützbewegung den Untersuchungsaufwand zwar verringert, die Aussagekraft allerdings der Methode mit bewegter Struktur unterlegen ist (Broß 2019).

4 Ergebnisse

Unter Berücksichtigung der Festkörperbewegung wurde die Methode bisher erfolgreich zur Untersuchung von bestehenden Wehrverschlüssen eingesetzt. So konnte für ein Hubschütz an der Weser gezeigt werden, dass Schwingungen nur bei niedrigen Abflüssen und kleinen Öffnungsweiten auftreten, und somit im Regelbetrieb keine Schwingungsgefahr besteht. Für ein neu in Betrieb genommenes Drucksegment an der französischen Mosel, welches bei kleinen Öffnungsweiten über ein breites Abflussspektrum starke Schwingungen zeigt, konnte eine neue Konstruktion der Schützunterkante getestet werden, welche in der Simulation über das gesamte Abfluss- und Öffnungsspektrum schwingungsfrei ist. Die Implementierung der geänderten Geometrie vor Ort steht noch aus.

Neben den Untersuchungen an einem Prototyp ist perspektivisch geplant, die Methode bereits in der Entwurfsphase anzuwenden, um die Konstruktion unter den späteren Randbedingungen am Standort bewerten und gegebenenfalls verbessern zu können. Aufgrund der fehlenden In-Situ-Messdaten, die momentan als Voraussetzung für die Modellierung dienen, soll in Zukunft auch das schwingende Schütz vollständig als Massenschwinger modelliert werden.

Zur weiteren Verifizierung des numerischen Modells und zur systematischen Untersuchung der Geometrie von modernen Drucksegmenten mit Hohlkasten entsteht derzeit ein Labormodell. Im Gegensatz zur Untersuchung am Prototyp können dann, neben der Öffnungsweite und dem Abfluss, auch Masse und Steifigkeit des schwingenden Schützes variiert werden.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde eine Vielzahl von Schwingungsmessungen an verschiedenen Anlagen durchgeführt und dokumentiert. Viele Schwingungsprobleme betreffen Schwingungen von Dichtungen oder Dichtungssystemen. Diese Problematik ist meist auf Missachtung von Entwurfsgrundsätzen, unzureichende Unterhaltung oder mangelnde Ausführung zurückzuführen. Die aus dem Projekt hervorgehenden Erkenntnisse gehen in die Beratungstätigkeit der BAW ein und sollen bis 2022 in einem Mitteilungsblatt dokumentiert werden.

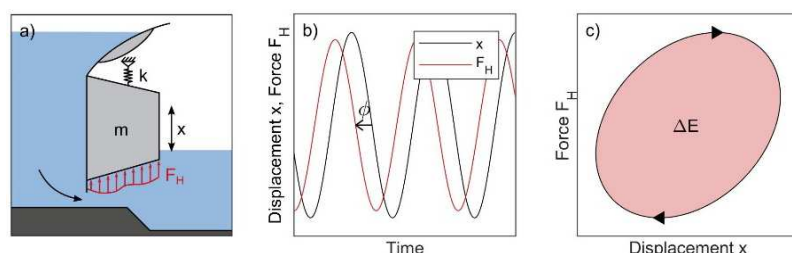


Bild 1: Skizzierte Darstellung der Methode. Verrichtet das Druckfeld in der Strömung Arbeit am zwangsbewegten Schütz, das heißt ΔE ist positiv, dann besteht Schwingungsgefahr.

Literatur:

Broß, F. (2019): Numerische Untersuchungen zum Downpull-Effekt an unterströmten Verschlüssen. Bachelor-Thesis am Institut für Hydromechanik. Karlsruher Institut für Technologie. (unveröffentlicht)

Göbel, G.; Gebhardt, M.; Deutscher, M.; Metz, W. (2019): Untersuchung strömungsinduzierter Schwingungen am Beispiel eines unterströmten Segment-schützes. In: Kolloquium Hydraulik der Wasserbauwerke – Neues aus Praxis und Forschung, 20–21. Februar 2019. Bundesanstalt für Wasserbau. Karlsruhe

Göbel, G.; Gebhardt, M.; Deutscher, M.; Metz, W.; Thorenz, C. (2018): Numerical and Physical Study on Seal Vibrations at Hydraulic Gates. In: Proceedings of the 7th International Symposium on Hydraulic Structures.

Göbel, G.; Gebhardt, M.; Deutscher, M.; Metz, W.; Thorenz, C. (2019): Numerical simulation of flow-induced vibrations on gates with underflow. In: Proceedings of the 38th IAHR World Congress.



Aktualisierung der Kriterien für die hydraulische Bemessung von Schleusen

Analyse und Optimierung von Schleusen

1 Aufgabenstellung und Ziel

Die heute angewandten Kriterien für die hydraulische Bemessung und den Betrieb von Schleusen im Binnen- und Seebereich basieren größtenteils auf jahrzehntealten Erfahrungswerten (z. B. zusammengefasst in Partensky 1986). Für diese Bemessungskriterien fehlt oftmals eine aktuelle wissenschaftliche Basis oder die maßgebenden Rahmenbedingungen haben sich geändert. Durch den Austausch im internationalen Umfeld (s. a. PIANC-Report 155) zeigte sich bereits, dass sich die Bemessungskriterien der BAW und der an Deutschland angrenzenden Staaten trotz grenzüberschreitenden Schiffsverkehrs unterscheiden. Mit den Wirtschaftlichkeits- und Standardisierungsbemühungen in der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) erfolgt ein Paradigmenwechsel, der von sehr leistungsfähigen, aber aufwändigen Füllsystemen zu deutlich vereinfachten Füllsystemen führt. Die Standardisierungslösung sieht beispielsweise für Schleusen von bis zu 10 m Hubhöhe ein reines Vorkopffüllsystem vor, während hierfür früher oftmals ein Längskanalsystem gewählt wurde. Eine Verringerung der Leistungsfähigkeit wird dabei in Kauf genommen, um die Sicherheit und Leichtigkeit der Schifffahrt weiterhin garantieren zu können

Jüngste Untersuchungen der Schleusen am Nord-Ostsee-Kanal und am Neckar zeigen, dass durch minimale bauliche Anpassungen oder eine optimierte Füllstrategie auch Schleusen mit stark vereinfachten Füllsystemen sicher und ausreichend schnell betrieben werden können. Oftmals ist jedoch nicht klar, welche Bemessungskriterien maßgebend und in welchen Bewertungskontext diese zueinander zu bringen sind, um den Anforderungen an die Sicherheit und Leichtigkeit der Schifffahrt in ausreichendem Maße gerecht zu werden. So muss bspw. beim Schleusen-Nothalt abgewogen werden, ob hohe Schiffskräfte durch einen schnellen Schleusenhalt oder eine hohe Restwasserspiegeländerung durch einen langsameren Schleusenhalt in Kauf genommen werden sollten. Welcher Effekt die größere Gefährdung darstellt und damit primär vermieden werden muss, ist bisher nicht definiert. Weiterhin bestehen maschinenbauliche, stahlwasserbauliche und steuerungstechnische Zwangsbedingungen, die in diesem Kontext bislang kaum berücksichtigt wurden.

Auftragsnummer:

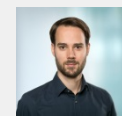
B3953.03.04.70007

Auftragsleitung:



Dr. Lydia Schulze
 lydia.schulze@baw.de

Auftragsbearbeitung:



Fabian Belzner
 fabian.belzner@baw.de

Laufzeit:

2016 bis 2023

So können bspw. für den Füllprozess optimierte Schützfahrpläne ungünstig sein, wenn dabei Schwingungen an den Schützen auftreten, die die Stahlwasserbauten langfristig schädigen, oder wenn Schützgeschwindigkeiten gefordert werden, die in der Antriebstechnik nicht umsetzbar sind.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Die Überprüfung und die Aktualisierung der hydraulischen Bemessungskriterien für Schleusen führen zu einer fundierten fachwissenschaftlichen Grundlage für künftige Planungen. Die geplante Strategie ermöglicht eine einheitliche Bewertung und Risikoabschätzung, mit deren Hilfe in Zukunft vereinfachte Füllsysteme geplant, optimiert und effizient betrieben werden können. Auch bestehende Bauwerke können überprüft und gegebenenfalls durch Anpassung der Betriebsfahrpläne effizienter betrieben werden. Durch die planmäßige Vermeidung kritischer Systemzustände wird die Zuverlässigkeit und Sicherheit in bestehenden und geplanten Schleusen erhöht.

3 Untersuchungsmethoden

Zunächst wurde mit statistischen und empirischen Methoden der Ist-Zustand an den Bundeswasserstraßen erfasst. Dabei wurden bislang nicht systematisch erfasste Daten gewonnen und daraus bestehende Optimierungspotentiale bezüglich der Sicherheit und Leistungsfähigkeit der Bauwerke abgeleitet. Eine vergleichende statistische Auswertung der technischen Daten bestehender Bauwerke zeigt Unterschiede in der Betriebsweise ähnlicher Schleusen auf. Damit werden schon heute sehr effiziente Bauwerke identifiziert, die als Prototyp für die Optimierung zukünftiger Bauvorhaben dienen können.

Mit ein- und mehrdimensionalen Modellen können die Füllzeit und die wirkenden Schiffskräfte während des Füllvorgangs abgeschätzt werden. Die tatsächliche Bemessungsgröße ist jedoch die von der Trosse aufzunehmende Kraft, welche nicht der Schiffskraft entspricht, sondern die dynamische Antwort auf kleinste Bewegungen des festgemachten Schiffs ist (Bild 1, links). Sie ist damit von zahlreichen bekannten und variablen Randbedingungen, wie z. B. den Materialeigenschaften der Trosse, ihrer Länge oder dem Durchhang abhängig. Mit einer Modellierung des Systems „Schiff-Trosse“ kann die Trossenkraft in Abhängigkeit bekannter und variabler Randbedingungen ermittelt werden. Monte-Carlo-Simulationen erlauben die Variation variabler Randbedingungen und damit eine statistische Bewertung der wirkenden Trossenkraft. Aus den Ergebnissen können später die Randbedingungen einer Optimierungsstrategie für die Schleusenfüllung abgeleitet werden.

4 Ergebnisse

Bild 1 (links) zeigt die in den beiden Trossen auftretenden Zugkräfte (orange und blau) bei nahezu sprunghaft einsetzender Schiffslängskraft (schwarz), wie sie sich bspw. aus einem Wasserspiegellängsgefälle ergeben kann. In Abhängigkeit der Vorspannung der Trosse bewegt sich das Schiff zunächst in Richtung der wirkenden Kraft, bis die Trosse gespannt ist. In diesem Moment muss die Trosse sowohl die quasi-statisch wirkende Schiffskraft als auch die Trägheitskraft des sich bewegenden Schiffs aufnehmen. Die dabei auftretenden Trossenkraften können aufgrund dynamischer Verstärkungseffekte ein Vielfaches der wirkenden Schiffskräfte betragen. Monte-Carlo-Simulationen dieses Systems mit variablen Randbedingungen zeigen, dass die auftretenden Kräfte log-normal verteilt sind (Bild 1, rechts). Auf dieser Basis können weitere statistische Betrachtungen der tatsächlich bemessungsrelevanten Kräfte durchgeführt werden.

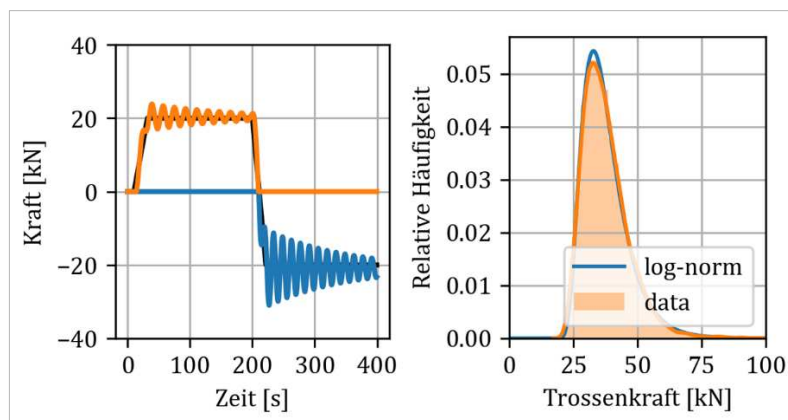


Bild 1: Links: Plötzlich aufgebrachte Schiffslängskraft (schwarze Linie) und dynamischen Antwort der Trossen (orange und blaue Linie). Rechts: Verteilungsfunktion der wirkenden Trossenkraften (10.000 Simulationen).

Literatur:

InCom Working Group 155 (2015): Ship Behaviour in Locks and Lock Approaches. PIANC Report 155. PIANC Brussels.

Partenscky (1986): Binnenverkehrswasserbau Schleusenanlagen. Heidelberg: Springer.



Einwirkung des Propellerstrahls auf die Gewässersohle

1 Aufgabenstellung und Ziel

Schiffspropeller erzeugen hochturbulente Strahlen, die zu einer starken Beanspruchung der Gewässersohle und des Ufers von Wasserstraßen und zu Erosionserscheinungen führen können. Die durch den Schraubenstrahl induzierte Sohlenbelastung ist ein sehr komplexer Vorgang. Eine analytische Berechnung von Schraubenkolken bzw. Sohlensicherungen für den Erosionsschutz setzt hinreichend genaue Kenntnisse über die Strahlausbreitung und deren Wechselwirkung mit dem Sohlsediment voraus. Unsicherheiten bei der Anwendung vorhandener Verfahren zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen bei Propulsionsströmungen gaben Anlass dazu, den vorhandenen Kenntnisstand grundlegend aufzuarbeiten. Die Analyse führte zu neuen Berechnungsansätzen für die zeitliche Entwicklung lokaler Schraubenkolke und die Endkolkentiefe, mit denen die maximalen Kolkiefen mit einer höheren Genauigkeit und in einem größeren Gültigkeitsbereich als mit bisherigen Ansätzen prognostiziert werden können. Forschungsbedarf zeigte sich allerdings bei der Berücksichtigung des Einflusses von Schiffsantrieb, Heckform und Rudergestaltung auf die Strahlausbreitung, die sohnahen Strömungsgeschwindigkeiten und die zeitliche Kolkentwicklung in unterschiedlichen Sohlenmaterialien. Die bestehenden Unsicherheiten sollten durch systematische hydraulische Laboruntersuchungen minimiert werden.

Die Durchführung der experimentellen Untersuchungen zur Kolkbildung und Schraubenstrahlhydraulik erfolgte im Rahmen eines FuE-Vertrages durch das Leichtweiß-Institut für Wasserbau (LWI) der TU Braunschweig mit dem Modell eines modernen und stark motorisierten Großmotorgüterschiffs (GMS) im Maßstab 1:16. Da die größten Auswirkungen des Propellerstrahls bei Manövern und Beschleunigungsvorgängen von Schiffen zu erwarten sind, berücksichtigten die Untersuchungen diese Fahrtzustände. Durch die Projektbearbeitung sollen die vorhandenen analytischen Berechnungsansätze für die schraubenstrahlinduzierte Sohlenerosion und die Bemessung von Deckwerken unter Berücksichtigung der Propeller- und Ruderanordnung überprüft und verifiziert oder verbessert bzw. neue geeignete Berechnungsansätze entwickelt werden.

Auftragsnummer:

B3953.04.04.10038

Auftragsleitung:



Detlef Spitzer
 detlef.spitzer@baw.de

Laufzeit:

2006 bis 2021

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Die Untersuchungen tragen dazu bei, die Zuverlässigkeit von bestehenden Berechnungsverfahren zum Einfluss von Schraubenstrahlen auf die Sohlenerosion zu erhöhen und dadurch die Bewertung der Erosionssicherheit von Gewässersohlen zu erleichtern. Die Ergebnisse finden Eingang in die von der BAW herausgegebenen und fortwährend aktualisierten "Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen" (GBB) sowie in die darauf aufbauende Software GBBSOFT+, die 2008 im Geschäftsbereich der WSV eingeführt wurde.

3 Untersuchungsmethoden

Der Schwerpunkt der Bearbeitung lag auf der Durchführung von experimentellen Untersuchungen im LWI. Zuvor wurden in der Literatur verfügbare Messdaten aus Modell- und Naturversuchen für vergleichende Untersuchungen in einer Datenbank zusammengetragen und auf Plausibilität geprüft. Im Weiteren wurden allgemein anwendbare empirische Zusammenhänge für das Ausbreitungs- und Erosionsverhalten von Propellerstrahlen und zur verbesserten Prognose der Endkolkentiefe sowie der zeitlichen Entwicklung von Propellerkolken analysiert. Die experimentellen Untersuchungen beinhalteten drei Themenkomplexe: Strömungsfeld im Schraubenstrahl über fester Sohle, Kolkversuche in der Manöversituation und Kolkversuche infolge kurzzeitiger Belastungen beim Anfahren. Zur Anwendung gelangte ein GMS-Hinterschiffsmodell (Gesamtabmessungen in der Natur: 110 m Länge, 11,45 m Breite) mit zwei Grundvarianten für den Schraubenantrieb (Kaplanpropeller in Düse und nicht ummantelter Wageningen-Propeller) sowie zwei Ruderausführungen (Zentralruder und Doppeltürer). Für die messtechnische Ermittlung der zeitlichen Kolkiefen sowie der Strahlausbreitung hinter dem Propeller und an der Gewässersohle wurden mehrere Verfahren angewendet bzw. getestet (Ultraschallsonden, Laser-Triangulationssensor, Stechpegel, 3D-Scanner mit Auswertesoftware für die Kolkiefenmessung; Particle-Image-Velocimetry (PIV), ADV-Sonden, Mikroflügel sowie ein Prandtl-Rohr für Geschwindigkeitsmessungen im Schraubenstrahl).

4 Ergebnisse

Die Untersuchungen des FuE-Vertragspartners beantworten die Frage nach der Einwirkung des Propellerstrahls auf die Gewässersohle in der Manöversituation und bei Beschleunigungsvorgängen mit neu entwickelten Berechnungsansätzen (LWI 2019). Die Ermittlung der Sohlenbelastung durch Schiffe bei stationärer Fahrt war nicht Gegenstand der Bearbeitungen. Diese setzt als Grundlage für die Bestimmung der Anfangsstrahlgeschwindigkeit nach dem derzeitigen Stand des Wissens die Kenntnis der eingesetzten Leistung bzw. der damit im Zusammenhang stehenden Drehzahl sowie des aus dem Freifahrt-Diagramm des Propellers vom Propellerfortschrittsgrad abhängigen Schubbeiwertes voraus (GBB 2010). Als einfache Alternative für die Prognose der induzierten Strahlgeschwindigkeit bietet sich die Ermittlung des erzeugten Propellerschubs, welcher zur Überwindung des Schiffswiderstandes erforderlich ist, an. Um zuverlässige Ansätze für die Berechnung des Widerstands von Binnenschiffen zu gewinnen, wurden 2020 Ergebnisse aus zahlreichen Modell-schleppversuchen in Kanälen und im Flachwasser, die mit Motorgüterschiffen und Schubverbänden im Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme (DST) in Duisburg und in der ehemaligen Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau (FAS) in Berlin durchgeführt wurden, ausgewertet. Im Ergebnis von Regressionen wurden Widerstandsformeln für Schiffe und Verbände aufgestellt, welche auf einem Ansatz von van de Kaa (1979), beruhen. Die Auswertung der Modellversuchsergebnisse nach diesem Verfahren führte nach Anpassung der empirischen Koeffizienten zu einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,97$ (Bild 1). Die Tauglichkeit des Berechnungsverfahrens konnte anhand von Ergebnissen zum Schleppwiderstand von Kähnen in Naturversuchen nachgewiesen werden (Spitzer 2020).

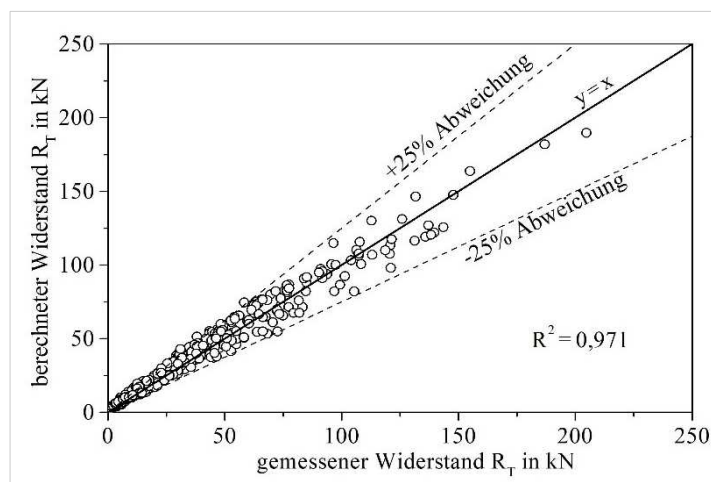


Bild 1: Gegenüberstellung von berechneten mit experimentell bestimmten Widerständen für Motorgüterschiffe.

Literatur:

LWI (2019): Scour induced by inland ship propellers. Final Report, TU Braunschweig, LWI-Bericht Nr. 1098.

Van de Kaa, E. J. (1979): Power and speed of push-tows in canals. Delft Hydraulics Lab., Pub. No. 216.

BAW (2010): Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen (GBB). Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe.

Spitzer, D. (2020): Resistance and economic speed of ships and tows in inland waterways. BAW Karlsruhe, Manuskript (unveröffentlicht).



Binnenschiffsführungssimulation

Referenzbinnenschiff und -schubverband

1 Aufgabenstellung und Ziel

Ende 2009 wurde durch die Bundesanstalt für Wasserbau für den Bereich Binnenschifffahrt der Schiffsführungssimulator ANS5000 beschafft. Im Jahr 2017 erhielt der Schiffsführungssimulator ein Upgrade auf ANS6000. Zentrales Ziel des Forschungsvorhabens ist es, den Simulator, der seitens der implementierten Modellverfahren für die Ausbildung des nautischen Personals auf Seeschiffen ausgelegt ist, in Betrieb zu nehmen und an die Anforderungen der BAW für die Binnenschifffahrt anzupassen, indem in der BAW entwickelte Modellverfahren für die fahrdynamische Begutachtung von Wasserstraßen fortwährend an den Untersuchungsbedarf angepasst und in den Simulator implementiert werden. Neben der Implementierung der BAW-Modelle müssen zusätzlich verifizierte Schiffsmodelle inklusive der Parametersätze, die die fahrdynamischen Eigenschaften eines Schiffes bestimmen, für den ANS6000 erstellt werden.

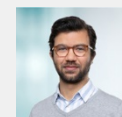
2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Aus dem Trend, dass immer größere Schiffe in den vorhandenen Wasserstraßen fahren (überlange Verbände auf dem Rhein, überlange Großmotorgüterschiffe (üGMS) auf dem Neckar), gewinnen Fragestellungen wie z. B. nach dem Einfluss von Querströmungen auf die Fahrt eines Binnenschiffes (z. B. durch Schwall und Sunk im Schleusenvorhafen), nach der Wechselwirkung Schiff/Schiff bzw. Schiff/Wasserstraße, nach dem Verkehrsflächenbedarf in der Manöverfahrt und nach Squat und Bankeffekt immer mehr an Bedeutung. Viele dieser Fragen lassen sich nur noch durch komplexe Simulationen der Schiffsbewegung beantworten, bei denen das Schiff durch einen Bahnregler oder durch Schiffsführer nach Sicht gesteuert wird. Die Bedeutung wird umso deutlicher, als schon heute und zukünftig verstärkt die wirtschaftliche Ausnutzung der vorhandenen oder dann angepassten Wasserstraßeninfrastruktur im Vordergrund stehen und somit eine kontinuierliche Weiterentwicklung der modularen Simulationssoftware für die Aufgaben der WSV erforderlich ist.

Auftragsnummer:

B3953.04.04.70003

Auftragsleitung:



Lahbib Zentari
lahbib.zentari@baw.de

Laufzeit:

2010 bis 2023

3 Untersuchungsmethoden

Die Modellierung der fahrdynamischen Eigenschaften eines Binnenschiffes ist von besonderer Bedeutung, da sie für die Qualität der späteren Simulationsergebnisse entscheidend ist. Die ursprünglich hierzu angewandte Methode beruhte auf der Einmessung von fahrenden Binnenschiffen und der Aufzeichnung aller Maschinen- und Ruderkommandos. Auf der Grundlage dieser Messdaten wurden die Koeffizienten für die Maschinen- und für die fahrdynamischen Modelle abgeleitet. Inzwischen wird diese Methode durch CFD-Berechnungsmethoden für Binnenschiffe und für Schubverbände in Tief- und Flachwasser unter Berücksichtigung der Relativbewegung zwischen Leichter und Schubschiff sowie der Wirkung der Spaltströmung für unterschiedliche Koppelungsvarianten der Leichter ergänzt.

Zur Validierung der CFD-Methode werden Messdaten aus Schleppversuchen gewonnen. Dabei wird das Schiffsmodell auf einer vorgeschriebenen Bahn durch einen Schlepptank bewegt und die hydrodynamischen Kräfte sowie Momente gemessen. Anhand dieser Daten wird das Verhalten des Schiffes beschrieben und für die exakte Bewegung am Simulator verwendet.

Dank der Laborversuche kann die CFD-Methode unter verschiedenen Anforderungen validiert werden. Dazu gehören die Erfahrungen aus dem Vorgängerprojekt „Referenzschiff“. Auf Basis systematischer experimenteller Untersuchungen der Widerstands-, Antriebs- und Manöviereigenschaften wird derzeit die Validierung mittels Lösung der Reynolds-gemittelten Navier-Stokes-Gleichungen (RANS) durchgeführt.

Der Schiffsführungssimulator wurde darüber hinaus an die veränderten Fragestellungen seitens der Wasserstraßenverwaltung angepasst. Dazu gehört die Erweiterung um ein Schleusenmodul, die Ergänzung einer Kollisionskontrolle im Überwasserbereich unter Berücksichtigung der aktuellen Position des in der Höhe veränderlichen Steuerhauses und die Erhöhung der Anzahl der Strömungssensoren am Schiffskörper, um den hohen Gradienten in den Strömungsfeldern von Binnengewässern gerecht zu werden.

4 Ergebnisse

Die beschriebene Methode zur numerischen Identifikation der Schiffscoeffizienten auf der Grundlage der in der Vergangenheit entwickelten CFD-Berechnungsmethoden wird derzeit für Binnenschiffe und Schubverbände erprobt. Es wurde eine gute Übereinstimmung zwischen experimentellen und numerischen Ergebnissen erzielt, was bedeutet, dass die auf das Schiff wirkenden Kräfte in tiefen Gewässern bereits akkurat numerisch ermittelt werden können (siehe Bild 1 und 2).

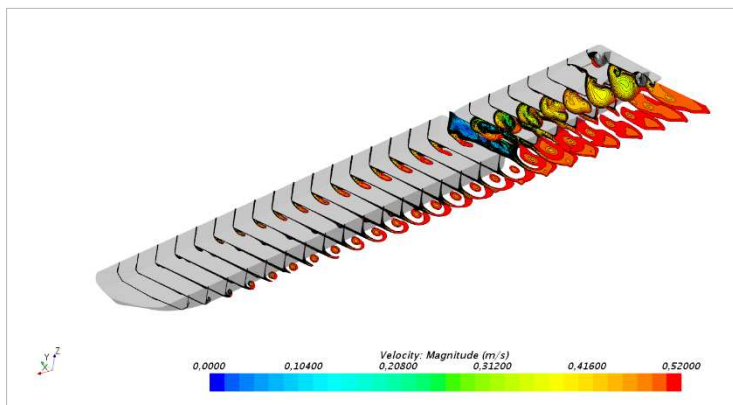


Bild 1: CFD-Rechnungen für einen Schubverband zur Untersuchung der auf das Schiff wirkenden Kräfte in der Drifffahrt.

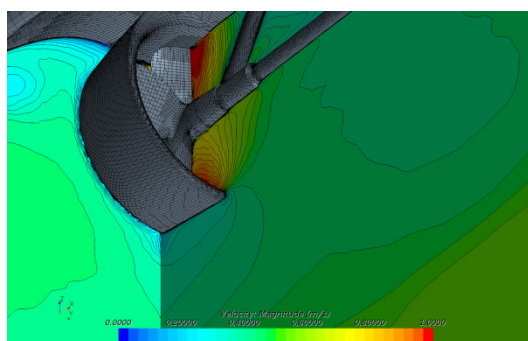
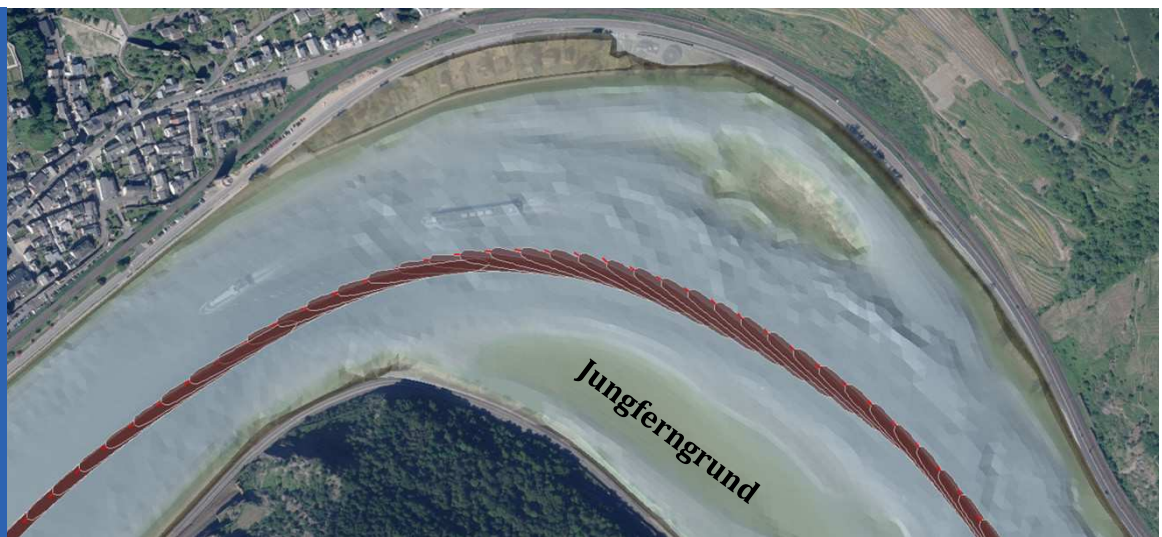


Bild 2: Simuliertes Geschwindigkeitsfeld um Propeller und Düse.

Literatur:

Mucha, P. (2017): On Simulation-based Ship Maneuvering Prediction in Deep and Shallow Water. Institut für Schiffstechnik, Meerestechnik und Transportsysteme (ISMT); Universität Duisburg-Essen.

Mucha, P.; Ould el Moctar, B; Dettmann, T.; Ferrari, V. (2019): Experimental Investigation of Free-Running Ship Maneuvers Under Extreme Shallow Water Conditions. Applied Ocean Research.



Fast-Time-Simulation von Binnenschiffen mit FaRAO

Weiterentwicklung des fahrdynamischen Berechnungsverfahrens zur Ermittlung des Verkehrsflächenbedarfs und für Befahrbarkeitsbewertungen

1 Aufgabenstellung und Ziel

Im Referat W4 *Schifffahrt* werden Fragestellungen der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) zum Verkehrsflächenbedarf der Schiffe auf den Binnenwasserstraßen sowie im Bereich von Schleusen und Häfen bearbeitet, wobei die Befahrbarkeit hinsichtlich Sicherheit und Leichtigkeit betrachtet wird. Für diese Aufgaben werden verschiedene fahrdynamische Verfahren mit unterschiedlicher Ausprägung eingesetzt. Für die hochgenaue Simulation von Manöversituationen kommt im Allgemeinen ein Schiffsführungssimulator zum Einsatz, während eine Fahrrinnenentrassierung in Binnenschifffahrtskanälen auch mit deutlich geringerem Aufwand mit dem WSV-Verfahren Trasse durchgeführt werden kann.

Für viele Fragestellungen ist der Einsatz des Schiffsführungssimulators aufgrund der zeitlichen und personellen Anforderungen nicht möglich, und das Trassierungsverfahren wird aufgrund der eingeschränkten Gültigkeit der Methodik (Kanalfahrten bei sehr geringen Strömungsgeschwindigkeiten) den Anforderungen nicht gerecht. In diesen Fällen wird die sogenannte Fast-Time-Simulation eingesetzt, deren Entwicklung 2006 mit dem Verfahren PeTra2D begonnen wurde (Kolarov, 2006). Mit diesem experimentellen Verfahren wurde die grundsätzliche Eignung der Fast-Time-Simulation für unterschiedliche Aufgaben der BAW belegt. PeTra2D erwies sich aber hinsichtlich der Rechenzeiten und der Möglichkeiten, die erforderlichen Weiterentwicklungen umzusetzen, als sehr unflexibel. Aus diesem Grund wurde 2014 das Verfahren einem vollständigen Reengineering in der Programmiersprache C++ unterzogen. Der nun seit 2016 im Einsatz befindliche Fast-Time-Simulator FaRAO (*Fahrdynamische RoutenAnalyse und Optimierung*) wird im Rahmen dieses FuE-Projektes sukzessive verbessert und weiterentwickelt, wobei die Qualität und Rechengeschwindigkeit der Methodik bei der auftragsbezogenen Anwendung sowohl für Fragestellungen der WSV als auch im Forschungsbereich im Vordergrund stehen.

Auftragsnummer:

B3953.04.04.70008

Auftragsleitung:

Dr. Michael Schröder
 michael.schroeder@baw.de

Laufzeit:

2016 bis 2021

Die geplanten und teilweise umgesetzten Weiterentwicklungen und Verbesserungen betreffen:

- Entwicklung von verbesserten Bahnführungsalgorithmen, die zum Beispiel mithilfe von Methoden der nicht-linearen Optimierung das simulierte Binnenschiff einer vorgegebenen Leitlinie folgen lassen.
- Verbesserung und Weiterentwicklung der physikalischen Grundlagen zur fahrdynamischen Simulation von Binnenschiffen in tiefen- und breitenbeschränktem Fahrwasser auf Kanälen und Flüssen.
- Implementierung des Simulationsverfahrens auf parallelen Hochleistungsrechnern.
- Entwicklung von geeigneten grafischen Benutzerschnittstellen für das Prä- und Postprocessing.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Mit dem Fast-Time-Simulator FaRAO können viele Fragestellungen der WSV im Zusammenhang mit der Bewertung von wasserbaulichen Neu- oder Ausbaumaßnahmen hinsichtlich der Befahrbarkeit, des Verkehrsflächenbedarfs und der Sicherheit und Leichtigkeit effizient und zuverlässig bearbeitet werden. Darüber hinaus wird das Simulationsverfahren in Forschungsprojekten des BMVI-Expertenetzwerks sowie im „Pilotprojekt Klima und Wasser - Projektionsdienst für Wasserstraßen und Schifffahrt (ProWaS)“ eingesetzt und weiterentwickelt.

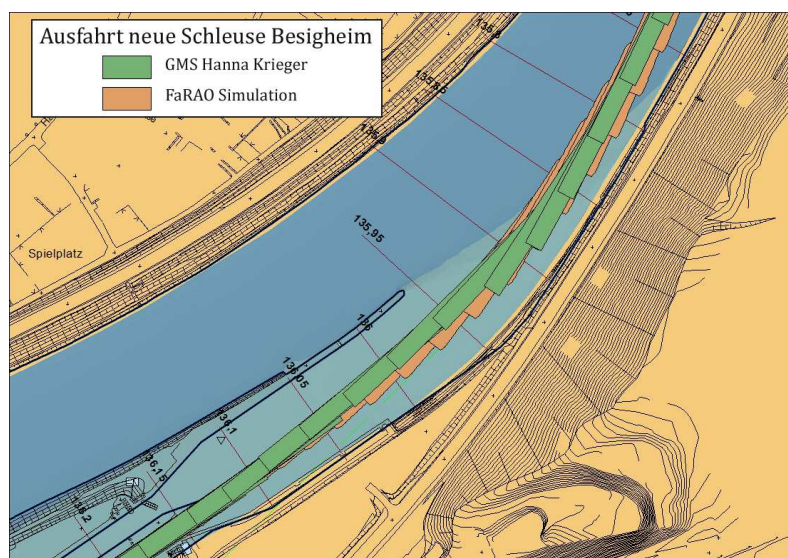
3 Untersuchungsmethoden

Der Fast-Time-Simulator FaRAO wird als flexible Programmbibliothek entwickelt, mit der Befahrbarkeitsanalysen für Wasserstraßen durchgeführt werden können. Dazu wird eine modulare Softwarestruktur implementiert, welche ein einfaches Austauschen einzelner Komponenten erlaubt, und somit zum Beispiel die Implementierung von verschiedenen fahrdynamischen Berechnungsansätzen ohne eine Änderung der Programmstruktur ermöglicht.

4 Ergebnisse

Das Reengineering von PeTra2D war zwar zu Beginn des Projekts abgeschlossen, in den ersten Anwendungen der Methodik auf fahrdynamische Fragestellungen bei wasserbaulichen Projekten der WSV wurde die Stabilität und Qualität des Fast-Time-Simulators FaRAO aber noch einmal deutlich verbessert. Zudem wurde ein Optimierungsalgorithmus auf der Grundlage der offenen Bibliothek IPOPT implementiert, mit dem bei einer Voraussicht von 10 – 50 Sekunden eine ausgezeichnete Bahnführung realisiert wurde (Linke 2016). Der Quellcode wurde auf die Hochleistungsrechner der BAW übertragen und steht dort nun für umfangreichere Analysen zur Verfügung. Die konzeptionellen Arbeiten für eine Parallelisierung des Programms sowie deren Umsetzung stehen allerdings noch aus.

Darüber hinaus wird FaRAO derzeit in mehreren WSV-Aufträgen erfolgreich eingesetzt. In Bild 1 ist zum Beispiel die Simulation einer Schleusenausfahrt aus der Neckar-Schleuse Besigheim dargestellt, für die ein Ausbau der rechten Kammer für 135 m lange Großmotorgüterschiffe (GMS) geplant ist. Im Bild ist die Validierung der Simulation mit einer eingemessenen Schiffsfahrt eines GMS dargestellt.

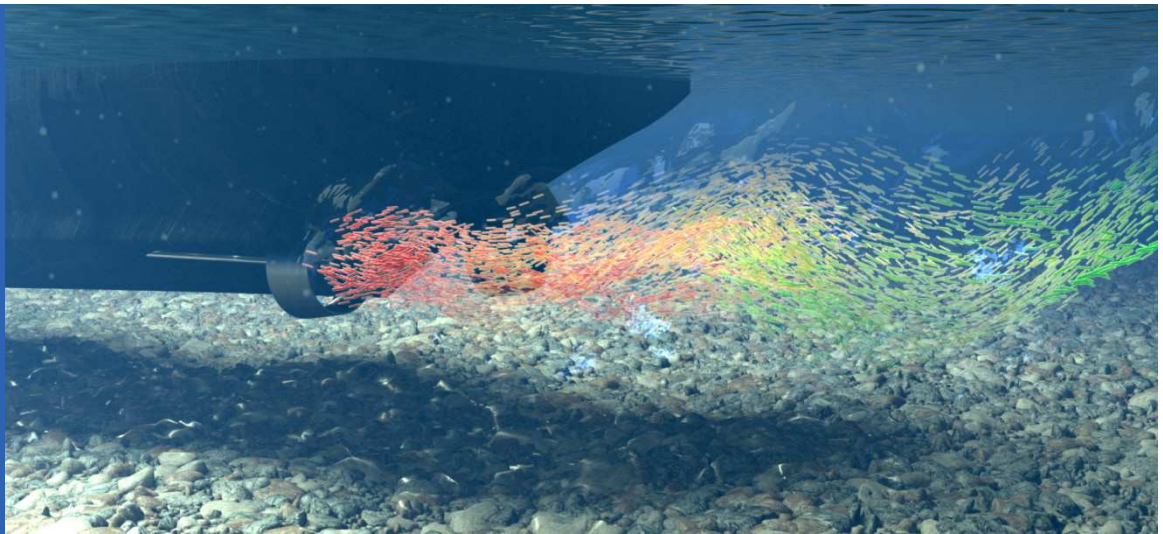


Literatur:

Kolarov, P. (2006): Simulation von Schiffsbewegungen in Fließgewässern. Dissertation, Universität Rostock.

Linke, T.; Rauscher, D.; Söhngen, B. (2015): Recent developments in the application of shallow water ship hydrodynamics in inland waterway design. Smart Rivers Conference 2015. Buenos Aires.

Bild 1: Validierung der fahrdynamischen Simulation mit FaRAO anhand der Ausfahrt des GMS Hanna Krieger aus der Neckar-Schleuse Besigheim ins Unterwasser.



HN-Modellierung von Binnenschiffsbelastungen auf Ufer und Sohle

1 Aufgabenstellung und Ziel

Infolge immer größerer und stärker motorisierter Fahrzeuge nimmt die Belastung von Gewässersohle und -ufer durch Propulsionsorgane auf vielen Bundeswasserstraßen zu, und kann die Bemessung von Deckwerken maßgeblich bestimmen. Aufgrund der komplexen Zusammenhänge zwischen den Schiffparametern (z. B. Schiffsgeschwindigkeit, Schraubstrahl- und Bugstrahlaustrittsgeschwindigkeit, Rudereinstellungen, Propellergeometrie) und den Böschungsparametern (z. B. Steingröße und Böschungsneigung) besteht zusätzlicher Forschungsbedarf insbesondere in den folgenden Bereichen (Spitzer et al. 2012):

- Einwirkung des Hauptantriebs auf Böschung und Sohle,
- Strahlentwicklung und -überlagerung bei Mehrschraubern,
- Rudereinfluss auf den Schraubstrahl und
- Identifikation der Druck- und Sogbelastungsbereiche an der Sohle.

Zur detaillierten Analyse der genannten Punkte sollen weitere Parameterstudien und Untersuchungen zum Einfluss der Propulsionsorgane auf Sohle und Ufer durchgeführt werden. Zudem sind HN-Simulationen mit unterschiedlichen Propellergeometrien und für Mehrschrauber geplant, um einerseits die Überlagerungsphänomene zu analysieren und andererseits deren Einfluss auf die Sohle zu betrachten. Wesentliche Ziele dieses Forschungsvorhabens sind:

- Erprobung und Validierung zur 3D-HN-Modellierung des Schraubstrahls,
- Studien zum Einfluss von Schiffs-, Böschungs- und Sohlparametern auf die Strahlausbreitung und Sohl-/Böschungsbelastung,
- Erprobung und Adaption von Methoden zur Kopplung der 3D-HN-Modellierung des Schraubstrahls mit der diskreten Partikelsimulation im Bereich von Böschung und Sohle.

Auftragsnummer:

B3953.04.04.70009

Auftragsleitung:

Tarek Beck
 tarek.beck@baw.de

Laufzeit:

2016 bis 2023

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Die Untersuchungen führen zu einer Verbesserung und Erweiterung der verfügbaren Ansätze zur parametrischen Abschätzung der Einwirkung des Schraubstrahls. Diese Kenntnisse finden unter anderem Eingang in die von der BAW für die Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen entwickelte Software GBBSoft+.

3 Untersuchungsmethoden

Die weiterführenden Analysen zur Interaktion zwischen Schiff, Böschung und Sohle werden mit der OpenSource-Software OpenFOAM durchgeführt. Der frei zugängliche Programmcode erlaubt individuelle Anpassungen und bietet eine numerische Bibliothek mit einer Vielzahl verschiedener Lösungsmethoden. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens sollen die bereits in OpenFOAM enthaltenen Simulationsmöglichkeiten analysiert, getestet und gegebenenfalls weiterentwickelt werden. Im Detail soll die Eignung der in OpenFOAM enthaltenen Möglichkeit zur Gitteranpassung während der numerischen Simulation (overset mesh) im Hinblick auf die Abbildung eines fahrenden Schiffes über einer realen Flusssohle überprüft werden. Zudem besteht die Möglichkeit, durch eine kombinierte Strömungs- und Partikelsimulation (Discrete Particle Modelling (DPM)) den Zusammenhang zwischen den wesentlichen Schiffparametern und dem Bewegungsbeginn der Böschungsbefestigung zu analysieren. Neben dieser Betrachtung sollen Belastungen von verschiedenen Schrauben-Ruder-Kombinationen auf die Böschung und Sohle untersucht werden.

4 Ergebnisse

In der vorherigen Ausgabe von ForschungXpress (Beck 2019) wurden Vergleichsanalysen zur induzierten Propellergeschwindigkeit zwischen experimentellen und numerischen Ergebnissen dargestellt. Zur Erweiterung dieser Analysen auf das Propellerfernfeld wurden in den Versuchsanlagen des Entwicklungszentrums für Schiffstechnik und Transportsysteme (DST) und des Instituts für Schiffstechnik, Meerestechnik und Transportsysteme der Universität Duisburg-Essen (ISMT) umfangreiche Strömungsmessungen im Propellerstrahl durchgeführt.

Hierbei kamen zwei verschiedene laserbasierte Methoden zum Einsatz. 2D3C Particle Image Velocimetry (PIV) ist eine nicht-invasive Methode zur Messung von Fließgeschwindigkeiten. Bei diesem Verfahren werden alle drei Geschwindigkeitskomponenten gleichzeitig in einem dünnen Lichtschnitt gemessen. Besonders für das tiefere Verständnis transienter 3D-Strömungen ist es wünschenswert, nicht nur in einer Ebene, sondern in einem Volumen zu messen. Hierfür wurde ein neuartiges System basierend auf dem Tracking-Algorithmus Shake-the-Box genutzt.

Gemessen wurde die Strömung im Nah- und Fernfeld an unterschiedlichen Messpositionen für verschiedene Antriebsorgane von Ein- oder Zweischaubern. Sämtliche Messungen wurden bei mehreren Drehraten und keiner Anströmung des Propellers (Fortschrittsgrad $J = 0$) durchgeführt. Im weiteren Verlauf des Vorhabens ist geplant die detaillierten Ergebnisse der PIV-Messungen mit numerischen Ergebnissen aus OpenFOAM zu vergleichen.

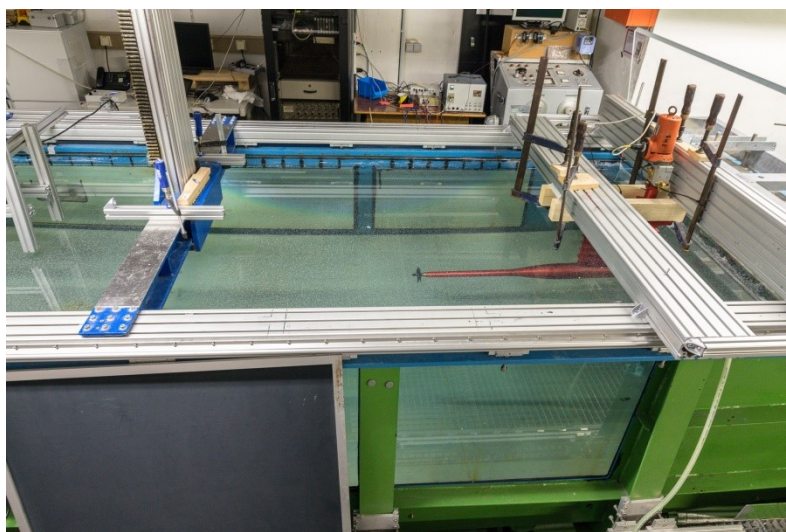


Bild 1: Versuchsanlage der PIV-Messungen.

Literatur:

Beck, T. (2019): HN-Modellierung von Binnenschiffsbelastungen auf Ufer und Sohle. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) ForschungXpress 36/2019.

Spitzer, D.; Söhngen, B.; Aberle, J.; Geisenhainer, P. (2012): Belastung der Gewässersohle durch Propellerstrahlen, Teil 1: Untersuchungen bis zum zweiten Weltkrieg, KW – Korrespondenz Wasserwirtschaft, 4/2012, 202 – 209.



Minderung verkehrsbedingter stofflicher Belastungen in Luft, Wasser und Boden – Betriebliche und technische Optimierungen in der Binnenschifffahrt

Im Rahmen des BMVI-Expertennetzwerkes „Wissen – Können – Handeln“

1 Aufgabenstellung und Ziel

Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) initiierte 2016 das BMVI-Expertennetzwerk. Sieben Ressortforschungseinrichtungen und Fachbehörden des BMVI greifen darin gemeinsam drängende Probleme der Verkehrsinfrastrukturen auf. Es beinhaltet Forschungsarbeiten zur Anpassung an den Klimawandel sowie zur umweltgerechten Gestaltung und Erhöhung der Zuverlässigkeit von Verkehr und Infrastruktur.

Das Themenfeld 2 des BMVI-Expertennetzwerkes hat das Ziel, Verkehr und Infrastruktur umweltgerecht zu gestalten. In einem der Schwerpunktthemen sollen die stofflichen Belastungen durch die einzelnen Verkehrsträger (Straße, Schiene, Wasserstraße und Luft) erfasst und mögliche Maßnahmen zur Reduktion der Emissionen untersucht werden. Die in 2020 begonnene zweite Phase des Projekts umfasst zum einen die Bestimmung des Treibstoffverbrauchs und des Ausstoßes von Luftschadstoffen der aktuellen Binnenschiffsflotte. Zum anderen soll aufgezeigt werden, in welchem Umfang Treibstoffbedarf und Emissionen durch eine optimierte Fahrweise sowie technische Innovationen reduziert werden können.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV), das Verkehrsministerium und die schifffahrtstreibende Wirtschaft werden Informationen über die Luftschadstoffemissionen der Binnenschifffahrt erhalten. Es werden Möglichkeiten aufgezeigt, wie durch betriebliche und technische Maßnahmen Reduktionen des Treibstoffbedarfs und der Emissionen erreicht werden können. Auf dieser Grundlage lassen sich die wirtschaftlichen Auswirkungen einzelner Maßnahmen auf den Verkehrsträger Binnenschifffahrt hinsichtlich seiner Wettbewerbsfähigkeit bewerten und Handlungsempfehlungen ableiten.

Auftragsnummer:

B3953.04.04.70011

Auftragsleitung:

Dr. Christian Noß
 christian.noss@baw.de

Auftragsbearbeitung:

Dr. Daniel Weber
 daniel.weber@baw.de

Laufzeit:

2016 bis 2022

3 Untersuchungsmethoden

Die Betrachtung der Binnenschiffsemissionen erfolgt in der 2020 begonnenen zweiten Phase des Projekts auf zwei Skalen. Während auf der größeren Skala die Gesamtemissionen einer Flotte betrachtet werden, konzentriert sich die feinere Sichtweise auf den Einzelfahrer. Diese unterschiedlichen Blickwinkel auf die Analyse der Binnenschiffsemissionen erfordern zwei methodische Ansätze.

Der erste Ansatz verfolgt zunächst das Ziel, die Emissionen resultierend aus einer Vielzahl beobachteter Schiffsbewegungen zu reproduzieren und potentielle Reduktionen durch flottenübergreifende Maßnahmen, wie z. B. Einbau von Katalysatoren oder Abgasfilter, abzuschätzen. Der zweite Ansatz dient dazu, gezielt betriebliche Maßnahmen und ihr Potential zur Reduktion von Treibstoffverbrauch und Schadstoffemissionen zu untersuchen.

In Phase 1 des BMVI-Expertennetzwerks wurden Emissionen der Binnenschiffsflotte auf Basis von AIS-Daten in Rheinabschnitten um Voerde und Düsseldorf mit Mittelwerten jeweils für den gesamten Abschnitt modelliert. Diese Methode wird im ersten Ansatz aufgegriffen, deutlich erweitert und detaillierter umgesetzt. Bisher wurde eine abschnittsbezogene mittlere Emission auf Basis einer mittleren Fahrzeit aller Schiffe auf dieser Strecke ermittelt. Mit der erweiterten Methode werden nun zeitlich und räumlich aufgelöste Emissionen bestimmt. Dazu werden in jedem Punkt einer beobachteten Route der Schiffswiderstand und die aufgebrauchte Leistung berechnet und mit leistungsbezogenen Emissionsfaktoren der Schadstoffausstoß bestimmt. Die Interpolation einer Vielzahl dieser Punktwerte ermöglicht z. B. eine abschnitts- oder querschnittsbezogene Darstellung von Binnenschiffsemissionen auf einer Wasserstraße.

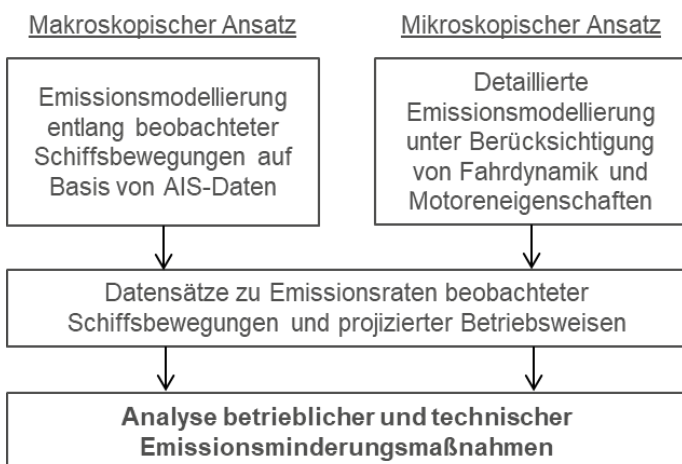
Im zweiten Ansatz werden einzelne Fahrten unter ausgewählten Bedingungen untersucht. Der zweite Ansatz nutzt dabei die Vorteile eines numerischen Modells, um für eine Schar von Fahrten unter variierten fahrdynamischen Eigenschaften die Binnenschiffsemissionen simulieren zu können. Dazu werden zur fahrdynamischen Simulation das Programm FaRAO und zur Simulation der Motorleistung ein numerisches Motorenmodell verwendet und beide miteinander verknüpft (Walz 2019). Auf diese Weise wird untersucht, welche Auswirkungen sowohl verschiedene Routen als auch verschiedene Betriebsweisen des Motors (z. B. slow steaming) auf die Emissionsraten haben. Dadurch können optimale Fahrweisen für den Einzelfahrer identifiziert werden.

Zur Validierung des Motorenmodells werden temporäre Onboard-Messungen auf Schiffen durchgeführt, die Emissionen von Binnenschiffsmotoren in Abhängigkeit von realen Betriebsbedingungen und den äußeren Randbedingungen aufzeichnen (Walz 2019). Durch die Ausweitung der Onboard-Messungen deckt der gewonnene Datensatz zudem weitere Einflussgrößen ab, deren korrekte Implementierung im Motorenmodell geprüft werden kann. Relevante Parameter sind auf Seiten der Schiffseigenschaften beispielsweise Schiffsklasse, Motorentyp, Leistung, Baujahr und Energieeffizienz und auf Seiten äußerer Randbedingungen z. B. Abflussbedingungen und Fahrtrichtung (Berg- oder Talfahrt).

Die in diesem Projekt gewonnenen Erkenntnisse zu Binnenschiffsemissionen sind zudem für weitere Modelle, wie z. B. für das Modell LUWAS (Lohmeyer 2000), von Interesse. In Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), die dieses Modell unter anderem im Rahmen von Planfeststellungsverfahren anwendet, gehen die hier gewonnenen Informationen in die Weiterentwicklung von LUWAS ein.

4 Ergebnisse

Die Planungsphase des Projekts wurde im April abgeschlossen. Erste Ergebnisse werden in der zweiten Jahreshälfte vorliegen.



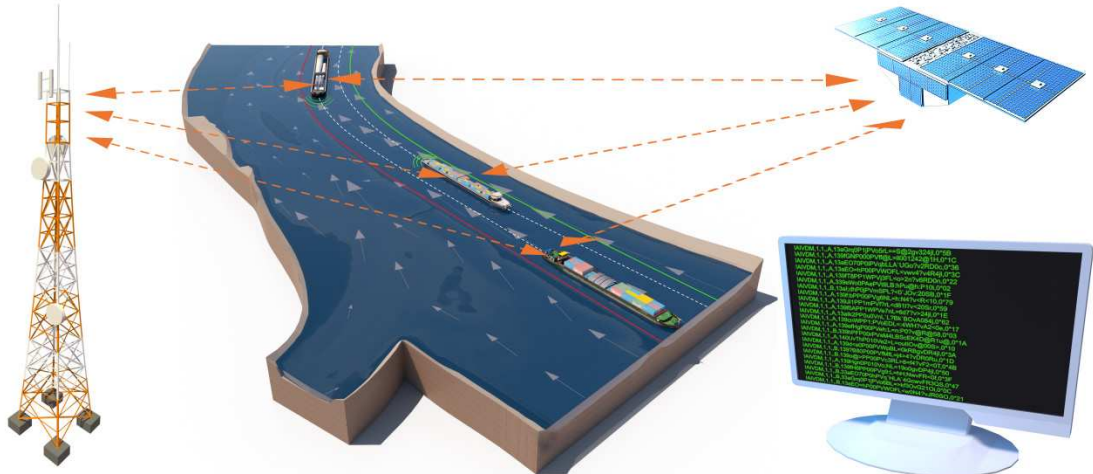
Literatur:

Ingenieurbüro Lohmeyer (2000): LuWas, PC-Programm zur Ermittlung der schiffahrtsbedingten Luftschadstoffbelastung an Wasserstraßen – Hintergrundinformationen. Projekt 1177. August 1998, überarbeitet im Oktober 2000. Karlsruhe: Ingenieurbüro Lohmeyer.

Walz, C. (2019): Minderung verkehrsbedingter stofflicher Belastungen in Luft, Wasser und Boden – Betriebliche und technische Optimierungen in der Binnenschiffahrt, BAW (Hg): Forschung XPress 53/2019.

Bild 1: Schematische Kurzbeschreibung des Vorhabens.

Forschung Xpress



AIS-basierte Bewertung des Schiffsverkehrs

Datenerfassung – Mustererkennung – Bewertung

1 Aufgabenstellung und Ziel

Ziel der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen ist es, den Schiffsführer in schwierigen Verkehrssituationen zu entlasten, wodurch sich Leichtigkeit und Sicherheit in der Binnenschifffahrt erhöhen. Darüber hinaus verbessert eine energieeffiziente Fahrweise durch die Optimierung von Fahrroute und Fahrgeschwindigkeit die Wirtschaftlichkeit und Konkurrenzfähigkeit des Verkehrsträgers. Eine wesentliche Voraussetzung bei der Entwicklung derartiger Fahrerassistenzsysteme ist die verlässliche Erfassung und Analyse der aktuellen Verkehrssituation. Diese zu erkennen und zu bewerten ist für den Menschen eine einfach zu leistende Aufgabe, stellt aber für einen Computer eine äußerst anspruchsvolle Aufgabe dar.

Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines Systems zur automatischen Identifizierung charakteristischer Verkehrssituationen aus AIS-Daten und deren Bewertung hinsichtlich ihrer Leichtigkeit und Sicherheit. Das Projekt gliedert sich in die folgenden Abschnitte:

- Aufbau einer geeigneten Infrastruktur (Datenbank) zum Import und zur Speicherung von AIS-Daten.
- Entwicklung automatisierter Auswerterroutinen zur statistisch basierten Analyse von statischen und dynamischen AIS-Daten.
- Entwicklung von Algorithmen zur Mustererkennung für die Identifizierung charakteristischer Verkehrssituationen aus vorliegenden AIS-Daten.
- Automatisierte Bewertung der Leichtigkeit und Sicherheit des Schiffsverkehrs.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Mit der geplanten zentralen Datenbank erhalten das BMVI, die Oberbehörden sowie die Dienststellen der WSV einen einfachen Zugriff auf statistische Auswertungen von Verkehrsdaten, die für vielfältige wasserbauliche und verkehrstechnische Fragestellungen genutzt werden können. Neben dem

Auftragsnummer:

B3953.04.04.70012

Auftragsleitung:

Tarek Beck
tarek.beck@baw.de

Auftragsbearbeitung:

Karim Böttger
karim.boettger@baw.de

Laufzeit:

2016 bis 2020

Einsatz der Software zur adressierten, automatisierten Erkennung und Bewertung von Verkehrssituationen oder den bereits in früheren Projekten behandelten Fragestellungen, wie z. B. die Ermittlung von Flottenstruktur, Liegestellennutzung und Uferabständen, wurde aktuell mit einer neu entwickelten Methode zur Auswertung der Empfangsabdeckung gezielt auf die Anforderungen der GDWS, Bereich Verkehrstechniken, als Infrastrukturbetreiber eingegangen.

3 Untersuchungsmethoden

Zur Umsetzung der einzelnen Projektabschnitte wird in Kooperation mit dem Institut für Schiffstechnik, Meerestechnik und Transportsysteme (ISMT) der Universität Duisburg-Essen eine Software für eine automatisierte, statistisch basierte Analyse der AIS-Daten entwickelt.

Zur Erweiterung der Datenbasis werden neben Pegelinformationen über WISKI die von der WSV online bereitgestellten Transformationstools, wie beispielsweise GnTrans oder der Bundeswasserstraßen-Locator, eingesetzt. Die Mustererkennung sowie die Bewertung der Sicherheit und Leichtigkeit soll mit der Unterstützung durch KI-Modelle ermöglicht werden. Auf der Grundlage einer direkten Datenbankschnittstelle und projektspezifischer Auswertungen wird somit ein Werkzeug entwickelt, mit welchem sich über einfache statistisch basierte Auswertungen hinaus eine Mustererkennung sowie die Bewertung von Sicherheit und Leichtigkeit durchführen lassen.

4 Ergebnisse

Bild 1 zeigt eine exemplarische statistische Auswertung von AIS-Daten von Güterschiffen in einer Teststrecke mit Bezug zu Schiffsgeschwindigkeiten zu Berg und zu Tal. Zusätzlich zu den Schleusungszeiten einschließlich der Ein- und Ausfahrtzeiten wurden die Auswertungen um streckenspezifische Passagezeiten erweitert. Des Weiteren wurde der Algorithmus zur Erkennung von Begegnungen und Überholungen verbessert. Neben diesen Entwicklungen wurde der Bestand von AIS-Daten stetig erweitert.

Einer der Hauptpunkte in diesem Berichtszeitraum war die grundsätzliche Verbesserung der Performance sämtlicher bereits vorhandener Analysen. Kleinere nutzerspezifische Anpassungen zur Verbesserung der Handhabung der Software wurden im Zuge von projektspezifischen Anfragen ebenfalls umgesetzt.

Neben der grundsätzlichen Verbesserung der Performance der AIS-Software wurden Routinen des BAW-Verkehrssimulationsprogramms ShTraSim (Ship-Traffic-Simulation) entwickelt und angewendet. Mit diesen lassen sich AIS-Daten in Bezug auf Flottenstruktur, Verkehrsaufkommen, Weg-Zeit-Verhalten, Schleusenbetrieb und Wartezeiten der Güterschiffahrt über einen längeren Zeitraum abbilden.

Neben der permanenten Erweiterung der Datengrundlage und der Verbesserung der Performance sind erste Testauswertungen bezüglich Mustererkennung geplant.

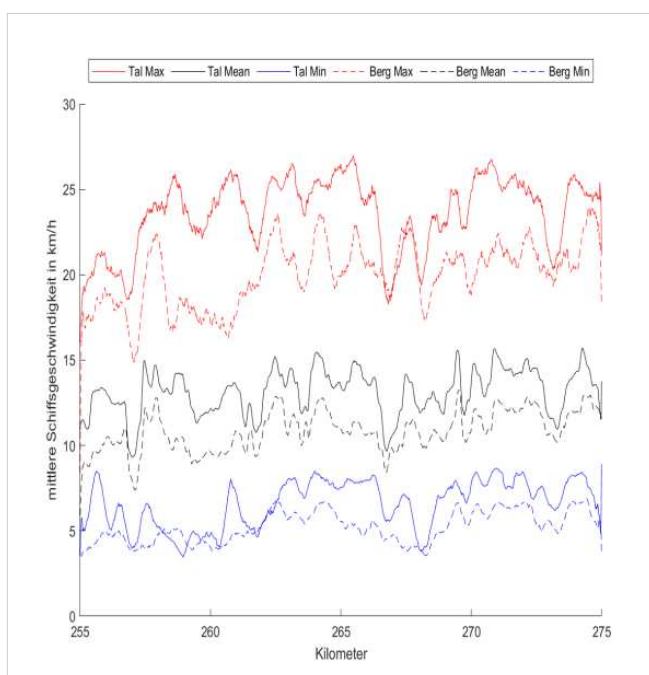


Bild 1: Beispielhafte statistische Auswertung der AIS-Daten anhand der Schiffsgeschwindigkeit einer Teststrecke.

Literatur:

Feierfeil, T.; Hungershöfer, C.; Söhngen, B.; Orlovius, A. (2015): AIS-Messung auf Bundeswasserstraßen. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): 38. Dresdner Wasserbaukolloquium.

Zentralkommission für die Rheinschiffahrt (2015): Ausrüstungsverpflichtung mit Inland AIS Geräten und Inland ECDIS Geräten.



Entwicklung eines neuen Verfahrens zur Modellierung der Strömungen mit freier Oberfläche gekoppelt mit der Umströmung von Schiffen in freifließenden Wasserstraßen

Zusammenarbeit mit der Universität Trient, Italien

1 Aufgabenstellung und Ziel

Gegenstand dieses in Zusammenarbeit mit der Universität Trient (Dipartimento di Ingegneria Civile Ambientale e Meccanica, Università di Trento) bearbeiteten Projektes ist die Entwicklung eines neuen semi-impliziten Finite-Volumen-Verfahrens zur numerischen Simulation von Fluid-Struktur-Wechselwirkungen mit besonderem Fokus auf der Umströmung von Schiffen in freifließenden Binnenwasserstraßen. Im Rahmen dieser Entwicklung erhält die BAW den dokumentierten Quellcode zur gekoppelten Simulation hydrostatischer und nicht-hydrostatischer dreidimensionaler Strömungen mit freier Oberfläche im Nahbereich eines fahrenden Binnenschiffs.

Das zu entwickelnde numerische Verfahren modelliert die Schiffsdynamik über ein System gewöhnlicher Differentialgleichungen, welche die Bewegung eines dreidimensionalen Starrkörpers mit sechs Freiheitsgraden beschreiben. Dieses Differentialgleichungssystem wird in konsistenter Art und Weise mit den Navier-Stokes-Gleichungen mit freier Oberfläche (oder deren hydrostatischer Approximation) gekoppelt, die die Dynamik der Flussströmung beschreiben.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Es handelt sich um eine Entwicklung, die die Möglichkeiten der Modellierung der fahrenden Schiffe in mesoskaliger Betrachtung (z. B. Flussstrecken mittlerer Länge) mit dem Zweck erweitern soll, die Methodik zur Befahrbarkeitsbewertung und Dimensionierung von Wasserstraßen zu verbessern und als Fernziel eine Kopplung an den Schiffsführungssimulator zu realisieren.

Auftragsnummer:

B3953.04.04.70013

Auftragsleitung:

Dr. Jacek A. Jankowski
 jacek.jankowski@baw.de

Auftragsleitung Uni Trient:

Prof. Michael Dumbser
 michael.dumbser@unitn.it

Laufzeit:

2019 bis 2023

3 Untersuchungsmethoden

Die vorgesehenen Arbeitspakete des Projektes 2019 bis 2023 sind:

Arbeitspaket 1 (2019–20): Machbarkeitsstudie anhand eines vereinfachten hydrostatischen zweidimensionalen 2Dxz-Modells. Beschreibung der Schiffsdynamik durch einen 2D-Starrkörper mit einem, zwei und drei Freiheitsgraden. In diesem Arbeitspaket wird angenommen, dass die einzigen auf das Schiff wirkenden Kräfte der Auftrieb und die Schwerkraft sind. Berechnungen einfacher akademischer Testbeispiele mit einfacher Geometrie und Vergleich mit Referenzlösungen aus der Literatur, falls vorhanden.

Arbeitspaket 2 (2020–21): Erweiterung der Software auf drei Raumdimensionen und auf nicht-hydrostatische Strömungen. Beschreibung der Schiffsdynamik durch einen 3D-Starrkörper mit sechs Freiheitsgraden. In diesem Arbeitspaket wird angenommen, dass die auf das Schiff wirkenden Kräfte der Auftrieb, die Schwerkraft und eine bekannte, von außen aufgeprägte Kraft bzw. ein Drehmoment sind. Es wird weiterhin eine vereinfachte Schiffsgeometrie angenommen.

Arbeitspaket 3 (2021–22): Erweiterung auf realistische Schiffsgeometrien. Software-Interface zum Import der Schiffsgeometrie und der nötigen DTM-Daten. Beschreibung der Geometrie auf sub-grid-Ebene. Detaillierte mathematische Modelle für die auf das Schiff wirkenden Kräfte und Drehmomente (Ruder, Vortrieb, Reibungskräfte etc.). Parallelisierung der Software zur Erhöhung der Rechengeschwindigkeit für die realistischen Szenarien aus Arbeitspaket 4.

Arbeitspaket 4 (2022–23): Anwendung der Software auf realistische Testfälle. Die Geometrien der Schiffe und der Flussläufe werden von der BAW zur Verfügung gestellt. Weitere für die Simulation benötigte Parameter und Daten (Reibungskoeffizienten, Volumenstrom im Flusslauf, Schiffsmanöver etc.) werden von der BAW zur Verfügung gestellt bzw. gemeinsam erarbeitet. Vorbereitung einer Veröffentlichung in einer internationalen Fachzeitschrift

4 Ergebnisse

Bis Ende des Jahres 2020 wurden das Arbeitspaket 1 und bereits einige Punkte aus den Arbeitspaketen 2 und 3 ausgeführt. In dieser Phase des Projekts wurde ein neues, semi-implizites Finite-Volumen-Verfahren auf versetzten Netzen für die numerische Lösung von Fluid-Struktur-Wechselwirkungsproblemen entwickelt. Dabei wurde insbesondere die Wechselwirkung von frei schwimmenden Schiffen mit der umgebenden Strömung untersucht.

Der bisher entwickelte Ansatz zur Lösung des geltenden strömungsmechanischen Systems partieller Differentialgleichungen basiert auf der Annahme des hydrostatischen Drucks. Das Schiff selbst wurde mit vereinfachter Geometrie und als starrer Körper mit sechs Freiheitsgraden betrachtet und seine Dynamik wurde anhand eines Systems gewöhnlicher Differentialgleichungen erster Ordnung beschrieben.

Die Differentialgleichungssysteme der Strömung und Schiffsbewegung kommunizieren über die nichtlineare Volumenfunktion und das (hydrostatische) Druckfeld mittels eines effizienten iterativen Verfahrens. Prozesse des Überflutungs- und Trockenfallens sind ein Bestandteil dieses nichtlinearen Algorithmus, wodurch eine wichtige Voraussetzung für die Anwendung des Verfahrens für natürliche Fließgewässer erfüllt wird. Die Masenerhaltung ist global und lokal zu allen Zeitpunkten gewährleistet. Im 1D-Fall bleibt sogar der lineare Impuls vollständig erhalten.

Die Rechengenauigkeit wurde mithilfe von Subgrid-Techniken verbessert, die sowohl für die Gewässerbettsohle, als auch auf die Geometrie des Schiffes angewendet wurden (Casulli 2011). Diese Techniken erlauben eine für die Praxis wichtige Flexibilität zwischen der Genauigkeit und der Rechengeschwindigkeit. Ein wichtiger Teil der Modellentwicklung, die von räumlichen 1D- über 2Dxz- und 2Dxy-Mittelungen bis zum vollen 3D-Fall verlaufen, ist die Validierung mit theoretischen Lösungen anhand vereinfachter Beispiele.

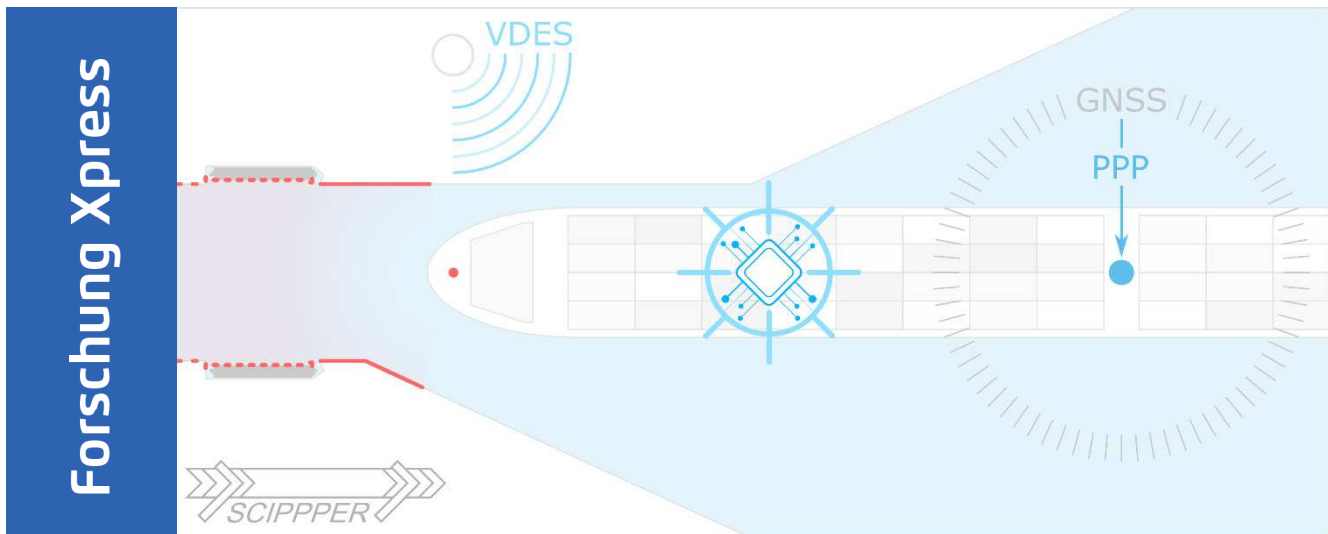
Die aktuellen Arbeiten betreffen die Anwendung von kompilierbaren Programmiersprachen (Fortran) zwecks Vorbereitung für die Ausführung auf Hochleistungsrechnern.

Die bisherigen Entwicklungen wurden im Detail in der Masterarbeit von Brutto (2020) beschrieben.

Literatur:

Casulli, Vincenzo; Stelling, Guus S. (2011): Semi-implicit subgrid modeling of three-dimensional free-surface flows. In: Int. J. Num. Meth. in Fluids, 2011 (67), 441–449.

Brutto, Cristian (2020): Simplified hydrostatic model for ship-river interaction. MSc Thesis, Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica, Università degli Studi di Trento.



Projekt SCIPPER

Schleusenassistentensystem basierend auf PPP und VDES für die Binnenschifffahrt

1 Aufgabenstellung und Ziel

Die Verlagerung des Gütertransports von Straßen und Schienen auf die Binnenwasserstraßen ist ein vielversprechender Lösungsansatz, um die Umweltbilanz des Güterverkehrs zu verbessern. Um international wettbewerbsfähig zu bleiben und den Technologiestandard des Verkehrsträgers Wasserstraße an die üblichen Verkehrsträger anzupassen, sind modern ausgestattete Transportwege aber auch innovative Techniken an Bord eines Binnenschiffes notwendig.

Die Schleusung ist eines der häufigsten, aber auch kritischsten Manöver in der Binnenschifffahrt. Typisch für die Wasserstraßen in Deutschland ist die Situation, dass ein 11,40 m breites Schiff in eine 12 m breite Schleusenammer einfährt. Die Zeit, die das Schiff für die Schleuseneinfahrt und -ausfahrt benötigt, nimmt einen beträchtlichen Teil der Fahrtzeit bis zum Zielort ein. Eine Automatisierung dieses Vorgangs zielt zum einen auf eine Erhöhung der Leichtigkeit und zum anderen auf eine Beschleunigung des gesamten Schleusungsvorganges.

Technologische Basis für die neue Fahrerassistenzfunktion ist die Bereitstellung von zuverlässigen und hochgenauen Informationen zur Position, Lage und Geschwindigkeit des Binnenschiffes durch Auswertung der Signale des Global Navigation Satellite System (GNSS) mittels des Verfahrens Precise Point Positioning (PPP). Die hierfür notwendigen Korrekturdaten sollen über den neuartigen Datenkanal VHF Data Exchange (VDE) zur Verfügung gestellt werden. Dieser ist Bestandteil des neuen VHF Data Exchange Systems (VDES). VDES offeriert ein bidirektionales Kommunikationssystem zwischen Schiffen, zwischen Schiffen und Landstationen sowie zwischen Schiffen und Satelliten. Der VDE Datenkanal eröffnet mit seinen neuen Übertragungskapazitäten neue Perspektiven für die Binnenschifffahrt. Da es hierfür weltweit noch keine Produkte für die Sende- und Empfangseinheiten gibt, bietet sich die Möglichkeit, anhand einer konkreten Pilotanwendung innovative Technologien für zukünftige Produkte zu entwickeln.

Auftragsnummer:

B3953.04.04.70014

Auftragsleitung:

Dr. Alexander Bernath
 alexander.bernath@baw.de

Auftragsbearbeitung:



Tobias Höfler
 tobias.hoefler@baw.de

Laufzeit:

2019 bis 2021

Projektseite:

scipper.de

Projektpartner:

Alberding GmbH
 Argonics GmbH
 in-innovative-navigation GmbH
 DLR
 FVT der WSV
 Weatherdock AG

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Im Fall positiver Ergebnisse im Projekt SCIPPPER entstehen diverse Nutzungsmöglichkeiten für die WSV, so z. B. die Zuverlässigkeit des Assistenzsystems aus erster Hand zu beurteilen sowie die geplante VDES-Infrastruktur auf störungsfreie Integration mit der bestehenden Infrastruktur für das Automatic Identification System (AIS) vorzubereiten. Letztere Forschung liefert zudem kurz- und mittelfristige Beiträge für Standardisierungs-gremien. Darüber hinaus kann mittel- und langfristig erwartet werden, dass das in diesem Projekt entwickelte Fahrerassistenzsystem einen Beitrag zur Erhöhung der Leichtigkeit und Sicherheit der Binnenschifffahrt bietet sowie dass die Unfallzahlen im Zusammenhang mit Brückenanfahrten verringert werden können und die damit einhergehenden Kosten für die Binnenschifffahrt und für die WSV verringert werden. Erkenntnisse aus der VDES-Entwicklung können für zukünftigen Infrastrukturaufbau unmittelbar genutzt werden.

3 Untersuchungsmethoden

An der BAW erfolgt die Simulation der automatisierten Schleusung in diversen Testszenarien am Schiffsführungssimulator. Hierfür werden Schiffsführer virtuelle Schiffe unter verschiedensten Umweltbedingungen mit und ohne Assistenzsystem durch die Testreviere steuern. Auf diese Weise sollen die Funktionen des Reglers und des Mensch-Maschine-Interface validiert werden, bevor die Installation auf einem realen Schiff vorgenommen wird. Dieser Teil des Assistenzsystems wird von den Projektpartnern Argonics GmbH und in-innovative-navigation GmbH entwickelt und beinhaltet einen Sensor-Simulator für Nahbereichsradar und Laserscanner, als Erweiterung des Schiffsführungssimulators. Das System wird mit Daten aus dem Schiffsführungssimulator beschickt, berechnet Sensormessungen, wertet diese aus, leitet Steuerbefehle für Ruder, Hauptmaschine und Bugstrahlruder ab und sendet diese an den Simulator zurück. Der Schiffsführer wählt hier lediglich die gewünschte Liegeposition und überwacht den Vorgang, kann aber im Notfall durch Betätigung der Steuerorgane die Befehle des Reglers überschreiben. Durch Aufzeichnung der Fahrten kann ein Vergleich zwischen Messfahrten in der Realität und den simulierten Fahrten gezogen werden. Parallel dazu untersuchen und entwickeln die Projektpartner Alberding GmbH, das Institut für Kommunikation und Navigation des DLR, die Fachstelle der WSV für Verkehrstechnik (FVT) sowie die Weatherdock AG die „Precise Point Positioning“-Auswertung sowie die VDES-Kommunikation. Letztere muss zunächst auf Ihre Vereinbarkeit mit der bestehenden AIS-Infrastruktur getestet und optimiert werden. Zuletzt werden beide Teilsysteme in einer gemeinsamen Installation auf einem realen Schiff geprüft und bewertet werden.

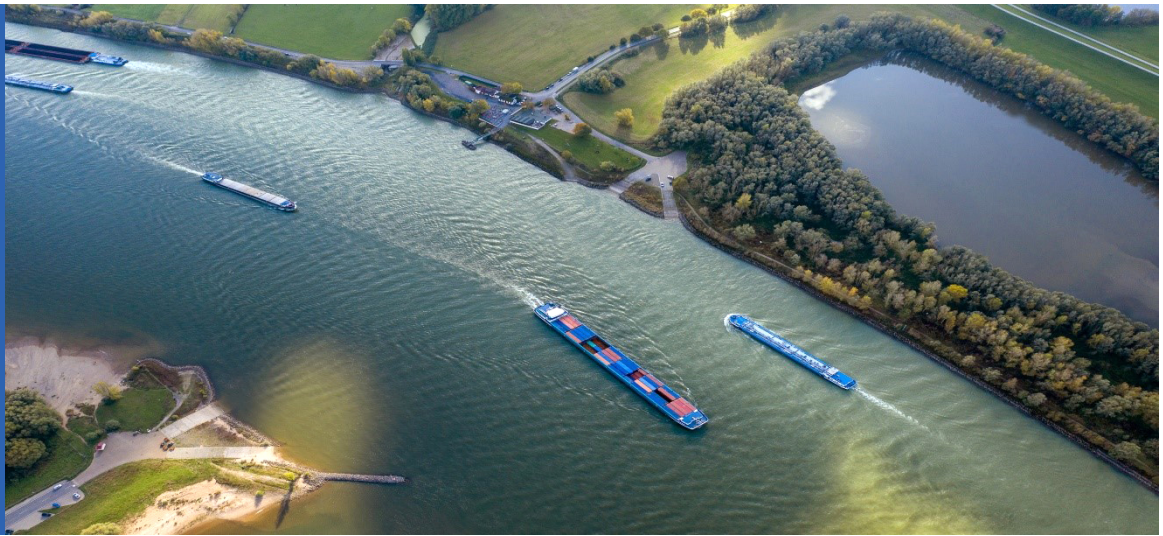
4 Ergebnisse

Zum aktuellen Zeitpunkt wurde ein Anforderungskatalog definiert, die Systemarchitektur bestimmt und Schnittstellen spezifiziert. Weiterhin liegen Messungen von initialen Testfahrten vor, während derer verschiedene Nahbereichssensoren und GNSS-Empfänger auf ihre Eignung hin untersucht wurden.

In Hinsicht auf den Schiffsführungssimulator wurde mit der Modellierung des Fahrtreviers Koblenz begonnen. Es umfasst Rhein und Mosel in einem Radius von 15 km vom Deutschen Eck, beinhaltet 2 Staustufen, 14 Brücken, sowie diverse besondere Landmarken. Für all diese müssen Pläne gesammelt, 3D-Modelle erstellt und Animationen konfiguriert werden (z. B. Schleusensteuerung, aber auch Beleuchtung der Schifffahrtszeichen). Eingangsdaten wie ein digitales Geländemodell, Orthofotos, digitale Bundeswasserstraßenkarten, offizielle IENC-Karten und Bebauungspläne sind zusammengetragen; ein Strömungsmodell ist in Arbeit. Darüber hinaus werden neue Schiffsmodelle angefertigt und fahrdynamisch konfiguriert; das Modell der MS Bingen der WSA Bingen (abgebildet in Bild 1) wird momentan bearbeitet



Bild 1: 3D-Modell des Arbeitsschiffes MS Bingen des WSA Bingen. Modell i. A. der BAW angefertigt von mach:idee (machidee.de).



Entwicklung eines Verkehrssimulationsmodells auf Binnenwasserstraßen

Untersuchung des Verkehrsflusses mit KI-Anwendung

1 Aufgabenstellung und Ziel

Die Untersuchung von Verkehrsströmen ist eine wichtige Komponente für verkehrliche und wirtschaftliche Untersuchungen an Binnenwasserstraßen. Verkehrssimulationsmodelle ermöglichen es, auch unbeobachtete Verkehrsflüsse zu analysieren und zukünftige Entwicklungen zu prognostizieren. Als Beispiele sind Engstellenanalysen sowie Untersuchungen zu Flottenstrukturen, Verkehrskapazitäten und Transportmengen zu nennen. Eine Veränderung der Flottenstruktur kann durch unterschiedliche Faktoren begründet sein. Dies sind zum einen langzeitige Entwicklungen, wie die Tendenz zu größeren Schiffen oder mögliche Anpassungen an klimatische Änderungen, und zum anderen kurzzeitige Einflüsse, wie extreme Wetterlagen und Wasserstände oder wirtschaftliche Konjunkturphasen. Verkehrliche Engstellen können durch Havarien, Baumaßnahmen, aber auch Fehltiefen verursacht sein. Alle diese Faktoren wirken sich auf die verkehrliche Leistungsfähigkeit der Wasserstraße und die Transportmengen aus.

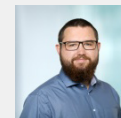
Das vorliegende FuE-Vorhaben „Entwicklung eines Verkehrssimulationsmodells auf Binnenwasserstraßen“ befasst sich mit der Entwicklung eines Verkehrssimulationsmodells für den Niederrhein. Die Fahrwasserbreite und Verkehrsdichte im Projektgebiet erfordern die Simulation eines nicht-spurbundenen Verkehrs und stellen zentrale Parameter für die Modellentwicklung dar.

In Kooperation mit der „Professur für Ökonometrie und Statistik, insbesondere im Verkehrswesen“ der TU Dresden wird ein sogenanntes Mikrosimulationsmodell für Binnenwasserstraßen PERSIST (Performant Simulation of Inland Ship Traffic) entwickelt, welches vorrangig am Niederrhein, darüber hinaus aber auch an anderen Wasserstraßen angewendet werden soll. Ein Vorgängermodell wurde im Rahmen des Expertennetzwerks des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur vom genannten Lehrstuhl entwickelt.

Auftragsnummer:

B3953.04.04.70015

Auftragsleitung:



Hauke Stachel
 hauke.stachel@baw.de

Auftragsbearbeitung:



Fabian Hart
 fabian.hart@tu-dresden.de

Laufzeit:

2019 bis 2023

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Durch die Weiterentwicklung des Verkehrssimulationsmodells können auch an breiten, hochfrequentierten Abschnitten Breiten- und Tiefenengstellen identifiziert werden, die die Kapazität der Wasserstraßen vermindern. Zudem können Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs unter Berücksichtigung veränderter hydrologischer Bedingungen, z. B. infolge des Klimawandels, untersucht werden. Damit erhält die WSV frühzeitig Informationen über potentielle verkehrliche Engstellen, die die Sicherheit, Leichtigkeit und Wirtschaftlichkeit der Binnenschifffahrt einschränken könnten. Die Verkehrssimulation ist darüber hinaus ein Werkzeug, mit dem sich z. B. im Rahmen einer Schleusenzulaufsteuerung voraussichtliche Ankunftszeiten (ETA = estimated time of arrival) von Schiffen an Schleusen ermitteln lassen.

3 Untersuchungsmethoden

Ein wesentlicher Aspekt des Verkehrssimulators besteht in der Möglichkeit, Trajektorien zu generieren, welche die realen Schiffstrajektorien möglichst genau abbilden sollen. Dafür ist es im ersten Schritt notwendig, die verfügbare Verkehrsfläche zu bestimmen. Diese ist abhängig von der Wassertiefe, von anderen Verkehrsteilnehmern und vom fahrdynamischen Absinken des Schiffs. Unter der Berücksichtigung der verfügbaren Verkehrsfläche werden mittels geeigneter Stützpunkte Trajektorien als kubische Splines generiert, welche den fahrdynamischen Eigenschaften des Schiffsmodells Rechnung tragen. Um komplexe Verkehrsmanöver wie z. B. Überholungen an Engstellen möglichst genau abbilden zu können, ist die Wahl geeigneter Trajektorienstützpunkte von zentraler Bedeutung. Sobald ein Schiff den nächsten Stützpunkt der geplanten Trajektorie erreicht, erfolgt eine Neuplanung der Trajektorie. Die Aufgabe der Stützpunktplanung übernimmt ein Neuronales Netzwerk, welches mittels Reinforcement Learning trainiert wurde. Zum Einsatz kommt ein „Double Deep Q Agent“ (van Hasselt 2010), welcher – basierend auf der voraus verfügbaren Verkehrsfläche unter Beachtung ausreichender Sicherheitsabstände zu seichem Wasser, anderen Schiffen oder sonstigen Hindernissen – einen geeigneten Stützpunkt ermittelt. Für das Training des selbstlernenden Systems ist die Modellierung der Belohnungsfunktion von entscheidender Bedeutung. Diese wurde so definiert, dass die Stützpunktwahl „belohnt“ wird, wenn ein Schiff möglichst geradlinig sowie tendenziell rechts bzw. links (je nach Gebot) fährt. Eine „Bestrafung“ während der Selbstlernphase erfolgt, wenn das Schiff auf ein Hindernis (Ufer, andere Schiffe, ...) trifft. Die Belohnungsfunktion soll in Zukunft so erweitert werden, dass Trajektorien bevorzugt werden, welche den Energieaufwand und damit auch die Schiffsemissionen verringern.

4 Ergebnisse

Mit den derzeitigen Möglichkeiten des Simulators lassen sich bereits Schiffsverkehre für mehrere Verkehrsteilnehmer simulieren. Bild 1 zeigt beispielhaft ein Überholmanöver zweier Schiffe. Anhand der verfügbaren Verkehrsfläche (grau) plant das Schiff 1 die Trajektorie so, dass genügend Abstand zum vorausfahrenden Schiff 2 eingehalten wird. Die mit dem Simulator bislang mögliche Trajektorienplanung stützt sich auf einfache und intuitive Verkehrsregeln, wie Rechts-/Linksfahrgebot, feste Sicherheitsabstände etc., jedoch ohne Berücksichtigung der Fahrdynamik. In Zukunft sollen die geplanten Trajektorien die Strömungs- und Fahrdynamik berücksichtigen und mit realen Schiffspfaden anhand von AIS-Daten verglichen werden, um das bestehende System anzupassen und so eine realistischere Trajektorienplanung zu ermöglichen.

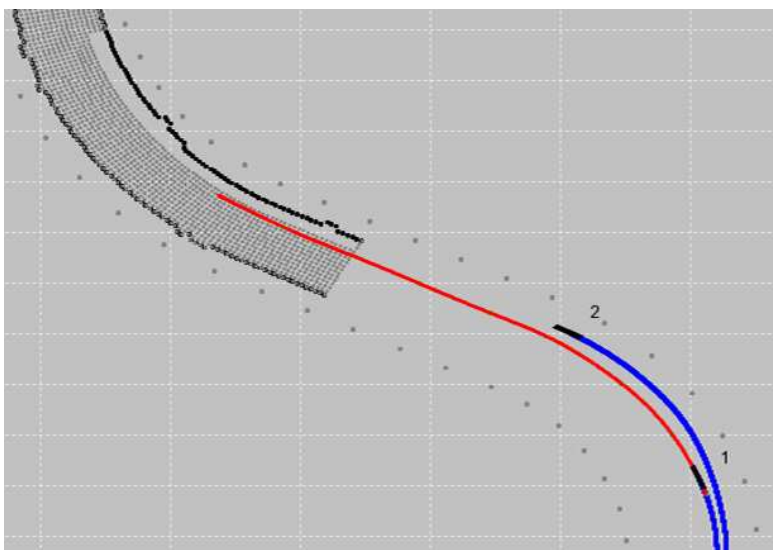


Bild 1: Überholmanöver zweier Schiffe. Blau dargestellt die zurückgelegte Strecke, rot die geplante Trajektorie von Schiff 1. Die graue, geraserte Fläche zeigt die verfügbare Verkehrsfläche an.

Literatur:

van Hasselt, H. (2010): Double Q-learning. In: Advances in Neural Information Processing Systems Vol. 23, S. 2613–2621.



Automatisierung in der Binnenschifffahrt

Entwicklung einer virtuellen Testumgebung

1 Aufgabenstellung und Ziel

Mit der fortschreitenden Digitalisierung steigen in vielen Bereichen von Industrie und Forschung die Anwendung und die Nutzbarkeit von automatischen und (teil-)autonomen Systemen. Insbesondere im Transportsektor ist die Automatisierung von Fahrzeugen ein Thema, das seit vielen Jahren in unterschiedlichen Ausprägungen untersucht wird. In der Automobilbranche sind zahlreiche Assistenzsysteme bereits im Einsatz und der Schritt zur Vollautomatisierung wird vielfach zumindest in Versuchen umgesetzt. In der Schifffahrt ist der maritime Sektor im Vergleich zur Binnenschifffahrt deutlich weiter fortgeschritten, was u. a. mit der Größe des Marktes und damit auch dem Nutzen einer Automatisierung zusammenhängt. In der Binnenschifffahrt sind zurzeit nur vereinzelt Fahrassistenzsysteme zur Unterstützung des Schiffsführers im Einsatz, was einer eher niedrigen Stufe der Automatisierung entspricht (ZKR 2018). Einer der Treiber der Automatisierung ist die Chance, durch Personaleinsparungen das Problem von fehlenden Nachwuchskräften zu kompensieren. Mit einem Fortschreiten der Automatisierung ist zudem die Erwartung verbunden, die Sicherheit und Wirtschaftlichkeit durch eine optimierte Fahrweise zu erhöhen. Auch eine Entlastung des Schiffsführers würde zu dieser Erwartung beitragen.

Das übergeordnete Ziel des hier bearbeiteten Projektes ist die Entwicklung einer echtzeitfähigen, fahrdynamischen Simulationssoftware als Teil eines Virtuellen Testfelds. Ein solches Testfeld bietet Möglichkeiten, sicher und in einer kontrollierten Umgebung ein Schiff durch einen Flussabschnitt zu steuern. Dabei können dann verschiedene Szenarien wie Hindernisse oder Interaktionen zwischen den Schiffen (Begegnungen/Überholungen) erprobt werden. Um Versuche in der Natur durchzuführen, sind Tests mit einem Messträger des Referats W4 angedacht.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Durch die Entwicklung eines Virtuellen Testfelds können die Randbedingungen aus Sicht einer automatisierten Binnenschifffahrt für verschiedene Themen identifiziert bzw. definiert werden. So kann z. B. auch eine Beratung der WSV bezüglich der Infrastruktur wie zusätzliche oder angepasste Sendeanlagen für

Auftragsnummer:

B3953.04.04.70016

Auftragsleitung:

Dr. Alexander Bernath
 alexander.bernath@baw.de

Laufzeit:

2019 bis 2022

AIS (Automated Identification System) oder VDES (VHF Data Exchange System) stattfinden. Daneben können Themen wie das autonome Messen fachlich fundiert unterstützt werden. Die Bereitstellung von hochaktuellen Messdaten durch die WSV ist sehr personal- und ressourcenaufwendig. Im Virtuellen Testfeld können beispielsweise potentielle Konzepte, die das autonome Messen von automatisierten Plattformen aus ermöglichen, erprobt werden.

3 Untersuchungsmethoden

Im Projekt wird eine fahrdynamische Steuerungssoftware entwickelt, die in einer virtuellen Umgebung getestet wird. Um einen höheren Grad der Automatisierung zu erhalten, ist zuerst eine Definition der technischen Anforderungen nötig. So müssen Fragen zu Hardwarekomponenten wie Mess- und Sensortechnik, aber auch Kommunikation und zugehöriger Software geklärt werden. Für eine autonome Schiffssteuerung werden zusätzlich genaue Daten der Infrastruktur benötigt, wie Strömungs- und Geländemodelle sowie Bauwerksdaten. Diese Daten und Untersuchungen werden auch mit den Erfahrungen aus anderen existierenden oder beantragten Projekten abgestimmt. Mit diesen Daten und Untersuchungen ist ein Aufbau der Steuerungssoftware in drei Schritten geplant.

Der erste Schritt ist die Prognose des potentiellen Kurses anderer Fahrzeuge mithilfe von AIS-Daten. Aus den AIS-Informationen eines (Fremd-)Schiffes wird zu Beginn eine Wahrscheinlichkeitsverteilung, an welchem Ort sich das Schiff nach einer gewissen Zeit befindet, in Echtzeit errechnet. Die verschiedenen Fahrweisen unterschiedlicher Schiffsklassen bei variierenden Tiefgängen können eine große Streuung der Kurslinien verursachen (Bild 1). Die zur Bestimmung nötigen fahrdynamischen Grundlagen können aus dem in der BAW entwickelten und eingesetzten Modellverfahren FaRAO (Fahrdynamische Routenanalyse und Optimierung) übernommen bzw. wenn nötig adaptiert werden (Linke 2015). Mit einer guten Prognose eines Schiffes sollen Schiff-Schiff-Interaktionen wie Begegnungen oder Überholungen betrachtet werden. Das eigene Schiff soll stets sicher auf eine Störung (Begegnung, Vorbeifahrtsituation) reagieren können. In der normalen Streckenfahrt ohne kritische Begegnung, die einen Großteil der Fahrzeit ausmacht, ist eine auf der Grundlage der verfügbaren Infrastrukturdaten optimierte, treibstoffsparende Fahrweise das Ziel.

Als finales Arbeitspaket sollen mehrere Schiffe im Virtuellen Testfeld eingesetzt werden und z. B. eine mit AIS-Daten aufgezeichnete Situation störungsfrei bewältigt werden.

4 Ergebnisse

Das Projekt ist im Oktober 2019 gestartet. Ergebnisse liegen zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht vor.

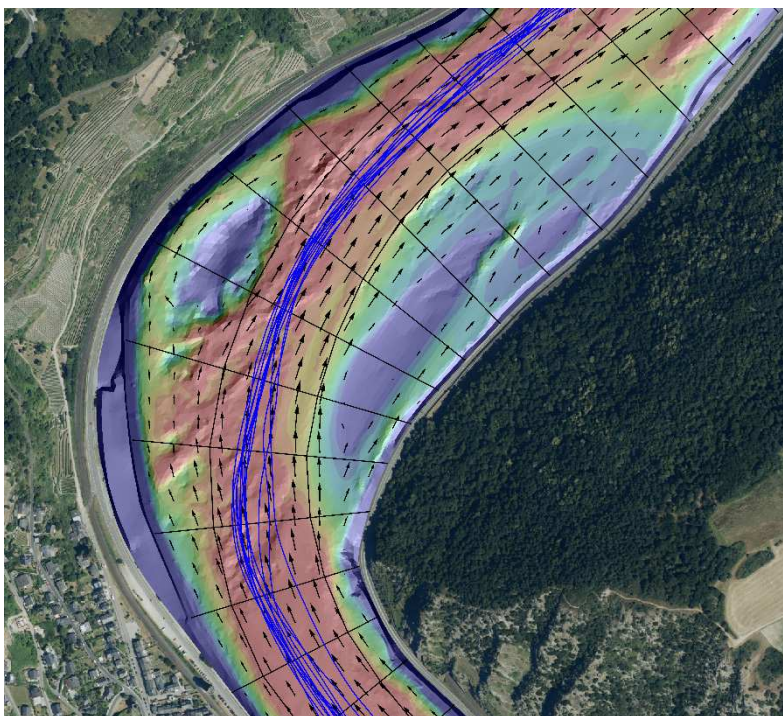


Bild 1: Streuung von aufgezeichneten Fahrspuren (blau) eines üGMS bei Mittelwasser in der Bergfahrt.

Literatur:

Linke, T.; Rauscher, D.; Söhngen, B. (2015): Recent developments in the application of shallow water ship hydrodynamics in inland waterway design. SMART RIVERS Conference. Buenos Aires.

ZKR (2018): Erste internationale Definition der Automatisierungsgrade in der Binnenschifffahrt. ZKR-Pressemitteilung. Straßburg.



Binnenschiffsemissionen (BinEm)

Entwicklung eines Verfahrens zur Berechnung von Binnenschiffsemissionen

1 Aufgabenstellung und Ziel

Die vom Verkehr emittierten Treibhausgase und Luftschadstoffe tragen wesentlich zur anthropogenen Gesamtemission bei. Im Rahmen eines Forschungsvorhabens von BAW und Universität Duisburg-Essen wird ein Verfahren zur Berechnung der Schadstoffemissionen von Binnenschiffen entwickelt, um die Beiträge mit denen anderer Verkehrsträger vergleichen sowie Emissionsminderungsmaßnahmen bewerten zu können. Das zu entwickelnde Verfahren und die entsprechenden Module wurden in Noß und Lantermann (2020) ausführlich erläutert. Zusammengefasst hängen die leistungsbezogenen Emissionen eines Schiffs neben seiner Propulsionsgüte maßgeblich vom hydraulischen Widerstand ab. Obwohl zahlreiche Ansätze zur Beschreibung des Schiffswiderstands im Tiefwasser existieren, gibt es bisher keine allgemeingültige Methode, den Widerstand von Binnenschiffen unter Flachwasserbedingungen umfassend zu beschreiben. In der ersten Phase des BinEm-Projekts steht daher die Entwicklung einer passenden Methode zur Widerstandsberechnung im Vordergrund.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Mit dem Binnenschiffs-Emissionsmodell steht der BAW eine Methode zur Verfügung, mit der sich der Anteil der Binnenschifffahrt an den Luftschadstoffen z. B. in einer städtischen Region oder der Erfolg von Emissionsminderungsmaßnahmen, auch unter veränderten Umweltbedingungen, quantifizieren lassen. Auf Basis dieser Ergebnisse können Entscheidungsträger in BMVI und GDWS erfolversprechende Maßnahmen zur Minderung von Binnenschiffsemissionen gezielt ableiten, geltende Vorschriften anpassen oder neue erlassen.

3 Untersuchungsmethoden

Der BAW liegen deutschlandweit aufgezeichnete Signale des automatischen Identifikationssystems AIS sowie detaillierte Daten und Modelle zu Tiefen und Strömungen in Wasserstraßen vor. Um Emissionen von Binnenschiffsverkehr in Regionen und auf Teilstrecken des Wasserstraßennetzes

Auftragsnummer:

B3953.04.04.70017

Auftragsleitung:

Dr. Christian Noß
 christian.noss@baw.de

Auftragsbearbeitung:

Benjamin Kossmann
 benjamin.kossmann@uni-due.de

Laufzeit:

2019 bis 2022

bestimmen zu können, müssen Eingangsparameter der erforderlichen Widerstandsberechnung aus diesen Datensätzen abgeleitet werden. AIS-Daten geben Auskunft zu Schiffsabmessungen und Schiffsbewegungen, woraus sich schiffstypische Koeffizienten sowie Geschwindigkeiten über Grund ermitteln lassen. Letztgenannte ergeben mit Strömungsdaten die Schiffsgeschwindigkeiten durch Wasser, welche zusammen mit Tiefeninformationen und den Schiffsmaßen und -koeffizienten der Abschätzung von Widerständen dienen.

4 Ergebnisse

Der Gesamtwiderstand eines Schiffs R_T setzt sich aus den Anteilen des Reibungswiderstands, des Druckwiderstands und des Wellenwiderstands zusammen. Übliche Methoden zur Ermittlung des Schiffswiderstands für Seeschiffe berücksichtigen keine Flachwasserbedingungen, wie sie auf Binnenwasserstraßen anzutreffen sind und den Widerstand von Binnenschiffen maßgeblich beeinflussen (SVA 2016). Zusätzlich unterscheiden sich Binnenschiffe und Seeschiffe substanziell in der geometrischen Form. Aus diesen Gründen sind diese Methoden nicht ohne Weiteres auf Binnenschiffe anwendbar. Die Formfaktormethode

$$R_T = c_T \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_s^2 \cdot S = (c_w + (1 + k) \cdot c_F) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_s^2 \cdot S \quad (1)$$

erlaubt die Berechnung des Widerstands auf Basis des Gesamtwiderstandsbeiwertes c_T bzw. des Wellen- c_w und des Reibungswiderstandsbeiwertes c_F sowie des Formfaktors k . ρ kennzeichnet die Dichte des Wassers, v_s die Schiffsgeschwindigkeit durch Wasser und S die benetzte Oberfläche des Rumpfes. Diese Methode bietet die Möglichkeit, mithilfe numerischer Modellierungen (CFD) die Koeffizienten für verschiedene Schiffstypen und Randbedingungen, wie dem Verhältnis zwischen Wasser- und Abladetiefe h/T , zu bestimmen und als empirische Funktionen darzustellen. Die für die Emissionsberechnung essenziellen Widerstände lassen sich dann für jedes beobachtete Schiff an einer Position mit entsprechender Geschwindigkeit und zugehörigem Wasserstand, d. h. auf Basis der oben genannten Datengrundlage, berechnen. Das gewählte numerische Verfahren basiert auf dem k - ω -Verfahren und modelliert die einzelnen Widerstandsanteile. In einem ersten Schritt wurden die Widerstandsanteile auf Basis eines Gitters mit 3 Mio. Zellen für zwei Modellschiffe im Maßstab 1:16, bei drei h/t -Verhältnissen und zwei Geschwindigkeiten modelliert (Bild 1).

Aktuell laufen weitere CFD-Widerstandssimulationen, mit denen empirische Beziehungen der Koeffizienten in Gl. 1 entwickelt werden. Die Simulationsergebnisse werden mit vorliegenden Modellversuchswerten verglichen. Abschließend erfolgt eine Validierung mit einer Großausführung. Im nächsten Schritt auf dem Weg zur Emissionsbestimmung wird die Propulsionsgüte in Abhängigkeit des Schiffseinflussgrads sowie der Anordnung und des Wirkungsgrads der Propulsionsorgane auf Basis o. g. Datengrundlage ermittelt.

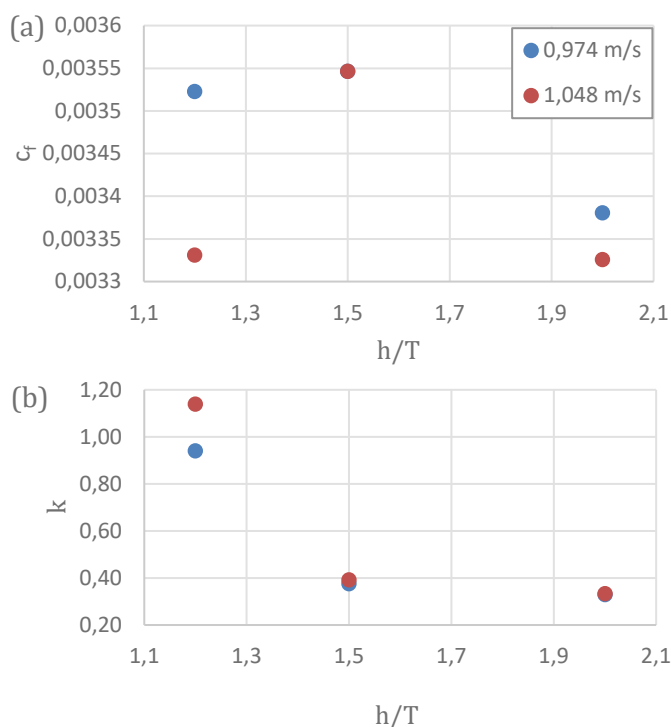


Bild 1: Vorläufige Ergebnisse der numerischen Simulation des Reibungswiderstandsbeiwertes c_f (a) und des Formfaktors k (b) in Abhängigkeit des Wasser- zu Abladetiefen-Verhältnisses h/T für zwei Schiffsgeschwindigkeiten durch Wasser.

Literatur:

Noß, C.; Lantermann, U. (2020): Binnenschiffsemissionen (BinEm) – Entwicklung eines Verfahrens zur Berechnung von Binnenschiffsemissionen, BAW (Hg.): Forschung Xpress 16/2020

SVA (2016): Flachwasser, Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam, Deutschland; Abgerufen 16.11.2020 von <https://www.sva-potsdam.de/flachwasser/>



Langfristsimulation in Fließgewässern

Entwicklung eines voll impliziten Verfahrens zur Simulation der langfristigen und großräumigen Sohlentwicklung in Fließgewässern

1 Aufgabenstellung und Ziel

Die zuverlässige Langfristsimulation der Hydro- und Morphodynamik in Fließgewässern setzt neben einem robusten und zuverlässigen numerischen Verfahren die Berücksichtigung der Modellunsicherheiten voraus. Modellunsicherheiten haben unterschiedliche Ursachen. Ein klassisches Beispiel sind fehlerhafte oder ungenügende Eingangsdaten. In der Praxis muss zum Beispiel die räumliche Sedimentverteilung aus wenigen punktuellen Messungen geschätzt werden. Eine wesentliche Unsicherheit bei der Langfristsimulation stellen die hydraulischen Randbedingungen (Zuflussganglinien) dar, die für die Simulation der zukünftigen Sohlentwicklung angesetzt werden. Die zukünftigen hydraulischen Randbedingungen sind unbekannt und müssen daher künstlich erzeugt werden. Ganz unabhängig von der Beschreibung des Anfangszustands hängt der Endzustand entscheidend von der verwendeten Zuflussganglinie ab. Für belastbare Aussagen über die langfristige Sohlentwicklung reicht es daher nicht aus, eine einzelne Simulation mit lediglich einer Ganglinie durchzuführen. Belastbare Prognosen sind nur möglich, wenn die Variabilität der hydraulischen Randbedingungen berücksichtigt wird. Dafür eignen sich Ensemble-Rechnungen, auf deren Grundlage die Prognoseunsicherheit abgeschätzt werden kann.

Ziel des FuE-Vorhabens ist es, ein zweidimensionales, voll implizites numerisches Verfahren zu entwickeln, mit dem die langfristige und großräumige Sohlentwicklung in Fließgewässern simuliert werden kann. Es soll bei angemessener Genauigkeit größere Zeitschrittweiten als bisherige Verfahren erlauben, um die Rechengeschwindigkeit soweit zu steigern, dass Ensemble-Rechnungen möglich werden. Die langen Rechenzeiten aktueller Verfahren verhindern bislang die Durchführung von Ensemble-Rechnungen.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Fragestellungen der WSV, die eine langfristige und großräumige Prognose der Entwicklung der Gewässersohle erfordern, könnten in Zukunft mithilfe impliziter numerischer Verfahren beantwortet werden. Durch die verkürzten

Auftragsnummer:

B3953.05.04.70004

Auftragsleitung:

Dr. Leopold Stadler
 leopold.stadler@baw.de

Laufzeit:

2016 bis 2021

Rechenzeiten lassen sich längere Zeiträume modellieren und Unsicherheiten, wie sie etwa in den Anfangs- und Randbedingungen vorliegen, mithilfe statistischer Methoden untersuchen. Die Möglichkeit, Ensemble-Rechnungen durchzuführen, würde die Belastbarkeit der Modellaussagen erheblich steigern.

3 Untersuchungsmethoden

Für die Untersuchungen wurden in der BAW ein voll implizites und ein explizites 2D-Finite-Volumen-Verfahren für die Simulation der Hydrodynamik entwickelt. Beide Verfahren verfügen über eine MPI-Parallelisierung und können somit auf den BAW-eigenen Hochleistungsrechnern (Bild 1) eingesetzt werden. Als Basis für die Verfahrensentwicklung dient die numerische Toolbox Dune (Blatt et al. 2016), durch deren Nutzung die Entwicklungszeit drastisch reduziert werden konnte. Dune beinhaltet neben fertigen Modulen für die räumliche und zeitliche Diskretisierung auch die notwendigen linearen und nichtlinearen Gleichungslöser.

Vor der Implementierung des morphodynamischen Modells muss zunächst geklärt werden, ob die voll implizite Diskretisierung zu einer Steigerung der numerischen Effizienz führt und ob bei den erforderlichen großen Zeitschrittweiten die Qualität der Ergebnisse dennoch mit den Ergebnissen eines expliziten Modells vergleichbar bleibt. Um die Effizienz und Qualität des entwickelten impliziten Verfahrens zu bewerten, bedarf es eines Vergleichs der hydrodynamischen Ergebnisse zwischen dem voll impliziten Verfahren, dem expliziten Verfahren sowie den aktuell in der Abteilung Wasserbau eingesetzten Verfahren.

Der Vergleich wird anhand einer Reihe von Standardtestfällen durchgeführt. Zusätzlich erfolgt eine Validierung an einem Rheinabschnitt im Rahmen des WSV-Auftrags „Geschiebezugabe mittlerer Niederrhein“. Dabei wird unter anderem untersucht, wie groß die Zeitschrittweiten für das implizite Verfahren an den für die Fragestellung typischen Bundeswasserstraßen gewählt werden können. Im letzten Schritt soll die Wirksamkeit von Ensemble-Rechnungen für die Prognose und Sensitivitätsanalyse untersucht werden.

4 Ergebnisse

Mit der Überführung der im FuE-Projekt „Langfristsimulation in Fließgewässern“ entwickelten Methoden und Ansätze für die zweidimensionale hydrodynamisch-numerische Modellierung in das Dune-Modul DuMux befindet sich dieses FuE-Projekt kurz vor seinem Abschluss. Die für die Langfristsimulation benötigte Erweiterung für den Sedimenttransport wird im FuE-Vorhaben „Implementierung numerischer Verfahren für flussbauliche Fragestellungen in der Entwicklungsumgebung DUNE“ entwickelt. Dank des modularen Aufbaus von DuMux kann diese Erweiterung später direkt mit dem fertiggestellten hydrodynamisch-numerischen Modell gekoppelt werden.

Für die Anwendung von Simulationsverfahren ist es besonders wichtig, eine benutzerfreundliche Applikation zur Verfügung zu stellen. Hierzu wurde für die BAW mit DuMux-ShallowWater zusätzlich eine flexible und leistungsfähige Applikation auf Basis von DuMux geschaffen. DuMux-ShallowWater wird seit Anfang des Jahres in einem ersten WSV-Projekt eingesetzt, bei dem die Strömung im Rhein im Bereich der Moselmündung untersucht wird. Während des Einsatzes konnten erste Erfahrungen gesammelt werden. Als besonders praktisch hat sich erwiesen, dass sich Verbesserungsvorschläge und Wünsche der Anwender zeitnah in die Software integrieren lassen.

Das im WSV-Projekt eingesetzte Rechengitter besteht aus über 2,8 Millionen Elementen. Unter Verwendung der neu veröffentlichten Version DuMux 3.2 und den somit neu verfügbaren parallelen Gleichungslösern zeigt sich die exzellente Skalierbarkeit und Rechengeschwindigkeit des Verfahrens. Für die Berechnungen können problemlos mehrere tausend Rechenkern gleichzeitig eingesetzt werden, um die Rechenzeit zu reduzieren. Das neue Verfahren ist jedoch bereits mit wenigen hundert Rechenkernen so schnell, dass typische Aufgabenstellungen in weniger als einer Stunde simuliert werden können. Die vorläufigen Ergebnisse zeigen, dass unter Verwendung von 3600 Rechenkernen in einer Sekunde bis zu 3200 Sekunden Abflussgeschehen simuliert werden können. Hier zeigt sich das enorme Potential des Verfahrens für die Langfristsimulation des Abflussgeschehens mehrerer Jahrzehnte.

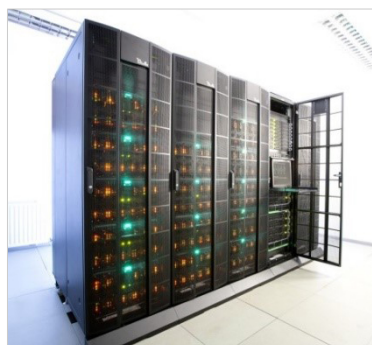
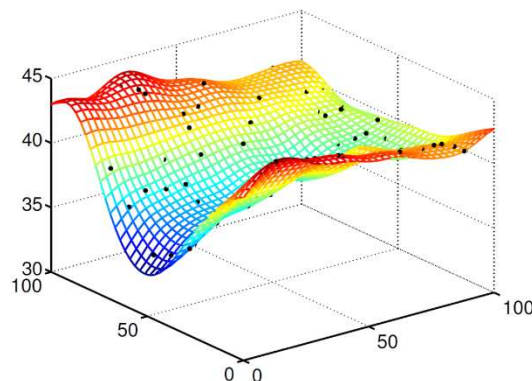


Bild 1: Hochleistungsrechner „Automatix“ der BAW.

Literatur:

Blatt, M.; Burchardt, A.; Dedner, A.; Engwer, C.; Fahlke, J.; Flemisch, B.; Gersbacher, C.; Gräser, C.; Gruber, F.; Grüninger, C.; Kempf, D.; Klöfkorn, R.; Malkmus, T.; Müthing, S.; Nolte, M.; Piatkowski, M.; Sander, O. (2016): The Distributed and Unified Numerics Environment, Version 2.4. Archive of Numerical Software, 4 (100), S. 13–29.



Integration von Zuverlässigkeitsanalysen in die hydro- und morphodynamische Modellierung von Binnenwasserstraßen

1 Aufgabenstellung und Ziel

Für Untersuchungen zur Wirkungsweise flussbaulicher Maßnahmen ist die hydro- und morphodynamische numerische Modellierung inzwischen ein etabliertes Werkzeug. Dabei werden Modellparameter und Eingangsdaten verwendet, die durch natürliche Variabilität, ungenaue Messungen oder aber wegen der ungenügenden Beschreibung der physikalischen Prozesse zum Teil erheblichen Schwankungsbreiten unterliegen. Diese Unsicherheiten können gravierende Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit der Modellergebnisse haben. Mithilfe von Zuverlässigkeitsmethoden kann der Einfluss auf die Modellergebnisse abgeschätzt und als Wahrscheinlichkeitsverteilung, Sensitivität oder Vertrauensintervall dargestellt werden.

Ziel des Projektes ist die Integration von Zuverlässigkeitsanalysen für hydro- und morphodynamische Modellierung in den Projektalltag der BAW. In einem Vorläuferprojekt wurde die Methodik erarbeitet und auf Prinzipmodelle angewendet. In diesem Projekt liegt der Schwerpunkt auf dem erfolgreichen und effizienten Einsatz der Methoden für Flussmodelle. Zu diesem Zweck müssen für typische Fragestellungen des Flussbaus weitere Erfahrungen in der Anwendung der Zuverlässigkeitsanalyse gesammelt werden. Diese münden dann in Benutzerleitfäden und Softwareprodukte, die den Projektbearbeitern eine erfolgreiche und qualitätsgesicherte Anwendung der Methoden ermöglichen.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Der Einsatz von prognosesicheren, auf die Fragestellungen der WSV zugeschnittenen mehrdimensionalen numerischen Modellen sichert die effiziente und qualitativ hochwertige Bearbeitung von Projekten mit morphodynamischen Fragestellungen. Gerade bei Langzeitprognosen, die eine erhebliche Unschärfe aufgrund der langen Vorhersagezeiträume und der komplexen Prozesse aufweisen, sind Zuverlässigkeitsanalysen und die Quantifizierung der Unsicherheiten hilfreich und tragen zur Verbesserung der Bewertung flussbaulicher Maßnahmen bei.

Auftragsnummer:

B3953.05.04.70005

Auftragsleitung:



Dr. Rebekka Kopmann
 rebekka.kopmann@baww.de

Laufzeit:

2016 bis 2021

3 Untersuchungsmethoden

Zum Erreichen der Projektziele wurden die Aufgaben in die folgenden Untersuchungsschwerpunkte gegliedert:

- Auswahl, Bearbeitung und Interpretation von verschiedenen „Beispielprojekten“ zu typischen Fragestellungen im Flussbau.
- Entwicklung einer bedienerfreundlichen Umgebung zur Anwendung der vorhandenen Zuverlässigkeitsmethoden First Order Second Moment, Monte Carlo und Metamodell. Das im Rahmen des FuE-Projekts entwickelte Programm heißt UnAnToPy und basiert auf der Programmiersprache Python.
- Erstellung von Bearbeitungsleitfäden zur Anwendung von Zuverlässigkeitsmethoden in der hydro-morphodynamischen mehrdimensionalen numerischen Modellierung im Flussbau. Durchführung von BAW-internen Schulungen. Informationen zu den verwendeten Zuverlässigkeitsmethoden, Bearbeitungsleitfäden und Installationshinweise für das Programm UnAnToPy werden im FuE-Abschlussbericht und im internen Wiki-System der BAW zur Verfügung gestellt.

4 Ergebnisse

In diesem Forschungsprojekt wurde auf der Basis der Programmiersprache Python das Werkzeug UnAnToPy entwickelt. Damit ist eine effiziente Integration von Zuverlässigkeitsanalysen in den Projektalltag der BAW für hydro- und morphodynamische mehrdimensionale numerische Modelle von Binnenwasserstraßen möglich. Ein problemloser Einstieg und eine qualitätsgesicherte Anwendung der Zuverlässigkeitsanalysen wird bei Verwendung von UnAnToPy und den zugehörigen Benutzerleitfäden gewährleistet. Der zum Teil nicht unerhebliche Vorbereitungs- und Auswerteaufwand kann durch eine weitgehende Automatisierung reduziert werden. Das ermöglicht es dem Projektbearbeiter, sich auf die Interpretation der Ergebnisse zu fokussieren.

Typische Einsatzbereiche von Zuverlässigkeitsanalysen für den Projektalltag für mehrdimensionale numerische Flussmodelle sind z. B. Sensitivitätsanalysen für bestimmte Kalibrierparameter (siehe Bild 1). Dies ist immer dann besonders sinnvoll, wenn ein neuer Ansatz mit Parametern verwendet wird, deren Wirkungsweise noch unbekannt ist. Darüber hinaus können auch ganze Ansätze miteinander verglichen werden. Das Ergebnis kumuliert dann die Sensitivität und Variabilität jedes einzelnen Parameters eines Ansatzes (Dalledonne et al. 2019). Gerade bei der morphodynamischen Modellierung mit einer Vielzahl von empirischen Ansätzen bietet diese Herangehensweise eine wertvolle Hilfestellung bei deren Auswahl.

Eine weitere interessante Anwendung der Zuverlässigkeitsanalyse mit UnAnToPy ist der Vergleich der Sensitivitäten eines Istzustands mit den Sensitivitäten einer Variante. Die mit beiden Modellen einzeln erzeugten Ergebnisse werden anschließend gemeinsam ausgewertet. Das Ziel dieser Auswertung ist es, abzuschätzen, inwieweit sich Unsicherheiten in den Eingangsparametern nicht nur auf den Istzustand oder die Variante, sondern auch auf deren Differenzaussage auswirken. Es soll die Frage beantwortet werden, ob die Variabilität der Eingangsparameter im Istzustand und bei der Variante die gleiche Wirkung haben. Eine detaillierte Auswertung dieser Anwendung steht noch aus und soll im laufenden Projektbetrieb erfolgen.

Bisher wurde vorrangig auf die räumliche Verteilung der Prognoseintervalle für stationäre Strömungszustände fokussiert. Insbesondere für morphodynamische Modellierungen ist aber auch der zeitliche Verlauf der Prognoseintervalle sehr interessant. Um grundsätzliche Aussagen über das zeitliche Verhalten der Prognoseintervalle treffen zu können, sollen entsprechende Auswertungen von verschiedenen Anwendungen gesammelt und gemeinsam bewertet werden.

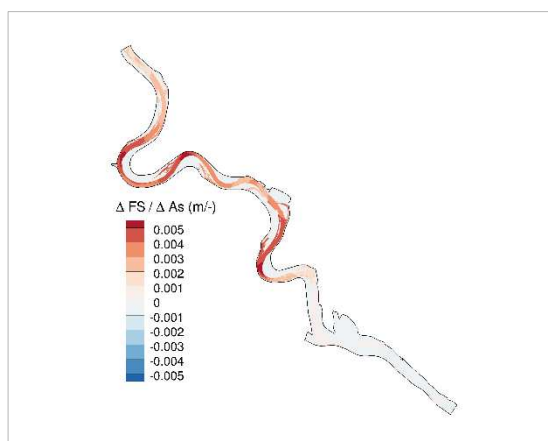


Bild 1: Sensitivität der freien Oberfläche (FS) bezüglich des Dissipationskoeffizienten (A_s), eines Kalibrierparameters des Sekundärströmungsansatzes hydrodynamischer 2D-Modelle, für einen Donauabschnitt.

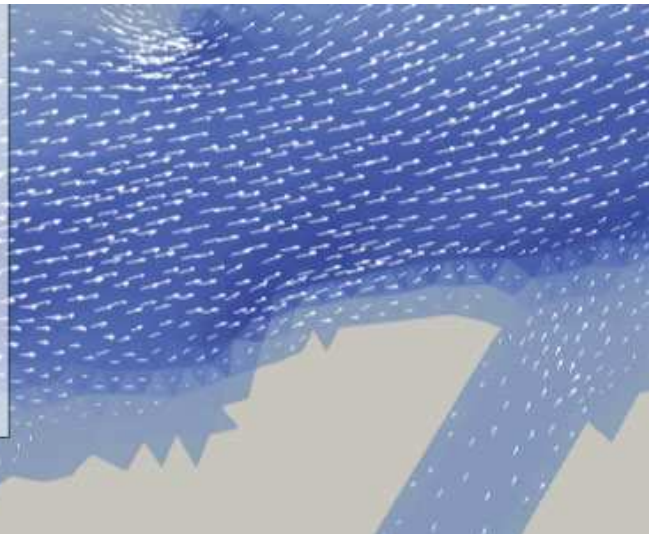
Literatur:

Dalledonne, G. L.; Kopmann, R.; Brudy-Zippelius, T. (2019): Uncertainty quantification of floodplain friction in hydrodynamic models, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 23, 3373–3385.

Kopmann, R.; Dalledonne G. L.: FuE-Abschlussbericht „Integration von Zuverlässigkeitsanalysen in die hydro- und morphodynamische Modellierung von Binnenwasserstraßen“. In Bearbeitung. BAW Karlsruhe.

```

1 0 0 0 0 0 1 0 0
0 1 0 0 0 0 0 1 0
0 0 1 0 0 0 0 0 0
0 0 1 0 0 0 0 1 0
0 1 0 1 0 0 0 0 0
0 0 0 0 1 0 0 1 0
0 0 0 0 0 1 0 1 0
  
```



Implementierung numerischer Verfahren für flussbauliche Fragestellungen in der Entwicklungsumgebung DUNE

1 Aufgabenstellung und Ziel

Hydro- und morphodynamische numerische Modelle sind wichtige Werkzeuge bei der Bearbeitung flussbaulicher Projekte der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV). In den letzten Jahren sind die Komplexität der Fragestellungen und die Anforderungen an die Genauigkeit und Belastbarkeit der Modellergebnisse stetig gestiegen. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, ist eine kontinuierliche Weiterentwicklung der eingesetzten numerischen Simulationssoftware notwendig. Ziel dieses FuE-Vorhabens ist es deshalb, aktuelle, in der Wissenschaft etablierte hydro- und morphodynamische numerische Methoden für die Bearbeitung flussbaulicher Projekte verfügbar zu machen. Der Schwerpunkt liegt auf der Weiterentwicklung schneller numerischer Methoden für die Langfristsimulation von Sedimenttransport im Bereich der Binnenschiffahrtsstraßen.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Durch Weiterentwicklung und Anwendung moderner numerischer Methoden wird die fachliche Unterstützung der WSV im Bereich der flussbaulichen Projekte verbessert, um auch in Zukunft eine Beratung auf dem Stand der Wissenschaft und Technik gewährleisten zu können.

3 Untersuchungsmethoden

Dieses Forschungsvorhaben verwendet die modulare Open-Source-Entwicklungsumgebung DUNE. Diese wurde bereits im FuE-Vorhaben „Langfristsimulation in Fließgewässern“ eingesetzt, um ein eigenes BAW-Modul (DUNE-SWF) für die zweidimensionale hydronumerische Simulation zu entwickeln. Aufgrund der vielfältigen Funktionalitäten, die in dieser Entwicklungsumgebung bereitgestellt werden (z. B. MPI-Parallelisierung und Diskretisierungsverfahren) und ihrer modernen Softwarearchitektur eignet sie sich hervorragend, um darauf aufbauend moderne und robuste numerische Verfahren zu implementieren. Das bestehende Modul wird im Rahmen dieses Forschungs-

Auftragsnummer:

B3953.05.04.70006

Auftragsleitung:

Leopold Stadler
 leopold.stadler@baw.de

Auftragsbearbeitung:

Martin Utz
 martin.utz@baw.de

Laufzeit:

2018 bis 2021

vorhabens weiterentwickelt und um den Sedimenttransport ergänzt, sodass abschließend ein Verfahren zur Verfügung steht, das gezielt auf die Belange der BAW im Bereich der Binnenschiffahrtsstraßen zugeschnitten ist. Durch den fachlichen Austausch mit der Entwicklergemeinde von DUNE und einer Zusammenarbeit im Rahmen des Open-Source-Softwareprojekts DuMux (dumux.org) mit dem Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung der Universität Stuttgart hat dieses Projekt Partner, deren Forschungsschwerpunkte und Kompetenzen (Numerik, Softwareentwicklung) die anwendungsorientierten Ziele der BAW sehr gut ergänzen.

In einem ersten Schritt wird untersucht, inwieweit DUNE-SWF den Praxisanforderungen der BAW gerecht wird. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse bilden eine wichtige Grundlage für die Weiterentwicklung des Verfahrens, die im Rahmen von DuMux stattfindet. Bei der Implementierung des Sedimenttransports sind verschiedene Ansätze möglich. Neben den klassischen sind für die Langfristsimulation auch vereinfachte Ansätze denkbar, um die Rechenzeit zu verkürzen. Der Fokus liegt dabei stets auf einer stabilen und leistungsfähigen Numerik, mit der auch lange Zeiträume in akzeptabler Rechenzeit simuliert werden können. Aus diesem Grund wird eine implizite Zeitdiskretisierung verwendet, die es erlaubt, mit deutlich größeren Zeitschritten als im expliziten Fall zu rechnen. Den Abschluss des Projekts bilden eine Validierung des neuen Verfahrens anhand von Testfällen aus der Wissenschaft und die Überprüfung der Eignung an typischen flussbaulichen WSV-Projekten.

4 Ergebnisse

Im Jahr 2019 wurden die Ansätze aus dem hydrodynamisch-numerischen Verfahren DUNE-SWF in DuMux integriert. DuMux ist eine auf DUNE basierende Simulationsumgebung für Strömungs- und Transportprozesse, deren Stärke die gekoppelte Betrachtung verschiedener physikalischer Prozesse ist, die bei morphodynamischen Fragestellungen notwendig ist, um die Wechselwirkung zwischen Strömung und Sedimenttransport korrekt zu erfassen.

Der aktuelle Schwerpunkt der Entwicklung liegt auf der Implementierung des Sedimenttransports, der innerhalb des neuen Moduls DuMux-Sediment realisiert wird. Dieses nutzt die in DuMux bereitgestellten zweidimensionalen hydrodynamisch-numerischen Ansätze und löst darauf aufbauend die Sedimentbilanzgleichung (Exnergleichung), welche die Veränderungen der Sohlhöhe in Abhängigkeit vom transportierten Bettmaterial beschreibt. Im ersten Schritt wurde der Sedimenttransport für ein Einkornmaterial implementiert. Als Transportformeln stehen zum einen der Ansatz von Meyer-Peter und Müller (1949) zur Verfügung, der in der Ingenieurpraxis weit verbreitet ist, und zum anderen der Ansatz von Grass (1970), der eine sehr einfache Abschätzung des Sedimenttransports liefert. Ein besonderer Fokus liegt auf der Untersuchung verschiedener Ansätze, um die Wechselwirkung zwischen Strömung und Sedimenttransport zu analysieren. Zum einen wird eine voll gekoppelte Lösung des Problems betrachtet, bei der Strömung und Sedimenttransport im selben Gleichungssystem gelöst werden. Zum anderen wird eine schwach gekoppelte Variante betrachtet, bei der Strömung und Sedimenttransport jeweils in einem separaten Gleichungssystem gelöst werden und die neuen Zustandsgrößen nach jedem Zeitschritt ausgetauscht werden. Die schwach gekoppelte Lösung kann eine starke Wechselwirkung zwischen Strömung und Sedimenttransport nicht hinreichend genau abbilden, während die voll gekoppelte Variante auch hier noch eine korrekte Lösung liefert. Dieses Verhalten wurde an einer Reihe von Testfällen bestätigt. Die gerechneten Testfälle beinhalten zum einen einfache eindimensionale Beispiele, aber auch komplexe Probleme, wie die zweidimensionale Ausbreitung einer kegelförmigen Düne (Vriend 1987), die in Bild 1 dargestellt ist. Ziel der Untersuchungen ist es zu klären, welcher Ansatz besser für die Langfristsimulation des Sedimenttransports im Bereich der Binnenschiffahrtsstraßen geeignet ist.

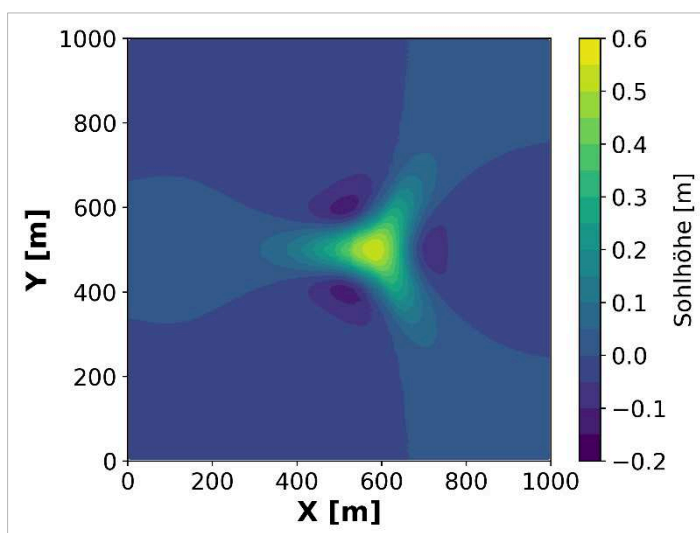


Bild 1: Ursprünglich kegelförmige Düne mit dem charakteristischen Ausbreitungsmuster.

Literatur:

Grass, A. J. (1970): Initial Instability of Fine Bed Sand. *Journal of the Hydraulics Division*, 96, S. 619–632.

Meyer-Peter, E.; Müller, R. (1949): Eine Formel zur Berechnung des Geschiebetriebs. *Schweizerische Bauzeitung*, 67 (3), S. 29–32.

Vriend, H. J. de (1987): 2DH mathematical modelling of morphological evolutions in shallow water. *Coastal Engineering* 11 (1), S. 1–27.



IMMERSE

Implementing MeasurEs for Sustainable Estuaries, a North Sea Region Programme

1 Objective and Tasks

North Sea Region estuaries are dynamic environments subject to persistent and increasing pressures such as modified tidal ranges, higher sedimentation rates and increased risk of flooding, which impact estuary ecological functioning and services. The implementation of coastal management measures that respond to those pressures has to follow EU-regulations (e. g. Natura 2000 and Water Framework Directive) and demands long planning periods, stakeholder commitment and large investments.

The aim of the project IMMERSE is to accelerate the implementation of such large-scale measures that contribute to a sustainable management of North Sea ecosystems. Research institutions, governmental administrations and enterprises from the North Sea region address different challenges regarding sediment management, flood protection and the creation of intertidal habitats. Areas of interest are the estuaries Elbe, Scheldt, Göta Älv, Tees, Humber, Isefjord/Holbaekfjord and Roskildfjord.

2 Importance for the Federal Waterways and Shipping Administration (WSV)

New solutions and improved designs of river engineering measures will be developed in the project. For tidal amplification and tidal pumping, pressures that affect the sediment transport and thus the maintenance works for navigation, design solutions, pilot projects, as well as hydrodynamic and feasibility assessments will be developed or investigated by different organizations. The know-how of the BAW in best practices to secure navigation, by/and managing the estuaries sustainably will be enhanced by exchanging knowledge and expertise with other experts of the North Sea estuarine community.

Within the project, the BAW assesses a long-term river engineering measure in the tidal Elbe using a hydrodynamic numerical model. The measure consists of reconnecting the anabranch Dove-Elbe, nowadays cut-off from the tidal regime, to the Elbe. This investigation attempts to estimate the benefits of the measure for an adapted sediment management that improves the maintenance and accessibility of the Elbe estuary fairway in a sustainable manner whilst complying with national and international legislation. Based on the assessment of the BAW, a feasibility study will be conducted within the project to evaluate ecological aspects and stakeholder interests.

Project Number:

B3955.00.04.70001

Project Leader:



Holger Rahlf
 holger.rahlf@baw.de

Person in Charge:



Victoria Ortiz
 victoria.ortiz@baw.de

Duration:

2018 until 2021

3 Research Methods

To assess how adequate, it is to reconnect the Dove-Elbe to the tidal Elbe in terms of hydrological benefits (e. g. reducing tidal range, upstream sediment transport and tidal intrusion), three-dimensional numerical simulations were conducted using the hydrodynamic modelling system UnTRIM in combination with the morphological model SediMorph. The computational domain consists of an unstructured orthogonal grid that extends from the tidal weir at Geesthacht to the mouth of the estuary at the North Sea.

A calibrated model of the tidal Elbe with the topography of 2016 was used as reference state, considering the current planning state of the tidal Elbe after the fairway deepening (started in 2019). For the reconnection of the Dove Elbe into the tidal Elbe, the modelling approach complied the measure layout developed within the "Forum Tideelbe" where local and regional stakeholder concerns are considered. To analyze the model results, the differences to the reference state were calculated for selected tidal characteristic numbers and so the influence of the reconnection on the tidal dynamics was evaluated.

The model performed a flow rate control at the sluice gate *Tatenberger Siel* to constrain the amount of water flowing in and out the anabranch and so to limit the variation of the water level within the Dove Elbe. This limitation aimed to reduce the impact on the current flood protection system due to higher water levels during flood tide, as well as the impact on shipping when the water depth lowers by ebb tide. To reduce the sedimentation when no inflow or outflow pass through (gate is closed), the flow control induced a continuous tidal oscillation in the Dove Elbe simulating an ideal, symmetrical tide. The uninterrupted water movement avoids slack times, and especially furthered intertidal habitats through equal ebb and flood duration times.

4 Results

Upwards of the reconnection, within the anabranch Dove Elbe, the model regulated the high and low tide between +0.9 m and -1.2 m NHN by employing almost the total water volume hydraulically possible to flow through the planned sluice gate. An effective water volume of 2.7 Mio. m³ flowing in and out the Dove Elbe, so called tidal prism, were calculated by the model. That corresponds to 50 % of the tidal prism achievable without constraining the flow by letting the anabranch swing entirely with the tidal Elbe. Given the requirements to limit the tidal influence in the anabranch, the potential hydrological benefits were constrained.

The hydrodynamics and sediment regime in the estuary depict positive effects of connecting additional flood space, however, the main effects are locally restricted. The tidal range lowers in the estuary by 1–3 cm, while at the mouth of the Dove Elbe into the Elbe (northern Elbe) the local reduction reached 10 cm (Fig. 1, 2). Changes on the flow conditions damped the tidal pumping, one of the main pressures of the estuary that increases the need of dredging in the up estuary. The changes on the hydrodynamics lower the upstream sediment transport by 1–2 %.

The results demonstrated that this type of measure is suitable to further the sustainable management of the estuary. Still, additional measures adapting the sediment management are necessary to address the impacts of longtime anthropogenic changes.

Literatur:

Casulli, V.; Lang, G. (2004): Mathematical Model UnTRIM – Validation Document. Technical Report. Bundesanstalt für Wasserbau: Trento, Hamburg.

BAW (2014b): Untersuchungen des Strombaus und des Sedimentmanagements im Rahmen des „Tideelbe-Konzeptes“. Abschlussbericht (BAW-Gutachten, A39550310172-6).

BAW (2020): Auswirkung der Schaffung von Flutraum im Bereich der Tideelbe. Wasserbauliche Systemstudien der vom Forum Tideelbe konzipierten Maßnahmen" (BAW-Gutachten B3955030610005).

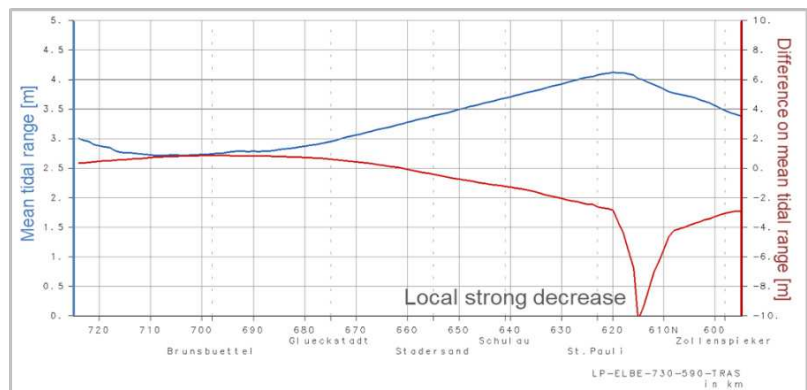
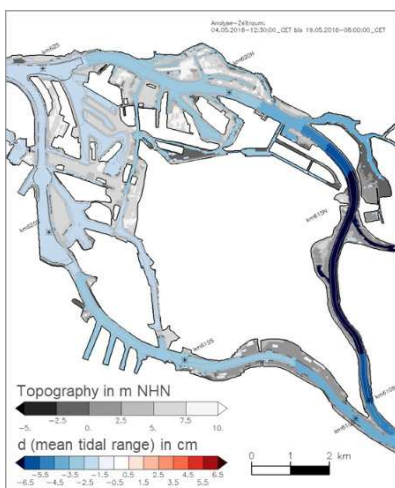


Figure 1 (left): Difference on tidal range in Hamburg area.

Figure 2 (right): Results of the tidal range along the tidal Elbe.



Maßstabseffekte im schiffbaulichen Modellversuch

Quantifizierung der zu erwartenden Abweichung bei der Übertragung in die Natur

1 Aufgabenstellung und Ziel

Die Übertragung von experimentell ermittelten Messwerten aus dem Modellmaßstab in den Naturmaßstab ist mit Unsicherheit behaftet. Einzelne Werte aus dem Modellversuch werden in die Wirklichkeit durch Anwendung physikalischer Maßstabsgesetze übertragen. Für eine Kombination aus Messwerten können diese jedoch nicht zugleich erfüllt sein. Prominentes Beispiel aus der Strömungslehre, anzuwenden bei Schiffsmodellversuchen, ist die Unmöglichkeit, gleichzeitig die Ähnlichkeit der Turbulenz und der erzeugten Oberflächenwellen einzustellen. Als Lösungsansatz werden im schiffbaulichen Versuchswesen empirische Korrekturansätze genutzt, beispielsweise die Reibungskennlinie beim Propulsionsversuch. Bei Modellversuchen geht man davon aus, dass die Maßstabseffekte in der Größenordnung des Messfehlers liegen. Dies ist eine praktikable, aber nicht abgesicherte Annahme. Die Schwierigkeit liegt hierbei im Zusammenspiel unterschiedlicher Effekte, die in der Gesamtwirkung schwer abzuschätzen sind. Viele Kräfte und Effekte, die für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) relevant sind, werden schiffbaulich nicht oder nur in sehr geringem Umfang untersucht.

Das Ziel ist die Bestimmung der Größenordnung der Maßstabseffekte bei der Übertragung von Messwerten aus dem Modellversuchswesen auf den Naturmaßstab.

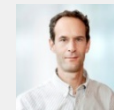
2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Die Absicherung der Genauigkeits- und Gültigkeitsbereiche der Modellversuche bei Übertragung auf den Naturmaßstab (Großausführung) ist bei vielen Aufgaben der WSV nötig. Eine Verfeinerung der bisherigen Abschätzungen bei der Übertragung führt zu präziseren und verlässlicheren Aussagen zur Wechselwirkung Schiff-Schifffahrtsstraße. Zusätzlich kommen die Erkenntnisse aus diesem Projekt der Schiffsführungssimulation bei Bemessung und Befahrbarkeitsanalyse sowohl im See- als auch im Binnenbereich zugute, da sie die Einsatzmöglichkeit von Modellversuchen für die Kalibrierung von Koeffizienten der Simulation signifikant verbessern.

Auftragsnummer:

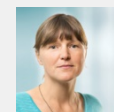
B3955.01.04.70174

Auftragsleitung:



Dr. Carl-Uwe Böttner
 carl-uwe.boettner@baw.de

Auftragsbearbeitung:



Hanne Jansch
 hanne.jansch@baw.de



Christian Maushake
 christian.maushake@baw.de
 Thorsten Dettmann

Laufzeit:

2015 bis 2021

3 Untersuchungsmethoden

Der Übertragungsfehler bei der Auswertung von Modellversuchen soll im direkten Vergleich mit Naturmessungen ermittelt werden. Hierzu sollen Manöver mit einem geeigneten Schiff bei verschiedenen Wassertiefen gefahren und hochpräzise gemessen werden, die dann als Referenz für Modellversuche und Manövrierverhalten zur Verfügung stehen. Kräfte und weitere fahrdynamische Größen, die in der Naturmessung nicht zugänglich sind, sollen durch numerische Simulationen im Naturmaßstab untersucht werden. Die Modellversuche und die numerischen Modellrechnungen werden in einer Serie verschiedener Maßstäbe durchgeführt, um eine systematische Analyse der Übertragungseffekte zu ermöglichen.

Im Bereich der Binnenschifffahrt erfolgt der Vergleich von Manöverfahrten (wie z. B. Z-Manöver) aus Naturuntersuchungen mit einem 135 m langen Binnenschiff und Modelluntersuchungen mit dem verfügbaren Referenzschiff im Modellmaßstab von 1:16 eines in der Natur 135 m langen Binnenschiffes.

4 Ergebnisse

Die Manöverfahrten im Naturmaßstab („sea trials“) mit der GSS MELLUM sind abgeschlossen und werden ausgewertet. Es wurden die IMO-Standardmanöver bei verschiedenen Geschwindigkeiten und Kielfreiheiten (Bild 1) durchgeführt und mit der höchsten derzeit verfügbaren Präzision vermessen und aufgezeichnet. Dabei wurde auf Vollständigkeit der erfassten Daten und Messgrößen geachtet. So wurden neben den fahrdynamischen Größen Position, Richtung, Fahrt über Grund, Lage im Raum (Krängung, Trimm, Tauchung) auch die lokale Strömung zur genauen Bestimmung der Fahrt durchs Wasser gemessen, die Maschinendaten inklusive Hebelstellungen und Steigungseinstellung des Verstellpropellers und die Ruderbefehle sowie die aktuellen Ruderlagen zeitaufgelöst detektiert und gespeichert. Die GSS MELLUM hatte kurz vor der Messkampagne einen regulären Werftaufenthalt, dadurch war zum einen ein glattes Unterwasserschiff sichergestellt, zum anderen konnten die Rumpfform und die Anhänge mit einem Laserscanner vermessen und zur Erstellung numerischer Modelle zur Verfügung gestellt werden. Bei der Präsentation der Messkampagne auf nationalen und einer internationalen Fachkonferenz (Jansch und Böttner 2019) wurde die geplante Veröffentlichung der Messwerte und Daten in Form eines internationalen Test-Cases (Benchmark) sehr begrüßt.

Die Universität Rostock untersuchte für dieses Projekt den Einfluss der Grenzschichtdicke und der Turbulenz auf die dynamische Schwimmelage und auf den Squat im Flachwasser. Ziel der numerischen Untersuchungen ist, die Bedeutung verschiedener Turbulenzgrade und unterschiedlicher Grenzschichtdicken für hydrodynamische Kräfte wie den Längswiderstand oder den Squat im Flachwasser zu ermitteln. Dazu war es erforderlich, ein dynamisch-adaptives Wandmodell in OpenFOAM zu implementieren (Popovac und Hanjalic 2007). Es treten deutliche Unterschiede in den Ergebnissen mit diesem Wandmodell zu den Standard-Wandmodellen bei der Berechnung der Umströmung eines Rumpfes auf. Dies resultiert aus lokalen Strömungszuständen mit entgegengesetztem Druckgradienten (adverse pressure gradient), wie sie im Bereich des Hinterschiffs vorkommen (Böttner und Shevchuk 2019). Damit konnte der Maßstabeffekt durch unterschiedliche Turbulenzgrade auf Nachstrom und Schwimmelage vergleichend bei zwei Containerschiffen untersucht werden (Shevchuk et al. 2019).

In der derzeitigen, abschließenden Projektphase werden der internationale Benchmark Test-Case und weitere Veröffentlichungen vorbereitet und erstellt.

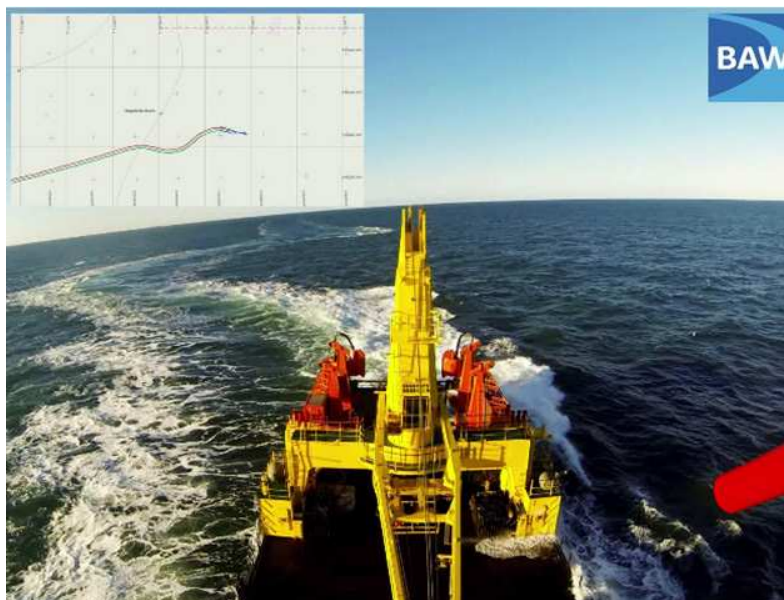


Bild 1: Manöver zur Ermittlung der Fahrdynamik im Tiefwasser.

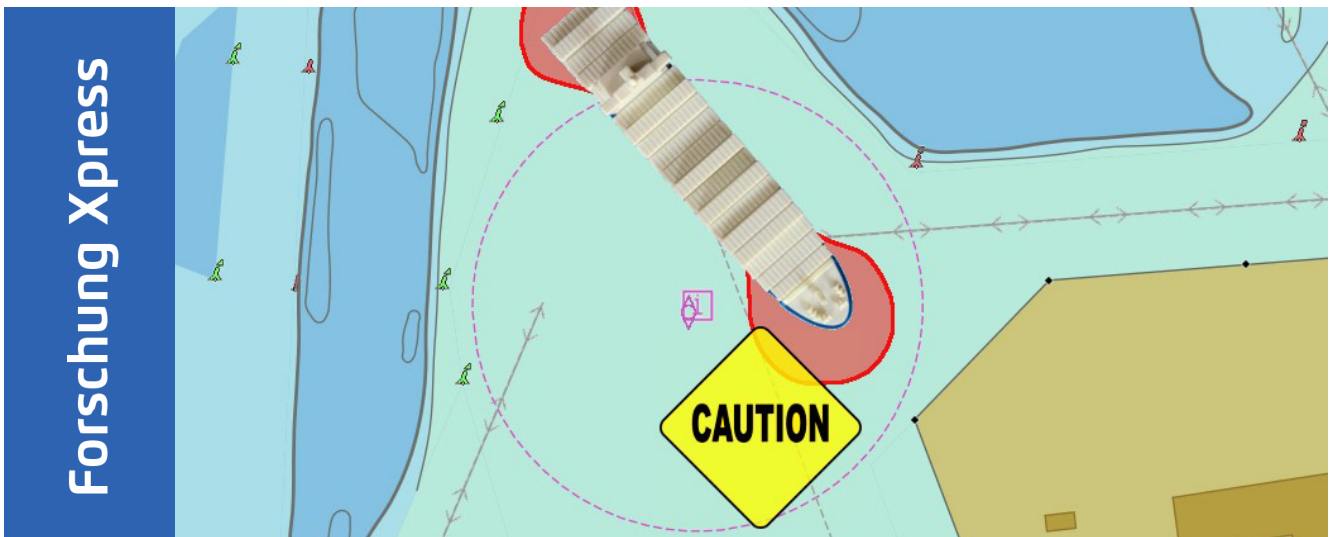
Literatur:

Böttner, C.-U.; Shevchuk, I. (2019): Dis-equilibrium Wall Function in RANSE Computation applied to Flow Conditions around Ship's Hull. In: Proceedings of MARINE 2019, 491–501.

Jansch, H.; Böttner, C.-U. (2019): Sea Trials for Determination of Manoeuvring Characteristics in Shallow Water Conditions. In: Proceedings of 5th MASHCON 2019, 187–194.

Popovac, M.; Hanjalic, K. (2007): Compound Wall Treatment for RANS Computation of Complex Turbulent Flows and Heat Transfer. In: Flow, Turbulence and Combustion, 78 (2).

Shevchuk, I.; Böttner, C.-U.; Kornev, N. (2019): Numerical Investigation of Scale Effects on Squat in Shallow Water. In: Proceedings of 5th MASHCON 2019, 389–402.



SafeZone: Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs

Automatisierte Analyse nautischer Situationen aus der Schiffsführungssimulation

1 Aufgabenstellung und Ziel

Bei der Planung von Neu- und Ausbauten an den deutschen Wasserstraßen steht neben der Umweltverträglichkeit die Gewährleistung der Sicherheit und Leichtigkeit des Seeverkehrs im Vordergrund. Bereits in der Planungsphase werden die verschiedenen Varianten mithilfe der Schiffsführungssimulation virtuell befahren und auf nautische Schwachstellen überprüft. Bedingt durch die wachsenden Verkehre mit gleichzeitig immer größeren Schiffen werden wasserpolizeiliche Restriktionen auf den Wasserstraßen häufiger nötig. Deren Festlegungen werden derzeit zunehmend am Schiffsführungssimulator überprüft. Die Auswertung einer meist großen Zahl an Fahrten im Simulator hat dadurch eine Schlüsselrolle im Entscheidungsprozess. Bisher basiert sie auf dem „Expert Rating“, der Einschätzung durch erfahrene Nautiker mit guten Revierkenntnissen. Ziel dieses Projektes ist es, diesem Vorgang eine mathematisch-physikalische Analyse der nautischen Situation als ergänzendes Werkzeug für das „Expert Rating“ zur Seite zu geben.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Für die nautische Beurteilung wasserbaulicher Vorhaben wird von der WSV generell die Schiffsführungssimulation in der Planungsphase eingesetzt. Zur Beurteilung wasserpolizeilicher Regelungen und Restriktionen erlangt die Schiffsführungssimulation mehr und mehr an Bedeutung. Beiden Anwendungen gemein ist das Ziel, mittels einer Simulation der realen Bedingungen (Virtual Reality) den Nachweis über die Gewährleistung der Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffs- und Seeverkehrs zu erbringen. Bisher erfolgt die nautische Bewertung auf Basis der Einschätzung eines Gremiums aus Experten mit breitem und tiefem Erfahrungswissen. Sowohl für die nautische Beurteilung als auch für die Arbeit der Experten wäre eine zusätzliche objektive Situationsanalyse sehr wertvoll.

Etwa zur Mitte der Laufzeit kam die konkrete Nachfrage aus der Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (GDWS) nach Entwicklung einer Domäne aus einer nautischen Situation hinzu.

Auftragsnummer:

B3955.01.04.70226

Auftragsleitung:



Dr. Carl-Uwe Böttner
 carl-uwe.boettner@baw.de

Auftragsbearbeitung:

Martin Wezel
 martin.wezel@baw.de
 Thorsten Dettmann

Laufzeit:

2016 bis 2021

3 Untersuchungsmethoden

Automatische Situationsanalysen sind in der Nautik bislang im Bereich der Verkehrsüberwachung und der Kollisionsverhütung (Chien et al. 2012) in der ständigen Weiterentwicklung. Etwa in den 70ern fand der Ansatz der „Ship Domain“ bei den Nautikern Verbreitung (Goodwin 1975, Pietrzykowski und Uriasz 2009). Das Konzept besteht darin, dem Schiffsführer (oder dem Berater in der Verkehrszentrale) einen Bereich um sein Fahrzeug auf einer geeigneten Anzeige – entweder der elektronischen Seekarte oder dem Radarbildschirm – anzuzeigen, der sich abhängig von der momentanen Verkehrssituation in seiner Ausdehnung verändert und der vom Schiffsführer als frei zu halten wahrgenommen werden muss.

In Anlehnung an das Konzept der „Ship Domain“ wird in diesem Vorhaben eine SafeZone entwickelt, die einen Bereich um das gesamte Fahrzeug dynamisch in seiner Form und Ausdehnung bestimmt, der für die Gewährleistung der Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffs- und Seeverkehrs frei von wasserbaulichen Hindernissen sein muss. Für die Bestimmung der Ausdehnung dieses Bereichs wird dabei aus den dynamischen Daten der Schiffsführungssimulation eine nautische Analyse der momentanen Fahr situation errechnet und die daraus resultierenden sicherheitsrelevanten Distanzen als SafeZone um das Schiff auf einer elektronischen Seekarte geeignet dargestellt.

Zunächst werden die Erfahrungen und Bedürfnisse der späteren Anwender des Analysewerkzeugs zusammengetragen und es wird in direkter Absprache ein Lastenheft erstellt. Nach erfolgter Umsetzung der Vorgaben in eine Computeranwendung und deren Installation auf den Anlagen der BAW wird diese im produktiven Einsatz intensiv getestet. Anschließend wird die Computeranwendung auf den Simulatoren der beteiligten Projektpartner für den produktiven Einsatz installiert. Im letzten Teil des Projekts wird die SafeZone nach einer ausreichend langen Testphase an die Erfahrungen angepasst und Fehler werden behoben. Ziel ist es, am Ende des Projekts eine produktive Software zur Verfügung zu stellen.

4 Ergebnisse

In der ersten Phase wurden die Anforderungen an die SafeZone-Berechnung festgelegt. Anschließend wurden die nötigen Hard- und Software Grundlagen geschaffen, um die Berechnung im Anschluss an eine Simulatorübung durchführen zu können.

Im nächsten Schritt wurde ein mathematischer Ansatz zur Bestimmung der Ausdehnung der SafeZone definiert. Hierbei wird jeweils eine Variation fahrdynamischer Parameter der Ist-Situation eines angepassten Zeitraums (abhängig von der Fahrt des Schiffes) als Grundlage für Manöversimulationen eingesetzt. Aus dieser Varianz ergibt sich eine Flächenüberdeckung, die den benötigten Manöverraum für kleine Änderungen in der Fahrweise repräsentiert und damit die Ausdehnung der SafeZone (Bild 1) definiert.

Nach erfolgter Umsetzung der Erweiterungen der Simulator-Software tritt das Projekt derzeit in die letzte Phase, in der eine Bedienungs Oberfläche für die SafeZone-Software erstellt wird. Abschließend erfolgen Softwaretests, um auftretende Schwachstellen beheben sowie Verbesserungen vornehmen zu können.

Ergänzend zu der SafeZone wird auf Anregung der GDWS Kiel in der letzten Projektphase die klassische „Ship Domain“ umgesetzt. Damit wird das Tool in seiner Funktionalität für die WSV erweitert und eine Vergleichsmöglichkeit der SafeZone zu anderen Ansätzen geschaffen. Bei der Umsetzung der „Ship Domain“ werden neuere Untersuchungen und Erkenntnisse (Szlapczynski und Szlapczynska 2016) berücksichtigt.

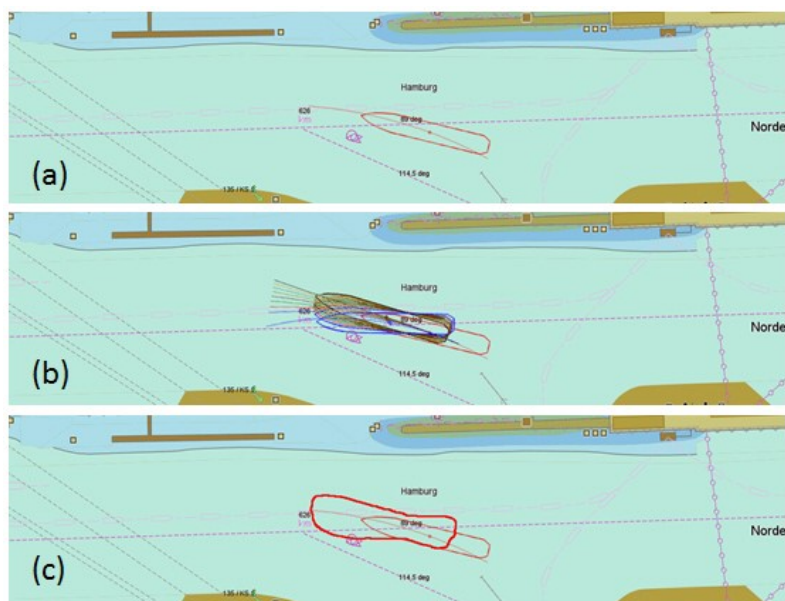


Bild 1: Ermittlung der SafeZone (c) aus einer nautischen Situation (a) und Manöversimulationen kleiner Abweichungen (b).

Literatur:

Chien-Min, S.; Ki-Yin, C.; Chih-Yung, C. (2012): Fuzzy decision on optimal collision avoidance measures for ships in vessel traffic service. In: Journal of Marine Science and Technology, Vol. 20, No. 1, pp. 38–48.

Goodwin, E. M. (1975): A statistical study of ship domain. In: The Journal of Navigation, 28, No. 3, pp. 328–344.

Pietrzykowski, Z.; Uriasz, J. (2009): The Ship Domain – A Criterion of Navigational Safety Assessment in an Open Sea Area. In: The Journal of Navigation, 62, pp. 93–108.

Szlapczynski, R.; Szlapczynska, J. (2016): An analysis of domain-based ship collision risk parameters. In: Ocean Engineering, 126, pp. 47–56



An- und Ablegemanöver großer Schiffe in der Schiffsführungssimulation

Teilprojekt im Verbundvorhaben FernSAMS

1 Aufgabenstellung und Ziel

Das Ziel des Teilvorhabens ist die Weiterentwicklung des heutigen Stands der Technik der fahrdynamischen Modelle in Schiffsführungssimulatoren am Markt zur verfeinerten und bedarfsangepassten Simulation von Hafenmanövern unter Zuhilfenahme von Schleppern. Spezielles Augenmerk wird auf die Einsatzfähigkeit zum Training mit virtuell ferngesteuerten Schleppern und autonom fahrenden Schleppern sowie auf die spätere Unterstützung des Remote-Operators gelegt.

Die Ertüchtigung der Simulation als belastbares Werkzeug zur Überprüfung von Handlungs- und Manöverstrategien beim An- und Ablegen großer Schiffe und als Testumgebung für Neuentwicklungen im Bereich der Mensch-Maschine-Interaktion ferngesteuerter Schleppschiffe steht im Vordergrund der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten des Antragstellers in dem Verbundprojekt.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) ist für Fragestellungen der Schiffsführungssimulation zentraler Berater der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV). Dieser Aufgabe kommen die Erfahrungen und Erkenntnisse aus diesem Projekt zu Gute. Für zukünftig zu planende Einsatzszenarien und wasserbauliche Fragestellungen, in denen Schlepperassistenz eine große Bedeutung haben, werden die hier entwickelten Module eingesetzt werden können.

3 Untersuchungsmethoden

In diesem Projekt werden modulare Modellergänzungen entwickelt, die es ermöglichen, eine präzise Simulation der Hafenmanöver mit Schlepperassistenz in einem Schiffsführungssimulator durchzuführen. Diese Entwicklungen sind verallgemeinert gültig und anwendbar, werden in diesem Projekt zunächst für Simulatoren, die auf dem Norrbinn-Modell mit Abkowitz-

Auftragsnummer:

B3955.01.04.70233

Auftragsleitung:



Dr. Carl-Uwe Böttner
 carl-uwe.boettner@baw.de

Auftragsbearbeitung:

Marcus Döscher
 marcus.doescher@baw.de

Laufzeit:

2017 bis 2021

Koeffizienten basieren, implementiert und eingesetzt. Es wird ein fahrdynamisches Simulator-Schiffsmodell erstellt, welches das Fahrverhalten des Schlepperentwurfs, das bis dahin durch Untersuchungen des Partners FDS (TU-HH) vorhergesagt wurde, in einen angepassten Koeffizienten-Satz überführt und dadurch diesen Schlepperentwurf im Simulator erlebbar macht.

Die Interaktion des Schleppers mit dem großen Schiff ist bei hergestellter Leinenverbindung stark durch diese geprägt. Hierauf wird das vorhandene Leinen-Kraftmodell im Simulator überprüft und gegebenenfalls angepasst. Ebenso ist die Abbildung der Windencharakteristik für eine realitätsnahe Simulation von Schlepper-Operationen wichtig.

Das Gesamtmodell muss, ehe es zum Einsatz kommen kann, ausgiebig auf mögliche unerwünschte Interaktion mit den Echtgeräten der Fahrstände (Integrated Bridge Instrumentation) und der Kommunikation innerhalb der Simulatoren getestet werden, um einwandfreie Funktion und störungsfreie Simulation zu ermöglichen.

4 Ergebnisse

Im derzeit laufenden dritten Projektjahr konnten die Arbeitspakete für die Schiffsführungssimulation der Hafenmanöver mit Assistenz eines ferngesteuerten Hafenschleppers erfolgreich vorbereitet und beim Projektpartner MTC Hamburg GmbH im November durchgeführt werden.

Bei dieser Simulation war ein erfahrener Schlepperkapitän beteiligt, der einen der zwei existierenden Schlepper vom Typ RAVE-Tug (Singer 2018) bereits regelmäßig fährt und im Einsatz kennt. Sein Urteil zur Fahrdynamik und zur Simulation des Manövers war sehr positiv. Dies zeigte sich auch gleich zu Beginn, als der Kapitän einen Parcours, der in die Simulation zur Eingewöhnung an das Simulator-Umfeld („familiarization“) integriert wurde, in unerwartet schneller Zeit ohne einen Fehler durchfuhr.

Die Fahrdynamik des Schleppers RoboTug (Bild 1) wurde dabei auf Grundlage der Ergebnisse umfangreicher CFD-Rechnungen zum Manövrierverhalten und der Hydrodynamik im Simulator modelliert. Als zu schleppendes Schiff wurde ein 13000 TEU Container Schiff ausgewählt (Bild 1). Dessen Fahrdynamik wurde ähnlich aufwändig kalibriert und modelliert. Dies war möglich, da für den Rumpf des Schiffes auf den offenen Test-Case DTC (El Moctar 2012) zurückgegriffen wurde, zu dem in der Literatur und bei dem Projektpartner TU-HH Daten zum Manövrierverhalten zur Verfügung stehen. So konnten alle beteiligten Fahrzeuge in der Simulation auf vergleichbarem Niveau eng an ein natürliches Verhalten eingestellt werden.

Für diese Simulationen wurden mehrere Plug-ins entwickelt und bereitgestellt. Neben dem Windschatten-Plug-in, das die lokalen Windverhältnisse im Windschattenbereich des Großschiffs für jeden Zeitschritt berechnet, sind das ein Plug-in für die Strömungsabschattung durch einen tiefgehenden Rumpf, der seine Position relativ zum Grund hält, ein Plug-in für den erhöhten Widerstand durch Einengung der Wasserstraße und ein Plug-in, das die Dynamik der sich frei drehenden Karussell-Winde (Bild 1) mit ihrem sich kontinuierlich ändernden Leinen- und damit Kraftangriffspunkt berechnet.

Derzeit wird als weiteres Plug-in und Projektergebnis die hydrodynamische Interaktion des Schleppers mit dem fahrenden Großschiff und mit dessen Schraubenstrahl bei achterlicher Annäherung implementiert und getestet. Anschließend werden die einzelnen entwickelten Plug-in in einer Anwendung zusammengefasst und für die produktive Nutzung in Schiffsführungssimulationszentren mit einer Bedieneroberfläche (GUI) ergänzt. Das kommerzielle Schiffsführungssimulationszentrum und Partner in dem Projekt MTC Hamburg plant, die verfeinerte Modellierung der Schlepper-Interaktion zukünftig produktiv einzusetzen.

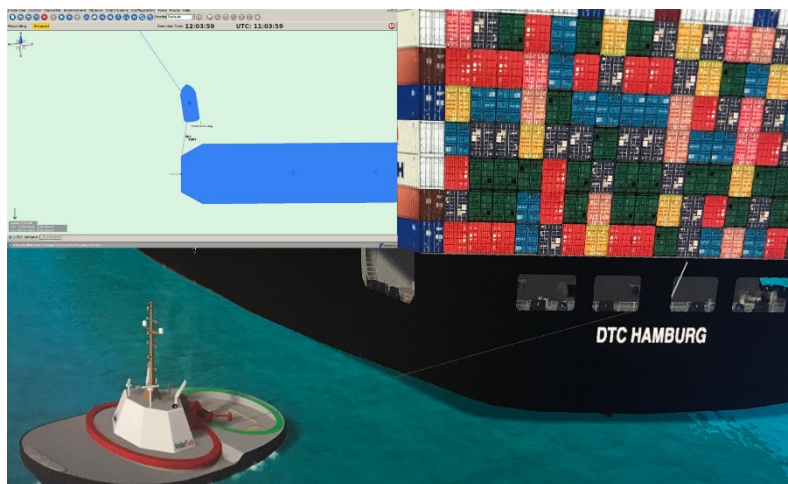
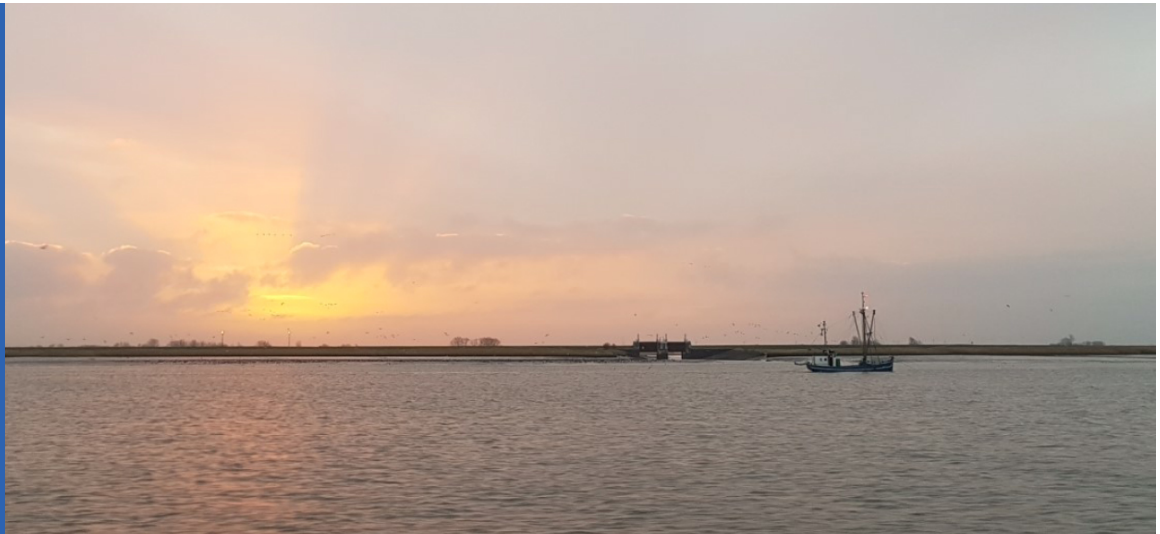


Bild 1: Hafenmanöver mit ferngesteuertem Schlepper in der Schiffsführungssimulation mit Plug-ins (Instruktor-Sicht überlagert).

Literatur:

El Moctar, O.; Shigunov, V.; Zorn, T. (2012): Duisburg Test Case: Post Panamax Container Ship for Benchmarking. In: Ship Technology Research Schiffstechnik, Vol. 59, No 3, S. 50–64. Online verfügbar unter: https://www.uni-due.de/imperia/md/content/ist/dtc_str_vol59no3.pdf zuletzt geprüft am 26.11.2019.

Singer, S. (2018): Remote Controlled Tugs – Project FernSAMS. Vortrag in: German Norwegian Ocean Forum, GNOF, December 4, 2018, Hamburg.



Sedimenttransport in der Trübungszone von Ästuaren

FAUST

1 Aufgabenstellung und Ziel

In den Seehafenzufahrten von Elbe, Weser und Ems befinden sich Unterhaltungsschwerpunkte, in denen im Wesentlichen Feinsedimente gebaggert werden, aber gleichzeitig zeitweise hohe Strömungsgeschwindigkeiten herrschen. In der Weser ist dies im Bereich der „Schlickstrecken“ bei Nordenham und im Blexer Bogen der Fall. Die Prozesse, welche zur dauerhaften Deposition von Feinsedimenten in der stark durchströmten Fahrinne führen, sind bis heute noch nicht vollständig beschrieben und Verbesserungen in den derzeit zur Verfügung stehenden Simulationswerkzeugen sind notwendig.

Das Forschungsprojekt FAUST beschäftigt sich mit dem Sedimenttransport in den Ästuaren und insbesondere den Bodenaustauschprozessen in Bereichen feiner Sedimente. Ein Teilaspekt hierbei ist die Interaktion zwischen Bodenformen und dem Transport von Feinsedimenten. Ziele des Projektes sind eine Vervollständigung des Prozessverständnisses sowie die Entwicklung von konzeptionellen Ansätzen zur Verbesserung der numerischen Modelle.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) ist eine zentrale Beratungseinrichtung der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV), die unter anderem zu allen Fragestellungen rund um die Auswirkungen von Um- oder Ausbau der Seeschiffahrtsstraßen auf Sedimenttransport und Morphodynamik herangezogen wird.

Die Anforderungen an die Güte der Simulationsmodelle in diesem Bereich steigen, insbesondere wenn es um die Prognose langfristiger Trends geht. Für die Beratung der WSV durch die BAW ist es daher wichtig, das Prozessverständnis des Sedimenttransportes kontinuierlich zu verbessern und dem wissenschaftlichen Fortschritt bei der Abbildung des Sedimenttransports Rechnung zu tragen. Durch eine verbesserte Abbildung des Sedimenttransports und der Bodenaustauschprozesse in Modellen kann die Beratungsleistung im Bereich Sedimentmanagement weiter erhöht und das Fernziel einer modellbasierten Prognose weiterverfolgt werden.

Auftragsnummer:

B3955.02.04.70230

Auftragsleitung:



Dr. Anna Zorndt
 anna.zorndt@baw.de

Kooperationen:

Christian-Albrechts-Universität
 zu Kiel (Prof. C. Winter)
 Technische Universität
 Hamburg (Prof. P. Fröhle)

Laufzeit:

2018 bis 2021

3 Untersuchungsmethoden

Die Untersuchungen erfolgen mithilfe von Messungen in der Natur, Laboruntersuchungen und Prozessstudien mit numerischen Modellen.

Eine wichtige Grundlage für eine verbesserte Abbildung der Schwebstoffdynamik ist ein Verständnis der dahinter liegenden Transportprozesse. Barokline Prozesse und Asymmetrien in der vertikalen Vermischung führen dazu, dass sich in Ästuaren ein charakteristisches Muster von Restströmungen ausbildet (ästuarine Zirkulation) und sich feine Sedimente in der Trübungszone akkumulieren. Diese Prozesse werden mittels hydrodynamisch-numerischen Simulationen mit dem Modell Untrim2009 sowie anhand von Messungen aus der Natur aus zwei Messkampagnen im Juni 2019 und im März 2020 untersucht.

Durch die Akkumulation von Feinsedimenten in der Trübungszone kommt es in der sog. „Schlickstrecke“ der Weser zu zeitweiser starker Deposition. Die hierzu beitragenden Bodenaustauschprozesse sind bislang noch nicht vollständig verstanden und werden im Rahmen des Projektes in Laboranalysen mithilfe von Absetzsäulen und einem Gust-Mikrokosmos näher untersucht.

4 Ergebnisse

Die Wirkung von Bodenformen auf die Sohlrauheit, die Strömung und den Sedimenttransport ist ein Untersuchungsfokus in FAUST. Aus Veröffentlichungen, die bis in die 1960-er Jahre zurückgehen, gibt es bereits Informationen über die Bodenformen in der sogenannten „Riffelstrecke“ der Weser, die bis zu 100 m lang und 5 m hoch sind. Ebenfalls bekannt ist seit langem, dass die Bodenformen asymmetrisch sind und ihre Form und Ausrichtung abhängig von den hydrodynamischen Bedingungen wie Abfluss und Tide wechseln (für die Elbe gezeigt von Zorndt et al. 2010). Da die Bodenformen wie große Rauheitselemente am Gewässerboden wirken, führen sie zu einer hohen Energiedissipation und verringern so den Tidenhub im Ästuar. Um dies in numerischen Modellen abzubilden, gibt es etablierte Ansätze wie der Rauheitsprädiktor von van Rijn (2007).

Aktuelle Studien (z. B. Lefebvre und Winter 2016) haben nun jedoch gezeigt, dass die von den asymmetrischen Bodenformen hervorgerufene Energiedissipation davon abhängt, von welcher Seite diese angeströmt werden. Hieraus folgen zwei neue Erkenntnisse: Zum einen haben Änderungen der Form und Ausrichtung der Bodenformen nicht nur Auswirkungen auf den Tidenhub, sondern auch die Tideasymmetrie und den Netto-Sedimenteintrag ins Ästuar. Dies ist Untersuchungsgegenstand einer aktuellen Veröffentlichung von Herrling et al. (in review, siehe Bild 1). Zum anderen ist es für eine naturnahe Abbildung der Energiedissipation im numerischen Modell nötig, eine Rauheitsformulierung zu finden, die die Asymmetrie der Bodenform und die Richtungsabhängigkeit der Anströmung berücksichtigt. Hierzu werden zurzeit Laborversuche in der Umlaufrinne der BAW sowie Systemstudien mit numerischen Modellen durchgeführt.

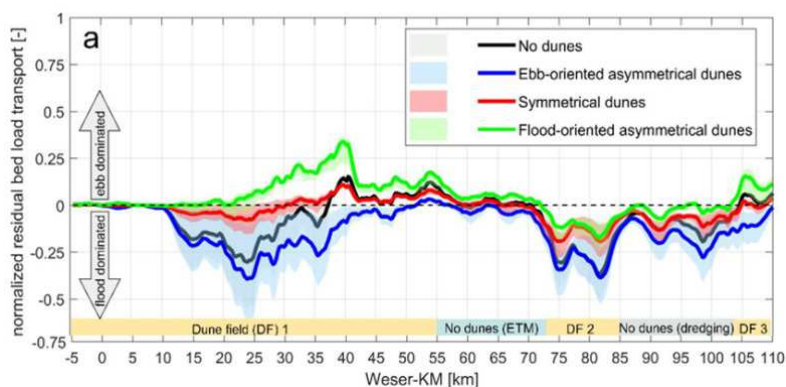


Bild 1: Modellierter residueller Geschiebetransport (normalisiert) für geringe Abflüsse unter Wirkung verschieden ausgerichteter Dünen im Weserästuar (Herrling et al., in review).

Literatur:

Herrling, G.; Becker, M.; Lefebvre, A.; Zorndt, A.; Krämer, K.; Winter, C. (2020): The effect of asymmetric dune roughness on tidal asymmetry in the Weser estuary. In review at *Earth Surface Processes and Landforms*.

Lefebvre, A.; Winter, C (2016): Predicting bed form roughness: the influence of lee side angle. *Geo-Marine Letters* (36) S. 121–133.

van Rijn, L. C. (2007): United view of sediment transport by currents and waves I: Initiation of motion, Bed roughness and Bed load transport. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 133(6), S. 649–667.

Zorndt, A.; Wurpts, A.; Schlurmann, T. (2010): The influence of hydrodynamic boundary conditions on characteristics, migration, and associated sand transport of sand dunes in a tidal environment. *Ocean dynamics* (61), S. 1629–1644.



Foto: A. Plüß, 2006

SMMS

Stratigraphische Modellkomponenten zur Verbesserung von hochaufgelösten und regionalisierten **morphodynamischen Simulationsmodellen (SMMS)**

Teilprojekt: Anwendung und gebrauchstaugliche Nutzung **stratigraphischer Daten** für morphodynamische **Multi-Modell-Simulationen**

1 Aufgabenstellung und Ziel

Ausgehend vom Gesamtziel des Verbundvorhabens, dem Aufbau und der Plausibilisierung einer datenbasierten stratigraphischen Modellkomponente im Rahmen des funktionalen Bodenmodells und der Nutzung dieser Daten in prozessbasierten hydro- und morphodynamischen Simulationsmodellen fokussiert dieses Teilprojekt vor allem auf die Bildung einer qualitätsgesicherten Datenbasis. Der Antragsteller (smile consult GmbH) und die BAW als forschende Oberbehörde haben durch ihre fortlaufenden Aufgaben auch sedimentologische Daten des Bodens (Oberflächensedimente und vertikale Sedimentverteilung aus Bohrungen (die stratigraphischen Daten)) zusammengetragen, die im Rahmen dieses Teilprojektes gesichtet, aufbereitet und dem Verbundprojekt verfügbar gemacht werden.

Neben dem Aufbau der stratigraphischen Komponente besteht ein wesentliches Ziel des Projektes darin, den praxistauglichen Einsatz der hier abgeleiteten Produkte durch den Einsatz verschiedener hydro- und morphodynamischer Simulationsmodelle unterschiedlicher Ausprägung nachzuweisen. Der räumliche Fokus liegt hierbei auf dem Gebiet der Deutschen Bucht mit den sandigen Küsten, den vorgelagerten Inseln, den Watten sowie den Ästuar-mündungen.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

In enger Abstimmung mit den assoziierten Partnern und insbesondere der projektbegleitenden Gruppe des KFKI werden Fokusgebiete ausgewählt, an denen zum Einen die entwickelten Interpolationsverfahren des datenbasierten stratigraphischen Modells geprüft und weiterentwickelt und zum Anderen die morphodynamischen Simulationsmodelle auf ganz konkrete Fragestellungen des Küsteningenieurwesens/der Ästuardynamik angewendet werden.

Auftragsnummer:

B3955.02.04.70233

Auftragsleitung:

Dr. Andreas Plüß
andreas.pluess@baw.de

Auftragsbearbeitung:



Dr. Katharina Müller-Navarra
katharina.mueller-
navarra@baw.de

Laufzeit:

2019 bis 2021

3 Untersuchungsmethoden

Basierend auf den bathymetrischen und oberflächensedimentologischen Modellkomponenten sollen zunächst die verfügbaren stratigraphischen Naturdaten zusammengetragen, qualitätsgesichert und homogenisiert werden (Basisdaten). Hierzu werden die in der BAW und den WSÄ vorhandenen Bohrungen (etwa 3.000 Bohrungen) gesichtet und aus der analogen Form (Papierform, Bild 1) in ein digital zu verarbeitendes Format überführt. Dabei sind die zum Aufnahmezeitpunkt (zurück bis in die 1960er Jahre) geltenden Normen, Vorschriften und Bezeichnungen (DIN EN ISO 14688-1:2018 bis DIN 4022: 1938-04) zu beachten.

Zugleich werden die Daten dokumentiert (Metadaten), harmonisiert und mit lithologisch vergleichbaren Daten der näheren Umgebung qualitätsgesichert. Hierzu werden Bohrungen aus anderen Projekten wie z. B. „Geopotential Deutsche Nordsee“ (GPDN) herangezogen, aber auch Daten aus Behörden wie dem „Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume“ (LLUR) und dem „Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrografie“ (BSH) berücksichtigt. Zurzeit sind im Arbeitsgebiet (mit einer Fläche von ca. 10.000 km²) über 19.000 Bohrungen enthalten. Die Phase der Zusammenstellung und Homogenisierung der Datengrundlage ist gegenwärtig in Arbeit und noch nicht abgeschlossen.

Die BAW wird morphodynamische Berechnungen unter Wirkung von Tidedynamik sowie Salz- und Sedimenttransport mit den Modellierungssystemen UnTRIM/SediMorph, sowie zur Qualitätssicherung mit DELFT3D/MOR, durchführen (Plüß und Milbradt 2014). Als Projektpartner wird die smile consult GmbH Vergleichsuntersuchungen mit MARINA betreiben.

4 Ergebnisse

Die Ansprachen der Bohrungen sind über die Jahre von unterschiedlichsten Bearbeitern, abhängig vom Zweck der abgeteufte Bohrung, in ihrer Qualität und Genauigkeit höchst divers. Zudem können Höhen- und Lagebezüge ganz fehlen oder ungenau sein. Ein, wenn im Sediment vorhanden, verlässlich protokolliertes homogenes, organogenes Sediment bilden die Torfe, welche sich abhängig von holozänen Meeresspiegelschwankungen in Küstennähe bei steigendem Grundwasser flächenhaft bilden konnten (Streif 1990).

Im Gegensatz zu dieser homogenen Schicht lassen sich die Siliziklastika in ihrer Heterogenität über kürzeste Distanzen, verursacht durch Rinnenverlagerung, transgressive und regressive sedimentäre Abfolgen und zuletzt auch durch anthropogene Eingriffe in den küstennahen Naturraum, basierend auf einer geologischen Perspektive nur interpretativ korrelieren. Daten aus reflexionsseismischen Verfahren werden hier unterstützend mit eingebunden. Diese stellen ein weiteres Hilfsmittel zur Detektion von homogenen Schichten innerhalb der lithostratigraphischen Abfolge dar.

Die Gesamtheit an Naturmessungen in ihrer noch divers vorliegenden Qualität birgt ein hohes Potential, die Bildungsbedingungen des flacheren Untergrundes der Nordseeküste zu verstehen und damit auf die zukünftige Variabilität dieses dynamischen Systems mit den entsprechenden bautechnischen Maßnahmen reagieren zu können.

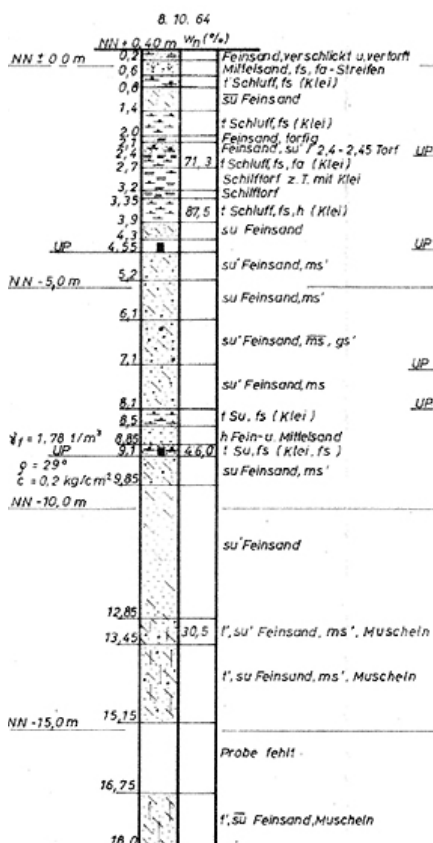


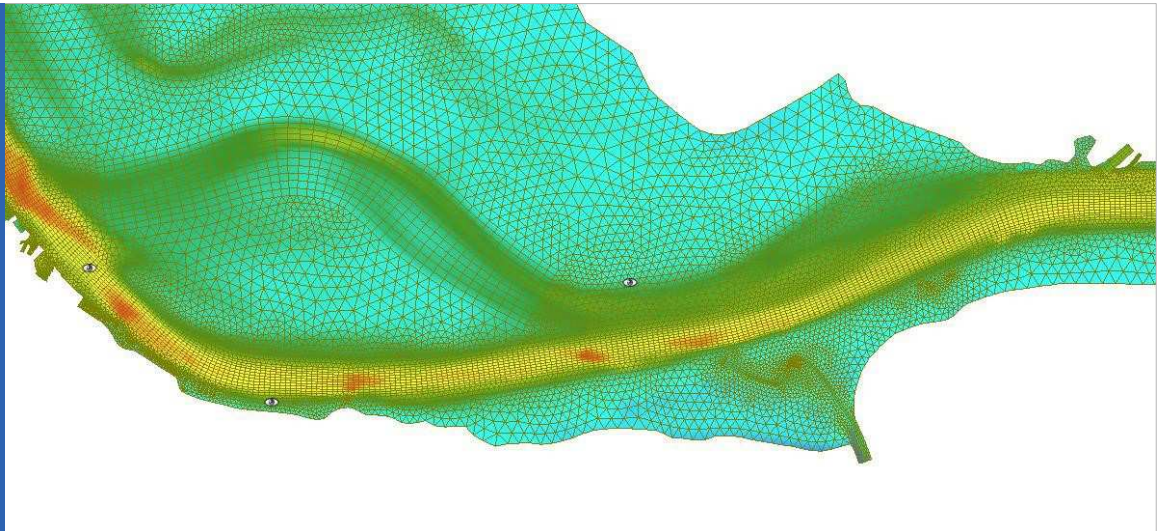
Bild 1: Bohransprache einer einzelnen Bohrung aus einem BAW-Gutachten im Rahmen der Eiderabdämmung, 1964. Aufgeführt sind, neben der linguistischen Ansprache der einzelnen Schichten, auch Laborkennwerte.

Literatur:

Reineck, H.-E. (1958): Longitudinale Schrägschichtung im Watt. Geologische Rundschau, 47, S. 73–82.

Streif, H. (1990): Das ostfriesische Küstengebiet. Sammlung geologischer Führer, 57, 376 S.

Plüß, A.; Milbradt, P. (2014): Morphodynamic evolution in the mouth of the Elbe estuary. In: Lehfeldt & Kopmann (eds): ICHE-2014 Hamburg, BAW, 7 S., ISBN 987-939230-32-8.



Integration D-Flow FM

1 Aufgabenstellung und Ziel

Das mathematische Verfahren Delft3D wird seit 2005 in der BAW-DH eingesetzt. Mit Delft3D können Hydrodynamik und Transport gelöster sowie suspendierter Substanzen, morphologische Änderungen, Seegang sowie verschiedene Wasserqualitäts-Prozesse simuliert werden.

Im Gegensatz zu den mathematischen Verfahren UnTRIM und UnTRIM2 (mit SubGrid), die mit unstrukturierten, orthogonalen Gitternetzen genutzt werden, kann Delft3D nur auf strukturierten, krummlinig-orthogonalen Gitternetzen arbeiten. Dies stellt für die geometrisch komplexen Küsten-, Ästuar- und Hafengebiete einen Nachteil dar, da die Erstellung geeigneter Netze nicht immer oder nur mit sehr großem Aufwand möglich ist.

Seit einigen Jahren arbeitet Deltares an einem Nachfolgemodell für Delft3D. Der Arbeitsname ist D-Flow FM (Kernkamp et al. 2011). Im Gegensatz zu Delft3D kann D-Flow FM auch auf einem unstrukturierten Gitternetz eingesetzt werden. Des Weiteren wird der Code von D-Flow FM seit 2014 für ausgewählte Testuser als Open Source zur Verfügung gestellt. Hierdurch können erforderliche Anpassungen oder Erweiterungen durch Mitarbeiter der BAW oder von Dritten, z. B. Universitäten, durchgeführt und der Gemeinschaft der Anwender von D-Flow FM zur Verfügung gestellt werden. Es ist zu erwarten, dass D-Flow FM eine weite Verbreitung, intensive Anwendung und rasche Weiterentwicklung erfahren wird. Das in der BAW-DH eingesetzte mathematische Verfahren Delft3D soll durch D-Flow FM ersetzt werden. Hierbei ist D-Flow FM insbesondere mit den in der BAW-DH standardmäßig genutzten Methoden des Pre- und Postprocessing zu verknüpfen. Einheitlich soll das Dateiformat NetCDF in Kombination mit dem CF-Metadatenstandard benutzt werden.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Der parallele Einsatz unterschiedlicher mathematischer Verfahren (Multi-Modell-Ansatz) für dieselbe Fragestellung, beispielsweise bei Ausbaumaßnahmen, verbessert die Sicherheit der mit mathematischen Verfahren erstellten

Auftragsnummer:

B3955.03.04.70221

Auftragsleitung:

Dr. Aissa M. Sehili
 Aissa.sehili@baw.de

Laufzeit:

2014 bis 2021

Prognosen. Die oben genannten Methoden bilden das Rückgrat praktisch aller für die WSV in Bezug auf Fragestellungen an den Seeschiffahrtsstraßen in der BAW durchgeführten Untersuchungen.

3 Untersuchungsmethoden

Die Ausgaben der mit dem neuen numerischen Verfahren D-Flow FM durchgeführten Simulationen erfolgen im Format UGRID CF NetCDF. Für die Auswertung der Ergebnisse werden die in der BAW entwickelten NC-Tools NCPlot, NCANALYSE, NCDELTA und NCAGGREGATE verwendet (<https://wiki.baw.de/de/index.php/Hauptseite>).

4 Ergebnisse

Die Installation der kompletten Delft3D-Suite auf dem BAW-Linux-Cluster wurde erfolgreich durchgeführt. Dafür wurden alle notwendigen zusätzlichen Bibliotheken wie PROJ, Shapelib oder PETSc mitinstalliert. Die neuen generischen Methoden ermöglichen eine vereinfachte Installation beliebiger Versionen.

Es erfolgte eine Mitarbeit an der Aufstellung der DFlow-FM-Modelle des Projekts „Herkulis“ zur Charakterisierung des Sedimenttransport im deutschen Nordsee-Küstenvorfeld. Die Portierung der Deltashell-Einstellungen auf dem Linux-Cluster sowie erfolgreiche gekoppelte Seegang- (SWAN) und morphodynamische Simulationen konnten in einem UTM32-Referenzsystem realisiert werden. Gekoppelte SWAN-Simulationen in geographischen Koordinaten blieben hingegen erfolglos. Der Fehler wurde an Deltares weitergeleitet. Der Wärmeaustausch mit der Atmosphäre anhand des „Composite heat flux model“ konnte nach Anpassung der NetCDF-meteorologischen Felder durchgeführt werden.

Mit dem 2D-DFlow-FM-Modell der Deutschen Bucht wird an der Anpassung und der Vereinheitlichung der DFlow-FM-UGRID-NetCDF-Ausgaben in Zusammenarbeit mit Deltares gearbeitet. Teil der original erzielten DFlow-FM-Ergebnisse konnten ohne Korrektur mit dem BAW-Analyse-Programm NCANALYSE prozessiert werden (siehe Bild 1).

Parallel dazu wurden die zwei in Deltares neu entwickelten 2D-DCSM-FM-Modelle (feine und grobe Auflösung) auf das BAW-Cluster portiert und sind mit realistischen Randbedingungen getestet worden. Das feinaufgelöste Modell (400 m an der deutschen Küste) sollte in näherer Zukunft das alte DCSMv6 FM als Randwerte-Generator ersetzen.

Darüber hinaus werden für die tägliche operationelle Wasserstandsvorhersage in der Deutschen Bucht mit dem BAW-GBOM (German Bight Operational Model) Randwerte aus DCSMv6 FM bereitgestellt.

Da DFlow FM kontinuierlich weiterentwickelt wird, werden auch laufend neue Versionen freigegeben. Dies bedeutet, dass eine fortwährende Überprüfung der erzielten Ergebnisse durchgeführt werden muss.

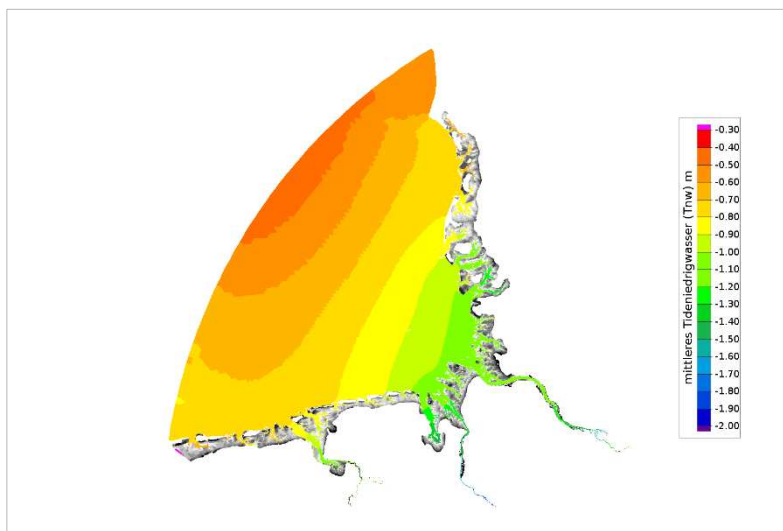


Bild 1: Mittleres Tideniedrigwasser in der Deutschen Bucht für den Zeitraum Februar bis September 2010. Simulation mit DCSM-FM-Randbedingung. Ergebnis aus NCANALYSE-TDKW der originalen UGRID-NetCDF-DFlow-FM-Daten.

Literatur:

Sehili, A.; Lang, G.; Benndorf, J. (2020): Towards a unified UGRID-NetCDF file format for flow simulations on unstructured grids. DANUBIUS-RI Modelling Node Webinar, Delft Software Days, 1 December 2020.

Sehili, A. (2018): GBOM. Das operationelle Deutsche-Bucht-Modell. DCSMv6 FM als Randwerte-Generator. BAW-interne Veranstaltung „TV12“, Dezember 2018, Hamburg.

Sehili, A. (2015): Developing a hydrodynamical model for the Elbe Estuary using Delft3D Flexible Mesh. Next Generation Hydro Software Symposium. Delft, Netherlands, 3–4 November 2015.



Prozessintegration und Performanzsteigerung des biogeochemischen Modells der Tideelbe

1 Aufgabenstellung und Ziel

Eingriffe an Gewässern, wie zum Beispiel die Fahrrinnenanpassung an der Tideelbe (Titelbild), unterliegen heute hohen Umweltauflagen und dem kritischen Blick von potenziellen Einwendern. Um Maßnahmen erfolgreich zu planen und durchzuführen, sind daher immer aufwändigere Untersuchungskonzepte notwendig, die auch ein verbessertes Systemverständnis voraussetzen. Gerade an der Tideelbe mit ihren sommerlichen Sauerstoffmangelsituationen werden Maßnahmen, wie zum Beispiel Umlagerungen, kritisch beobachtet.

Das in den vorangegangenen FuE-Projekten entwickelte hydrodynamisch-biogeochemische Modell der Tideelbe (A39550370190, B3955.03.04.70228) bietet die Möglichkeit, Maßnahmen hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf gewässerökologische Größen, wie z. B. den Sauerstoffgehalt oder den Nährstofftransport, systematisch und einheitlich zu untersuchen. An diese Arbeiten soll nun angeknüpft werden, um unter anderem biogeochemische Einflüsse auf den partikelgebundenen Transport zu untersuchen. Durch Flokkulation verändern sich die Größe und damit auch das Sedimentationsverhalten von Partikelaggregaten im Ästuar. Bisherige Modelle sind stark auf physikalische Prozesse ausgerichtet und vernachlässigen mögliche wichtige biogeochemische Einflussgrößen. Dies soll nun untersucht und ein entsprechendes Modell entwickelt werden.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Umlagerungen im Bereich des Ästuars unterliegen sowohl ökonomischen als auch ökologischen Zwängen. Baggerungen sind nicht nur teuer, sie haben unter Umständen auch weitreichende ökologische Auswirkungen. Ganz direkt wird zum Beispiel durch Trübungsfahnen das Lichtklima im Gewässer verändert, was Auswirkungen auf die aquatischen Organismen hat. Zusätzlich können auch sedimentgebundene Schadstoffe remobilisiert werden. Es ist daher wichtig, das Verhalten von Feststoffpartikeln, und damit auch ihre Transportwege, besser zu verstehen und im Modell abzubilden. So können in Zukunft wirtschaftliche und ökologische Aspekte besser in Einklang gebracht werden.

Auftragsnummer:

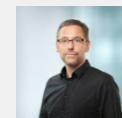
B3955.03.04.70239

Auftragsleitung:



Dr. Norbert Winkel
 norbert.winkel@baw.de

Auftragsbearbeitung:



Dr. Arne Hammrich
 arne.hammrich@baw.de

Laufzeit:

2019 bis 2022

Die langfristige Bereitstellung und technische Weiterentwicklung des gekoppelten Modells der Tideelbe für den Projektbetrieb stellt dabei auch einen Schritt in Richtung operationell arbeitender Modelle dar.

3 Untersuchungsmethoden

Es kommen ausschließlich numerische Methoden zur Anwendung. Die hydrodynamischen Berechnungen werden mit dem numerischen Verfahren UNTRIM2 (Casulli und Stelling 2010) durchgeführt. Für die anschließende biogeochemische Simulation werden die hydrodynamischen Ergebnisse offline an die Modellumgebung D-Water Quality (Deltares 2019) gekoppelt. Im Rahmen der angestrebten Performanzsteigerung ist zusätzlich eine Kopplung an die Modellumgebung FABM (Bruggeman und Bolding 2014) geplant.

Die Ausgabe der Ergebnisdateien erfolgt im Format UGRID NetCDF, dies ermöglicht die Nutzung der standardisierten Workflows und Tools der BAW. So kann eine langfristige qualitätsgesicherte und dokumentierte Verwertung der Modellergebnisse sichergestellt werden.

4 Ergebnisse

Derzeit wird das Berechnungsgitter, auf dem das biogeochemische Modell aufbaut, überarbeitet. Zum einen wird das aktuelle DGM-W 2016 der Tideelbe implementiert, zum anderen wird das Berechnungsgitter an das „Standardmodell“ der BAW angepasst. Im Vergleich zu einem rein hydraulischen Modell ist das biogeochemische Modell rechen- und damit auch zeitintensiver, daher wird hier mit einer gröberen Gitterauflösung gearbeitet. Die Anpassung ist daher ein Kompromiss zwischen dem höheren Rechenaufwand und der bestmöglichen Übereinstimmung mit dem „Standardmodell“ der BAW.

Darüber hinaus wurde ein idealisiertes 1D-Flokkulationsmodell erstellt, mit dem die Schwebstoffkonzentration und die mittlere Partikelgröße der Schwebstoffe berechnet werden kann. Erste Tests zeigen eine gute Übereinstimmung der Schwebstoffkonzentration mit den Messdaten (Bild 1 unten). Die mittlere Partikelgröße hat derzeit noch eine Abweichung von etwa 25 %, das Modell reproduziert jedoch die grundlegenden Trends (Bild 1 oben). Im nächsten Schritt wird das Flokkulationsmodell an ein biogeochemisches Modell gekoppelt, um die Flokkulation um ein biologisch moduliertes Signal zu ergänzen. Mit diesem Modell soll die Flokkulation und letztlich auch die Sinkgeschwindigkeit der Schwebstoffe in der Tideelbe besser beschrieben werden.

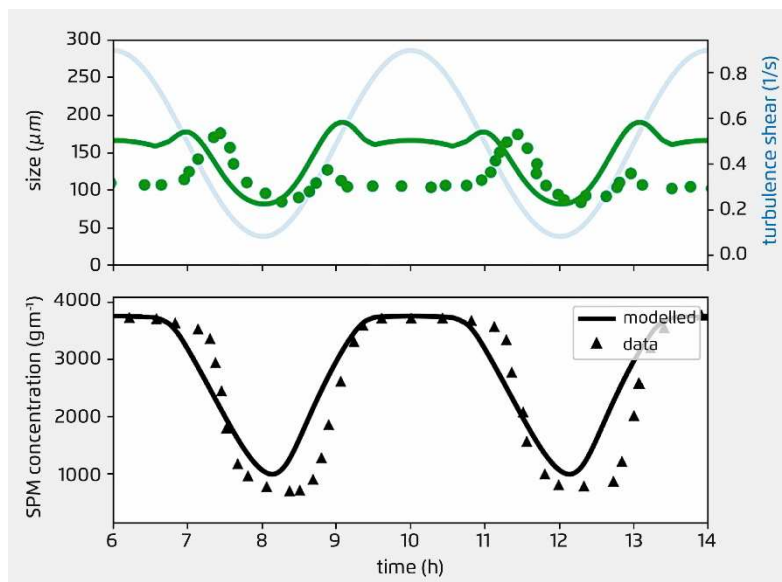


Bild 1: Erste Ergebnisse des Flokkulationsmodells; oben Partikelgröße, unten Partikelkonzentration (Li et al. 2020).

Literatur:

Bruggeman, J.; Bolding, K. (2014): A general framework for aquatic biogeochemical models. In: *Environmental Modelling & Software*, 61, S. 249–265.

Casulli, V.; Stelling, G. S. (2011): Semi-implicit subgrid modelling of three-dimensional free-surface flows. In: *Int. J. Numer. Meth. Fluids*, 67, 4, S. 441–449.

Deltares (2019): D-Water Quality, User Manual. Online verfügbar unter https://content.oss.deltares.nl/delft3d/manuals/D-Water_Quality_User_Manual.pdf.

Li, E.; Wirtz, K. (2020): Interaction between biology and estuarine suspended particle dynamics through aggregation (in preparation).



FuE: MudEms

Flüssigschlick im Emsästuar

1 Aufgabenstellung und Ziel

Über die letzten Jahrzehnte ist es zu einer zunehmenden Verschlickung an der deutschen Küste gekommen. Insbesondere das Emsästuar ist von hohen Schwebstoffkonzentrationen betroffen. In der Unterems wurden Flüssigschlickschichten über mehrere Meter Mächtigkeit mit bis zu 50 g/l über etwa die Hälfte der Wassersäule beobachtet (Becker et al. 2018), was mit ökologischen Folgen (kaum/kein Sauerstoff) sowie ökonomischen Konsequenzen (hoher Unterhaltungsaufwand) verbunden ist.

Um zukünftig Aussagen hinsichtlich der Verschlickungsproblematik treffen zu können, ist es ein notwendiger Schritt, das vorhandene Prognoseverfahren fachlich zu erweitern und abzusichern. In vergangenen FuE-Projekten (MudSim, MudEstuary) lag der Fokus auf dem Prozessverständnis der komplexen Tidedynamik unter dem Einfluss von Flüssigschlick. Eine Anwendung mit einer Verifizierung sowie fundierter Kalibrierung und Validierung in einem hochaufgelösten Ästuarmodell der Ems fehlt bislang. Hierfür ist auch zwingend ein erweitertes Prozessverständnis erforderlich. Um die hydrologischen Verhältnisse im Ems-Dollart Ästuar zu untersuchen, fand das internationale Messprogramm Ems-Dollart-Measurements (EDoM) im Zeitraum 2018/2019 statt (Blick auf das Messgebiet, Titelbild). Die Analyse der Messdaten mit einem Vergleich sowie einer Weiterentwicklung des Simulationsmodells stehen nun im Fokus des Forschungsprojekts MudEms.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Die BAW hat den Auftrag, für die WSV hydro- und morphodynamische Simulationen und Bewertungen von Maßnahmen u. a. für den Masterplan Ems 2050 durchzuführen. Die Untersuchungen erfolgen in Kooperation mit dem Land Niedersachsen (NLWKN), welche ein Flüssigschlickmodul im Rahmen ihrer Modellierungen entwickeln und anwenden (Oberrecht et al. 2016).

Die Weiterentwicklung der Methoden sowie die Diskussion zum Prozessverständnis sind dabei unerlässlich, um die Anforderungen als behördlicher Gutachter zu erfüllen. Das Ziel ist es, notwendige Vorhaben zur Verringerung der Verschlickungsproblematik prognostisch abzusichern.

Auftragsnummer:

B3955.03.04.70241

Auftragsleitung:

Marie Naulin
 marie.naulin@baw.de

Auftragsbearbeitung:

Anna Wünsche
 anna.wuensche@baw.de

Laufzeit:

2018 bis 2022

3 Untersuchungsmethoden

Als Untersuchungsmethoden sollen die Analyse von Messdaten und numerische Modelle Anwendung finden. In MudEms sollen die beiden Arbeitsschwerpunkte Weiterentwicklung des Simulationsverfahrens und die praktische Anwendung in einem hochaufgelöstem 3D-Modell der Ems fortgesetzt und verbessert werden. Hierfür ist jedoch zunächst ein verbessertes Prozessverständnis des Emsästuars erforderlich. Aus diesem Grund wurden die Arbeitsschwerpunkte um ein weiteres Arbeitspaket ergänzt, was sich der Analyse von Messdaten widmet. Die einzelnen Arbeitspakete umfassen:

- AP 1: Analyse von Messdaten
 - Langzeitliche Änderungen aus Daten der Dauermessstationen
 - Prozessverständnis aus Daten der EDoM-Messkampagne
- AP 2: Weiterentwicklung Simulationsmodell
- AP 3: Anwendung Emsmodell
 - Kalibrierung und Validierung mit Daten aus EDoM 2018/2019
 - Entstehung von Flüssigschlick
 - Masterplan Ems 2050

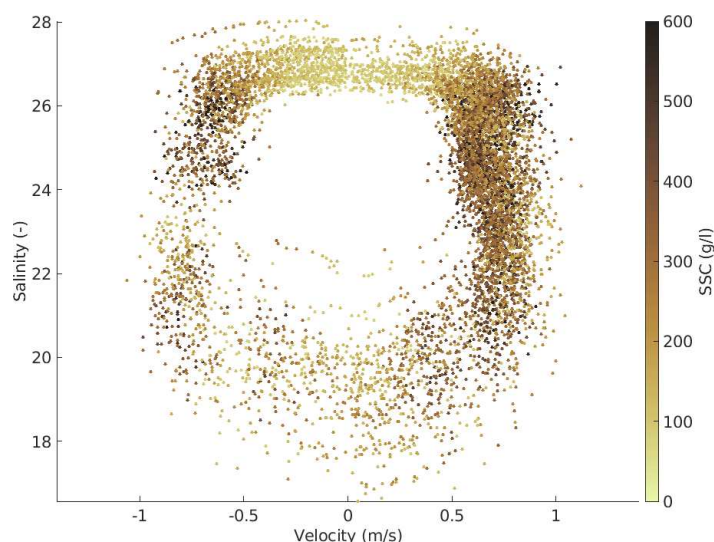
Weiterhin ist ein Bestandteil des Forschungsvorhabens der Austausch von Forschungsaktivitäten im Bereich „Schlick in Ästuaren“ mit weiteren Partnern aus Forschung und Praxis. Hierfür finden Kooperationen, u. a. mit der Universität der Bundeswehr in München, dem Institut für Ostseeforschung Warnemünde und der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, statt.

4 Zwischenergebnisse

In diesem Kurzbericht werden die Zwischenergebnisse des AP 1 dargestellt. Die Untersuchungen der Dauermessdaten fokussieren die Parameter Wasserstand, Strömungsgeschwindigkeit und Salzgehalt sowie davon abgeleitete Größen. Die Analysen bestätigen den extremen Anstieg des Tidenhubs, insbesondere in der Unterems, und den damit einhergehenden Anstieg des Salzgehalts. Mittels Ebbe- und Flutdauer, sowie des Phasenverhältnis von M4 und M2 wurden in Außen- und Unterems Bereiche des Sedimentimports charakterisiert (flut-dominant). Der Bereich Knock, Emders Fahrwasser bis Pogum hingegen wurde als Sedimentexportgebiet identifiziert (ebb-dominant). Die langjährige Entwicklung ist primär anthropogenen Eingriffen (Baumaßnahmen, Sedimentmanagement) zuzuordnen. Jedoch ist die Trägheit des Systems bezüglich solcher Anpassungen nicht-linear und daher schwer nachvollziehbar.

Die Auswertung der EDoM'18-Kampagne konzentriert sich aktuell auf das Emders Fahrwasser (Bereich Sedimentexport). Der Transport von hohen Schwebstoffkonzentrationen ist sowohl während Flut als auch in Ebbe zu beobachten (Bild 1). Ergebnisse der Asymmetrien in Geschwindigkeiten und Wasserständen zeigen Prozesse auf kleineren Zeitskalen als die Entwicklung der Trends der Langzeitmessungen. Wichtiger Faktor hierbei ist Variabilität auf saisonalen bis mehrjährigen Skalen.

In den nächsten Schritten werden diese Ergebnisse mit denen der anderen Stationen verbunden, um beispielsweise die horizontale Zirkulation und somit den Transport(-weg) des Schwebstoffs zu charakterisieren. Darüber hinaus wird die vertikale Variabilität eine große Rolle spielen. Ziel ist es, Teilprozesse der Ablagerung des Sediments, besonders im Emders Fahrwasser, zu bestimmen.



Literatur:

Becker, Marius; Maushake, Christian; Winter, Christian (2018). Observations of mud-induced periodic stratification in a hyperturbid estuary. *Geophysical Research Letters*, 45.

Oberrecht, Dennis; Franz, Benjamin; Wurpts, Andreas (2016): Hydro- und morphodynamische Auswirkungen eines Tidesteuerungsbetriebes mit dem Emssperrwerk. Analyse im Rahmen der Machbarkeitsstudie zum Masterplan Ems 2050. Gutachten 04/2016 NLWKN

Bild 1: Schwebstoffkonzentration (SSC) in g/l farbig dargestellt über Salzgehalt (Salinity) und Geschwindigkeit (Velocity) in m/s.



Einsatz von alternativen Antriebstechnologien

Grundlagenermittlung für Entwürfe von Behördenschiffen

1 Aufgabenstellung und Ziel

Im Zuge weiterer Verschärfungen der Grenzwertsetzung von Abgasemissionen in der See- und Binnenschifffahrt sind aus Sicht des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) sowie des nachgeordneten Bereiches Anstrengungen erforderlich, repräsentative Beispiele für den Einsatz moderner und umweltfreundlicher Antriebstechnologien, insbesondere im Bereich der Behördenschiffe zu schaffen. Hierbei geht es neben der Nutzung alternativer Kraftstoffe, wie z. B. Liquefied Natural Gas (LNG) oder Gas-To-Liquids (GTL) auch um die Untersuchung/Etablierung des Einsatzes emissionsarmer oder -loser Antriebstechniken, in diesem Falle um die Möglichkeit von elektrischen Antriebsanlagen unter anderem mit Batteriespeichern.

Da alternative Antriebstechnologien bei zukünftigen Schiffsneubauprojekten eine immer größere Rolle spielen, ist das Ziel der Forschungsarbeit, die praktische Umsetzung vorhandener und zukünftiger Technologien auf die konkrete Anwendung im Bereich der Wasserfahrzeuge des BMVI und seines nachgeordneten Bereiches voranzubringen. Zudem sollen Einsatzerfahrungen zur Optimierung und Übertragung wesentlicher Erkenntnisse auf weitergehende Anwendungen im Geschäftsbereich untersucht werden.

Dazu sind der technologische Fortschritt einzubeziehen und geeignete Entwürfe zu erstellen, die sukzessive an die unterschiedlichen Schiffsanforderungen angepasst und weiterentwickelt werden, um diese realisieren zu können. Die Erarbeitung von Monitoringkonzepten soll dabei die erforderliche Datengrundlage liefern.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Die WSV verfügt im Binnenbereich über eine große Anzahl an Arbeits- und Aufsichtsfahrzeugen (Typ Spatz), für die auf Grund ihrer Altersstruktur in absehbarer Zeit die Notwendigkeit von Grundinstandsetzungen, u. a. der Antriebstechnik und konkret hier der Antriebsmotoren, entsteht. An einer geeigneten alternativen Energie- und Antriebskonzeption, die z. B. rein elektrisch erfolgen könnte, besteht grundlegendes Interesse vor den absehbar anstehenden Investitionsentscheidungen und Anforderungen an

Auftragsnummer:

B3955.04.04.70001

Auftragsleitung:

Benno Lenkeit
 benno.lenkeit@baw.de

Auftragsbearbeitung:

Jan Moritz Schäfer
 moritz.schaefer@baw.de

Laufzeit:

2018 bis 2022

Umweltschutzaspekte. Darüber hinaus spielt auch für andere verschiedene Fahrzeugarten der WSV im See- und Binnenbereich, die für verschiedene Aufgaben wie Tonnenlegen, Vermessung oder maritime Notfallvorsorge eingesetzt werden, der Einsatz alternativer Antriebstechnologien eine zukünftig wichtige Rolle. Die sich daraus ergebenden Möglichkeiten können ein wesentlicher Beitrag seitens der WSV zur Reduzierung der Emissionen der Flotte und damit zum Erreichen des Klimaziels der Bundesregierung werden.

3 Untersuchungsmethoden

- Durchführung von Marktrecherchen zu bereits vorhandenen Anwendungen alternativer Antriebstechnologien, Marktrecherche zu aktuellen und in der Entwicklung befindlichen Systemen und Systemkomponenten.
- Durchführung technischer Vergleichsbetrachtungen und Bewertungen hinsichtlich der Anwendbarkeit für verschiedene Einsatzfälle.
- Entwurfsarbeit zur Integration von alternativen Antriebstechnologien in verschiedenen Fahrzeugtypen der WSV (u. a. Elektro- Spatz (E-Spatz) oder kleines Mehrzweckschiff zur maritimen Notfallvorsorge).
- Entwicklung geeigneter Monitoringkonzepte für die Datenerfassung und Begleitung von Prototypen im Betrieb zur Entwicklung von Optimierungsansätzen und zur gezielten Auslegung der Systeme.

4 Ergebnisse

In Phase eins der Untersuchung konnte eine Wissensbasis zu alternativen Antriebstechnologien aufgebaut werden, die fortlaufend an den technologischen Fortschritt angepasst wird. Im Zuge des Neubaus des Vermessungs-, Wracksuch- und Forschungsschiffes ATAIR sind neue Vermessungsboote (Tochterboote) mit alternativem Antriebskonzept geplant worden. Durch das dazu erstellte technische Konzept wurde als Ergebnis ein leistungsoptimierter Bootsentwurf entwickelt, der zu einer erheblichen Leistungseinsparung zur Erreichung der geforderten Geschwindigkeit geführt hat. Der Bootsentwurf dient als Basis für weitere Projekte innerhalb des Forschungsvorhabens und konnte schon im Pilotprojekt „E-Spatz“ der WSV eingesetzt werden.

Eine Elektrifizierung der Vermessungsboote wurde wieder verworfen und konnte nicht realisiert werden, da die gestellten Anforderungen an die Vermessungsboote hinsichtlich ihres Fahrprofils (Geschwindigkeit, Einsatzzeit, ...) keine technisch-wirtschaftlich vertretbare/realisierbare Lösung ermöglichten. Zudem hatten sich ausgewählte Lieferanten aus sowohl technischen als auch wirtschaftlichen Gründen aus dem Projekt zurückgezogen.

Im Rahmen der Mitwirkung/Unterstützung im Pilotprojekt „E-Spatz“ der WSV konnten zugewiesene Arbeiten an der notwendigen Voruntersuchung und der Entwurf-Ausführungsunterlage (E-AU) gemäß Verwaltungsvorschriften der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung (VV WSV) 2107 durchgeführt werden. Nach erfolgreicher Genehmigung im Sommer 2020 wird das Pilotprojekt im nächsten Schritt in die Ausschreibung gebracht und bis zu seiner Realisierung begleitet.

Nach knapp einjähriger Ruhephase ist das FuE-Vorhaben nach Neustart im November 2019 wieder aufgenommen worden und die weitere Bearbeitung ist durch die Erkenntnisse aus Phase eins angepasst worden.

Die notwendigen Arbeitspakete können nun wie folgt definiert werden:

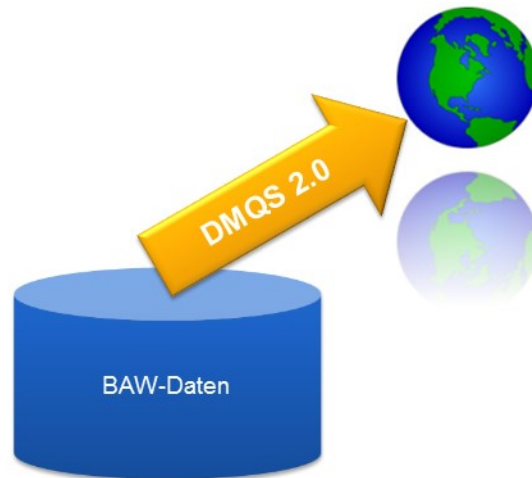
2018 – Marktrecherche, technische Konzepte, technisches Konzept Vermessungsboote, technische Konzepte für Arbeitsschiffe der WSV

2019/2020 – Entwurfsarbeit für Arbeitsschiffe der WSV, fortlaufende Marktrecherche

2021/2022 – Fortsetzung der Entwurfsarbeit für Arbeitsschiffe der WSV/Schiffe der maritimen Notfallvorsorge, Aufnahme Betrieb, Monitoring im Betrieb, erste Erkenntnisse/Erfahrungen aus dem Betrieb, Schwachstellenanalyse und Ansätze zu technischen Anpassungen



Bild 1: Entwurfsmodell E-Spatz (BAW, Referat K4).



Datenmanagement und Qualitätssicherung im Verkehrswasserbau (DMQS) 2.0

Metadateninformationssystem und Langfristspeicherung

1 Aufgabenstellung und Ziel

Die BAW nutzt vielfältige selbst erzeugte Daten zur Erfüllung ihrer speziellen fachlichen Aufgaben. Aufgrund der in den vergangenen Jahren rasant angestiegenen Datenmengen, der immer höheren Komplexität der hierfür vorzuhaltenden technischen Plattformen und der aktuellen politischen und rechtlichen Veränderungen im Umgang mit öffentlich finanzierten Daten ist der Umgang mit und die Bereitstellung von diesen Daten und Publikationen für die BAW neu zu definieren. Die Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse, aber auch die Nachnutzung von Fachdaten muss künftig gewährleistet sein. Das Vorhaben zum Datenmanagement und zur Qualitätssicherung in der BAW ist in drei Teilprojekte gegliedert.

Teilprojekt 1 befasst sich in den Abteilungen Wasserbau im Binnenbereich und Wasserbau im Küstenbereich mit den dort betriebenen numerischen Modellverfahren als den zentralen Methoden zur Bearbeitung der komplexen und sich stetig verändernden Projektaufgaben. Der Umgang mit diesen Daten und deren Dokumentation muss zur Bewältigung des stetig anwachsenden Datenvolumens vereinheitlicht werden. Mithilfe eines zu entwickelnden Metadatenkonzepts sollen so verschiedene Simulationsparameter sowohl für den Bearbeiter als auch für Dritte nachvollziehbar dokumentiert und wieder auffindbar sein. Ein Konzept für das Datenmanagement in der BAW soll die Organisation und Präsentation der Fachdaten innerhalb der BAW und nach außen regeln (z. B. Datenzugriff). Teilprojekt 2 befasst sich mit dem Management von Forschungsdaten und Open Data. Das Datenmanagement (DM) umfasst dabei alle Maßnahmen, die sicherstellen, dass digitale Fachdaten nutzbar sind. DM beginnt bei der Planung eines Vorhabens und umfasst sowohl die Erfassung, Verarbeitung und Aufbewahrung als auch die Öffnung bzw. Beschränkung des Zugangs zu Daten. Anhand von Pilotprojekten wird ein abteilungsübergreifendes Konzept für DM an der BAW sowie ein Veröffentlichungskonzept für Fachdaten entwickelt. Teilprojekt 3 befasst sich in Anlehnung an TP 1 mit dem Management von Labor- und Naturdaten. Die in TP 1 entwickelten Methoden und Systeme sollen für den Bereich der Labor- und Naturdaten ergänzt werden, um ein verfahrensunabhängiges Management von Fachdaten und deren Metadaten einzuführen.

Auftragsnummer:

B3954.07.04.70006

Auftragsleitung:



Thomas Damrau
 thomas.damrau@baw.de

Auftragsbearbeitung:

Georg Carstens
 georg.carstens@baw.de
 Ellen Diermayer
 ellen.diermayer@baw.de
 Kirsten Binder
 kirsten.binder@baw.de

Laufzeit:

2018 bis 2021

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Die Einführung von Richtlinien und Systemen zum Management von Fachdaten und Publikationen führt in der BAW zu einer deutlichen Effizienzsteigerung in der Projektbearbeitung, schafft Transparenz und ermöglicht über die Festlegung von Standards die Sicherung und Kontrollierbarkeit der erreichten Qualität. Gleichzeitig schaffen die Maßnahmen die Basis für eine qualitätsgesicherte und technisch sichere Weitergabe der Fachdaten der BAW an die WSV bzw. an Dritte. Dieses fachlich strukturierte und rechtlich gesicherte Vorgehen schafft eine wesentliche Grundlage zur Erfüllung der gesetzlichen Anforderungen.

3 Untersuchungsmethoden

Die Untersuchungsmethoden für konzeptionelle Arbeiten beinhalten unter anderem die Ist-Analyse der bestehenden Systeme und vorhandenen Daten sowie die Erarbeitung eines Soll-Konzepts. Ferner werden weitere Workflows und Datenflüsse in den Bereichen Modellierung, Laborbearbeitung und Naturmessung in allen Fachbereichen der BAW inklusive der dort entstehenden bzw. verarbeiteten Daten analysiert. Konzepte für die standardisierte Datenbereitstellung für Informationssysteme der Fachabteilungen der BAW werden erstellt. Weiterhin werden Software bzw. technische Systeme z. B. für die Unterstützung von Auftragsbearbeitungs-Workflows, Metadatenerfassung sowie Datenrecherche und Datenlangzeitspeicherung erstellt.

4 Ergebnisse

Für die Verwaltung von automatisiert (via CSW-Schnittstelle) übertragenen oder manuell (via Metadateneditor) zu erfassenden Metadaten wurde das Metadateninformationssystem der BAW (MISBAW) auf der Basis der Open-Source-Software „InGrid“ aufgebaut. MISBAW befindet sich mit dem BAW-Metadatenprofil Version 1.3 im Testbetrieb. Daneben werden Dienste für 1) die langfristige, schreibgeschützte Speicherung von Daten in einem Langfristspeicher (LFS) bei der BAW, 2) die automatisierte Generierung der Metadaten aus den Fachdaten sowie 3) das automatische Kopieren der Daten in den LFS und die Generierung der Download-Links in den Metadaten entwickelt. Die Integration dieser Dienste in MISBAW und weiterer Programme befindet sich im Testbetrieb. Die Produktivsetzung des MISBAW für den BAW-internen Einsatz ist in Kürze geplant.

Die Portal-Komponente des MISBAW (Bild 1) bietet Funktionalitäten für die metadatenbasierte Recherche von Daten entweder über die Freitextsuche oder in der Katalogansicht. Über die Links in den Metadaten können Daten vom LFS heruntergeladen werden. Darüber hinaus können im Kartenklient Karten über die Einbindung von WMS- und WMTS-Diensten dargestellt werden.

Das zunächst auf Simulationsdaten ausgerichtete BAW-Metadatenprofil 1.3 wird nun auch für Messdaten erweitert. Dazu wird anhand von prototypischen Beispielen evaluiert, welche speziellen Informationen für eine ausreichende Beschreibung der BAW-Messdaten benötigt werden. Auswahllisten sollen die Eingabe von Messarten, -methoden, Ortungs- und Beschickungsverfahren erleichtern.

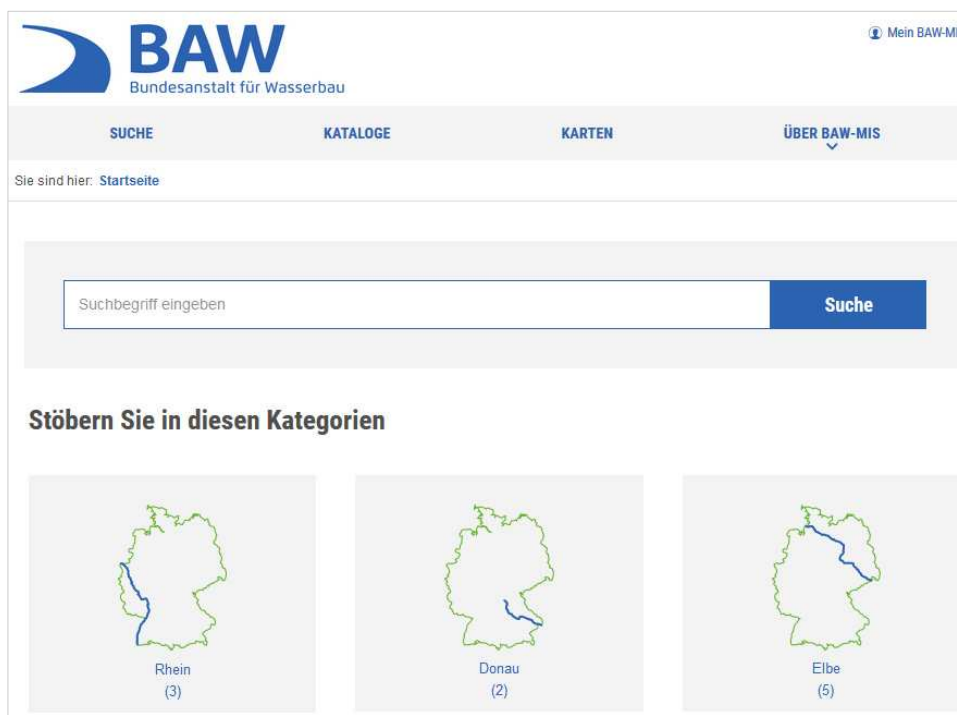
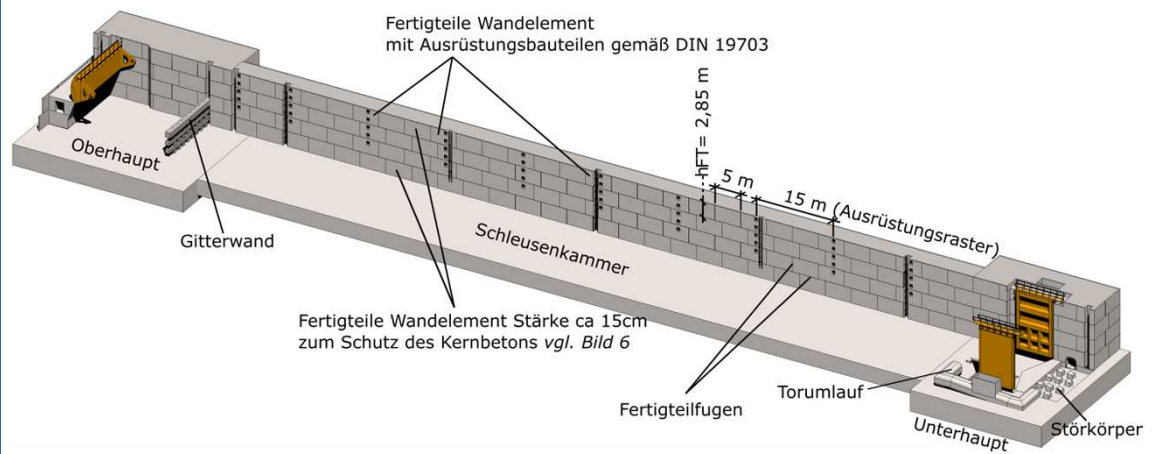


Bild 1: Oberfläche MISBAW.

III. Neue FuE-Vorhaben in 2020



vgl. Lühr et al. (2020) Bild 1

Einsatz von Fertigteilen im massiven Verkehrswasserbau

1 Aufgabenstellung und Ziel

In den kommenden Jahren steht im Bereich der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) eine Vielzahl an großen Baumaßnahmen im Bereich der massiven Wasserbauwerke an. Diese Maßnahmen müssen trotz stetig weiter steigender Anforderungen insbesondere an die Dauerhaftigkeit der Bauwerke und veränderter Rahmenbedingungen bezüglich der Verfügbarkeit von Ressourcen zuverlässig, effizient und kostengünstig abgewickelt werden. Eine besondere Bedeutung kommt dabei den gegenläufigen Anforderungen an die Betonzusammensetzung im Hinblick auf Dauerhaftigkeit und Hydratationswärmeentwicklung zu. Der Einsatz von Fertigteilen und Teilfertigteilen bietet hier Möglichkeiten, den vorgenannten gegenläufigen Anforderungen zu entsprechen (vgl. Lühr et al. 2020).

Das Ziel dieses FuE-Projektes ist es, technisch einheitliche Lösungen für den Einsatz von (Teil-)Fertigteilen im massiven Verkehrswasserbau zu entwickeln.

Wesentliche Aspekte sind dabei:

- Ermittlung geeigneter Einsatzbereiche für Fertigteile beim Neubau und bei der Instandsetzung von Wasserbauwerken
- Erarbeiten technischer Randbedingungen und wasserbauspezifischer Anforderungen für den Einsatz von (Teil-)Fertigteilen im Bereich des massiven Verkehrswasserbaus
- Ausarbeiten von Bemessungsansätzen
- Ausarbeiten der konstruktiven Ausbildung und der Herstellfolgen zur Fertigteilanordnung und -geometrie sowie der Regeldetails für Fugen, Verankerung und Bewehrungsführung
- Erarbeiten eines Leitfadens für den Fertigteileinsatz im massiven Verkehrswasserbau

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Der Einsatz von Fertigteilen kann zu effizienterer und wirtschaftlicherer Umsetzung von Baumaßnahmen führen. Mit Fertigteilen ist ein hohes Maß an Standardisierung verbunden. Dies führt zu höherer Planungssicherheit durch

Auftragsnummer:

B3951.01.04.70008

Auftragsleitung:

Stefan Lühr
 stefan.luehr@baw.de

Laufzeit:

2020 bis 2026

klare Einschätzung von Bauzeiten, -technologien, und -durchführung auf Basis von einheitlichen Regeldetails und Bemessungsansätzen. Im Gegensatz zu einem Ortbeton können in Fertigteilwerken qualitativ hochwertige Betonelemente sogar mit anspruchsvollen Zusammensetzungen unter optimalen Bedingungen hergestellt werden. Die als Außenhaut fungierenden Fertigteile können die Dauerhaftigkeit der Gesamtkonstruktion erhöhen. Den gegenläufigen Anforderungen an die Betonzusammensetzung im Hinblick auf Dauerhaftigkeit und Hydratationswärmeentwicklung kann damit voraussichtlich entsprochen werden. Der innen liegende Kernbeton wird durch die hochwertigen Stahlbetonfertigteile dauerhaft geschützt. Der Kernbeton kann daher mit geringeren Anforderungen an die Betonexposition konzipiert werden. Dies eröffnet die Möglichkeit, Ressourcen in den Ausgangsstoffen zu sparen und kann sich positiv auf die CO²-Bilanz auswirken, sofern weniger Zement und Bewehrungsstahl zur Aufnahme von Zwangsbeanspruchung eingesetzt werden muss. Auch bei einer Verknappung von Flugasche infolge der Abschaltung von Kohlekraftwerken bleibt damit das Betonieren masiger Bauteile möglich. Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass durch die industrielle Vorfertigung die Qualität gesteigert und Bauzeiten optimiert werden können. Die Qualitätssteigerung lässt eine höhere Verlässlichkeit der Anlagen sowie weniger Mängel im Bau erwarten. Die vorgesehenen Nutzungszeiten können insgesamt wirtschaftlicher erreicht werden. Die Erhöhung der Verfügbarkeit der Verkehrsinfrastruktur ist durch Verkürzung der Bauzeit und höhere Ausführungsqualität zu erwarten.

3 Untersuchungsmethoden

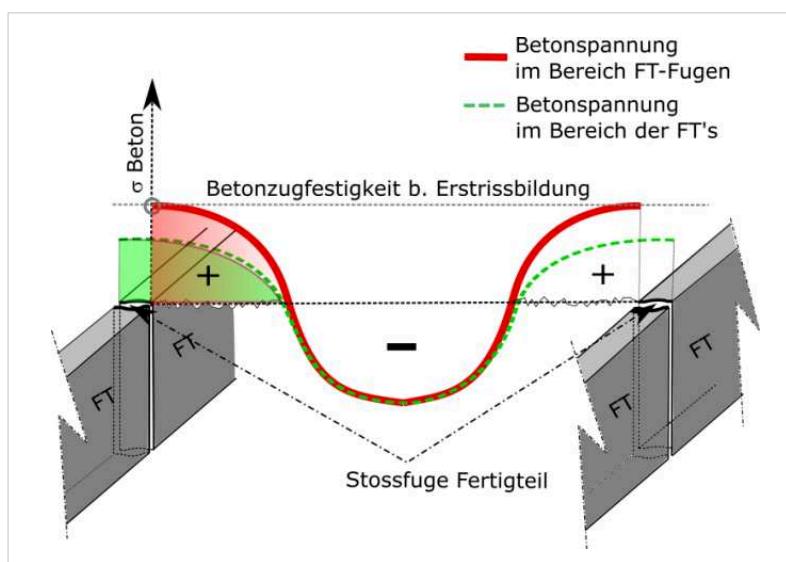
Die Untersuchungsmethoden bestehen vorrangig aus theoretischen Überlegungen und FE-Simulationen, die durch Labor- und Feldversuche ergänzt werden.

Im Einzelnen kommen die folgenden Methoden zur Anwendung:

- Literaturrecherche,
- theoretische Untersuchungen zur Beanspruchung und Ableiten von Berechnungsmodellen,
- statische Berechnungen,
- numerische Parameterstudien,
- Herstellung von Probetonagen der ausgearbeiteten Lösungen im Großversuch,
- Begleitung von Pilotanwendungen und
- statistische Auswertung der Resultate (Ressourceneinsatz, Rissbreiten) und Abgleich mit der Ortbetonbauweise.

4 Ergebnisse

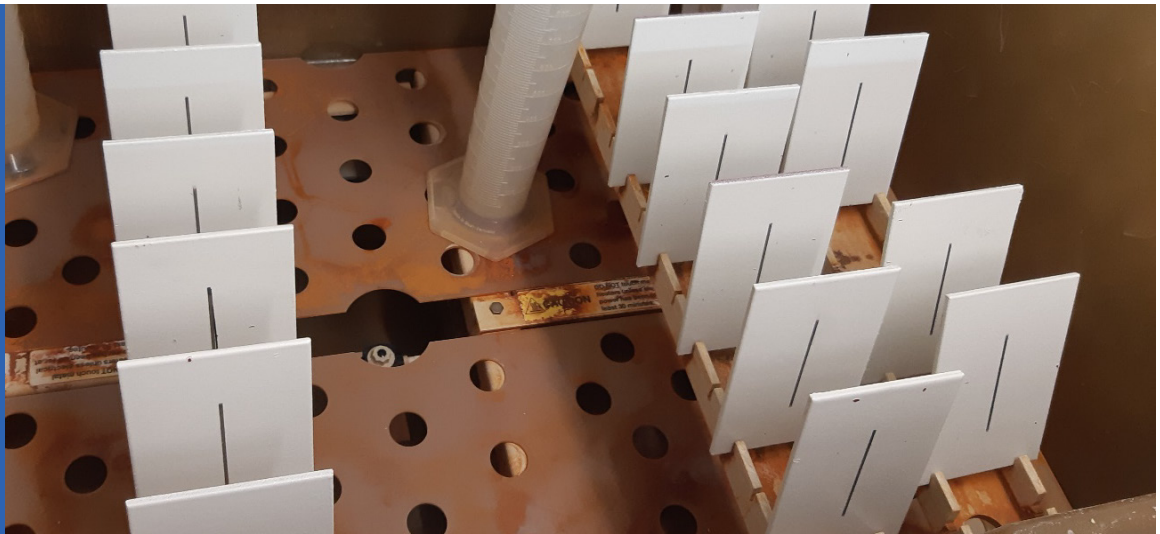
Die Verwendung von Fertigteilen bei Neubau und Instandsetzung von Verkehrswasserbauwerken bietet unter technischen sowie wirtschaftlichen Aspekten erhebliches Potential. Hierzu gehören u. a. die Entkoppelung der konträren Anforderungen an den Beton hinsichtlich Dauerhaftigkeit und Rissbildung infolge Hydratationswärmeentwicklung. Erste Ideen für die Planung und Bemessung von Fertigteilen wurden am System eines Teilerferteils als „verlorene Schalung“ in Lühr et al. (2020) vorgestellt. Mögliche Bemessungsansätze für die Verankerung von Fertigteilen, den Spaltwasserdruck, die Eisbildung im Spalt sowie für die Zwangsbeanspruchungen (vgl. Bild 1) werden dort aufgezeigt.



Literatur:

Lühr, Stefan; Westendarp, Andreas; Stephan, Christoph; Kunz, Claus (2020): Einsatz von Fertigteilen im massiven Verkehrswasserbau. In: Bautechnik 97 (6), DOI 10.1002/bate.202000010.

Bild 1: Qualitativer Verlauf der Betonzug- und Druckspannung bei Erstrissbildung; vgl. Lühr et al. (2020) Bild 9.



Beständigkeit von Korrosionsschutzbeschichtungen

Zeitlicher Verlauf der Unterrostung im Salzsprühnebel

1 Aufgabenstellung und Ziel

Da Bauwerke starken mechanischen, thermischen, chemischen, hygrischen sowie biologischen Beanspruchungen ausgesetzt sind, führen die Verwitterungsprozesse neben einer verminderten Beständigkeit auch zu einer verstärkten Freisetzung verschiedener (Schad-)Stoffe sowie Transformationsprodukte.

Das FuE-Vorhaben „Beständigkeit von Korrosionsschutzbeschichtungen“ ist Teil der zweiten Phase des BMVI-Expertennetzwerks, das 2016 durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) initiiert wurde.

In einer ersten Phase des Expertennetzwerks wurden verschiedene Reparaturmaterialien untersucht, die für frühzeitige und kleine Ausbesserungsarbeiten geeignet sind und es ermöglichen, große, kostspielige und zeitintensive Instandhaltungsarbeiten oder gar Ersatzbauten hinauszuzögern. Dabei wurden bestimmte Parameter definiert, die berücksichtigt werden müssen, um den Herausforderungen einer Reparatur am Bauwerk zu begegnen und die Korrosionsverbreitung effektiv zu minimieren.

In einer zweiten Phase soll nun die Dauerhaftigkeit von Korrosionsschutz- und Reparaturbeschichtungen untersucht werden. In der ersten Phase wurde bereits die Freisetzung von Schadstoffen aus Stahlwasserbau- und Hochbaubeschichtungen untersucht. Nun soll auch die ökologische Relevanz von Abbau- bzw. Transformationsprodukten der Reparaturprodukte analysiert werden. Insgesamt sind drei Arbeitspakete geplant. Zunächst soll in Laborversuchen durch Bewitterung die chemische Beständigkeit untersucht werden. Dabei soll auch der Salzsprühnebeltest als eines der etablierten Prüfverfahren re-evaluiert werden, um bestimmte Prüfparameter, wie z. B. die Prüfdauer zu optimieren. Anschließend sind Untersuchungen zur mechanischen Beständigkeit sowie ökotoxikologische Untersuchungen geplant. Bei den mechanischen Untersuchungen sollen auch neue Prüfverfahren hinsichtlich ihrer möglichen Verwendung in Zulassungsprüfungen untersucht werden. In einem letzten Arbeitspaket sollen physiko-chemische Analysen von Beschichtungen und realen Schadensfällen durchgeführt werden.

Auftragsnummer:

B3951.02.04.70012

Auftragsleitung:

Dr. Katharina Wetzel
 katharina.wetzel@baw.de

Laufzeit:

2020 bis 2023

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Die erwarteten Erkenntnisse helfen der WSV bei der Auswahl geeigneter Korrosionsschutzsysteme bei gestiegenen Anforderungen an die Dauerhaftigkeit sowie bei Anforderungen an die ökologischen Auswirkungen.

Neben der Analyse und Bewertung der Korrosionsschutzsysteme sollen auch verschiedene gängige beschleunigende Laborverfahren re-evaluiert und deren Einfluss auf die Ergebnisse der Zulassungsprüfungen analysiert werden. Durch erneute genaue Untersuchung von Zulassungsverfahren können beispielsweise nötige Belastungszeiten oder Versuchsparameter angepasst werden. Außerdem soll überprüft werden, ob gegebenenfalls neue Prüfverfahren in die Zulassungsprüfung aufgenommen werden können.

3 Untersuchungsmethoden

Die Beständigkeit von Korrosionsschutzbeschichtungen wird in einem der zentralen Zulassungstests, dem Salzsprühnebeltest nach DIN EN ISO 9227:2017-07 (2017) und der BAWRichtlinie Prüfung von Beschichtungssystemen für den Korrosionsschutz im Stahlwasserbau (RPB, 2011) genauer betrachtet. Dazu wird der zeitliche Verlauf der Unterrostung anhand typischer Stahlwasserbaubeschichtungen mit Schichtdicken um 500 µm untersucht. Von vorherigen Untersuchungen an zyklischen Kurzzeittests ist bekannt, dass insbesondere der Salzsprühnebeltest großen Einfluss auf die Unterrostung hat (LeBozec et al. 2015). Untersuchungen an Stahlwasserbaubeschichtungen sind allerdings nicht literaturbekannt (Pietsch et al. 2002).

Allgemein sind Untersuchungen von Beschichtungsstoffen im Chemie- und Korrosionsschutzlabor mittels Geräteanalytik (GC, TG, IR) sowie genormter Standardverfahren zur Performanceprüfung (Salzsprühnebeltest, Schlagprüfung, Haftabzugsprüfung, Farbtonbeständigkeit, ...) geplant.

Außerdem sollen mechanistische Untersuchungen von Korrosionsprozessen mithilfe von Raster-Kelvinsondenmessungen durchgeführt werden, die vertiefende Einblicke in die chemischen Vorgänge bieten. Analysen mittels Raster-Kelvinsonde sind zerstörungsfrei und ermöglichen eine hohe Ortsauflösung, sowie Sensitivität, was die Methode für Forschungszwecke besonders attraktiv macht.

4 Ergebnisse

In ersten Vorversuchen werden aktuell die Geräteparameter des Salzsprühnebeltests verifiziert, indem die Korrosivität der Versuchskammer bestimmt wird. Die Vorversuche werden dazu genutzt, eventuell auftretende Schwierigkeiten vorab zu identifizieren und gegebenenfalls durch Optimierung des Versuchsablaufs zu beheben. Dabei geht es insbesondere darum, herauszufinden, in welchen zeitlichen Abständen Prüfplatten entnommen werden können. Außerdem soll die Mindestbelastungsdauer bestimmt werden, die nötig ist, um einen verlässlichen ersten Messpunkt zu nehmen. Die Vorversuche sind für den späteren Hauptversuch von besonderer Bedeutung, da sie es ermöglichen, abzuschätzen, in welchen Zeitintervallen eine Begutachtung der Probeplatten im Hauptversuch sinnvoll ist. Auf eine zinkstaubhaltige Grundbeschichtung wird für die Vorversuche verzichtet, um auftretende Korrosionsprozesse am Stahlsubstrat nicht durch elektrochemische Effekte zu beeinflussen. Bei der Beschichtung handelt es sich um ein 3-Schicht-System bestehend aus einer zweikomponentigen Epoxidharzbeschichtung als Grund- und Zwischenschicht und einer Polyurethan-Deckbeschichtung.

In den folgenden Hauptversuchen sollen zwei Stahlwasserbaubeschichtungssysteme (eines mit und eines ohne Zinkstaubgrundierung) mit einem Reparaturmaterial verglichen werden. Der zeitliche Verlauf der Unterrostung soll über einen Zeitraum von insgesamt sechs Monaten untersucht werden. Zusätzlich werden Messungen zur Prüfung der mechanischen Performance vor und nach Belastung im Salzsprühnebel vorgenommen.

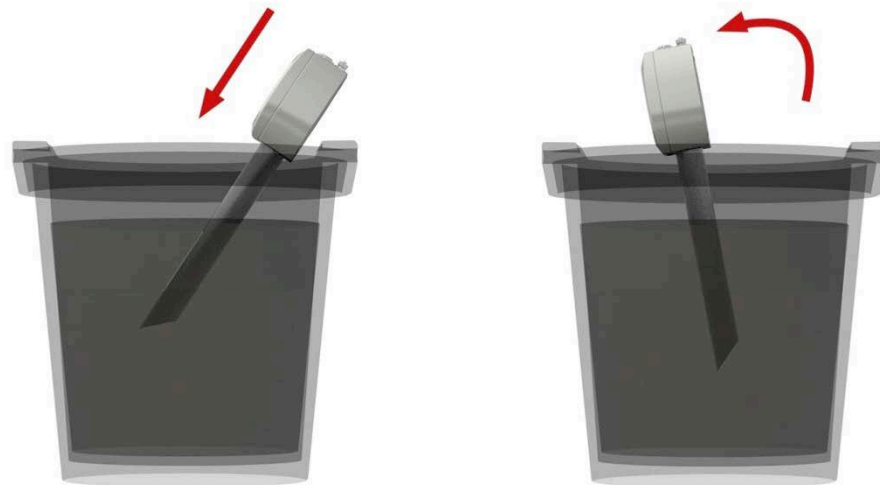
Literatur:

Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2011): BAWRichtlinie Prüfung von Beschichtungssystemen für den Korrosionsschutz im Stahlwasserbau (RPB), Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau

DIN EN ISO 9227:2017-07: Korrosionsprüfungen in künstlichen Atmosphären – Salzsprühnebelprüfungen.

LeBozec, N.; Thierry, D.; Le Calvé, P.; Favennec, C.; Pautasso, J.-P.; Hubert, C. (2015): Performance of marine and offshore paint systems: Correlation of accelerated corrosion tests and field exposure on operating ships. In: Materials and Corrosion 66 (3), S. 215–225.

Pietsch, S.; Kaiser, W.-D.; Stratmann, M. (2002): Korrosionsschutzwirkung von Beschichtungen am Defekt – Einfluss der Oberflächenvorbereitung und der Pigmentierung der Grundbeschichtung. In: Materials and Corrosion 53 (5), S. 299–305.



Frischbetonfeuchtesonden

Anwendbarkeit bei ZTV-W-Betonen

1 Aufgabenstellung und Ziel

Der Wassergehalt im Frischbeton hat entscheidenden Einfluss auf die Eigenschaften des Frisch- und die Qualität des Festbetons. Bisherige Prüfverfahren (i. d. R. Darren) sind umständlich, zeitintensiv und nur bedingt genau. Neue am Markt befindliche Messsonden messen angeblich schneller, einfacher und genauer. Es gibt bisher aber keine neutralen und vergleichenden Untersuchungen zu diesen Aussagen.

Die am Markt befindlichen mobilen Systeme sollen daher an verschiedenen Betonrezepturen für Neubaumaßnahmen nach ZTV-W LB 215 erprobt werden. Die Randbedingungen für die Anwendung der Verfahren sollen ausgetestet werden. Ziele des FuE-Vorhabens sind die Bestimmung der Messpräzision der Verfahren und deren Anwendungsmöglichkeiten und -grenzen im ZTV-W-Bereich. Für als geeignet identifizierte Verfahren sollen Arbeitsanleitungen erstellt werden.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Die einfache und schnelle Überprüfung des Wassergehalts im Frischbeton würde die baubegleitende Qualitätssicherung nach ZTV-W LB215 und 219 deutlich vereinfachen und beschleunigen. Die Ausführungsqualität bei massiven Wasserbauwerken könnte gesteigert werden. Der Aufwand der Bauaufsicht/-überwachung könnte reduziert werden.

3 Untersuchungsmethoden

Im Laboratorium für Bau- und Werkstoffprüfungen der Technischen Hochschule Köln und auf Baustellen sollen Messungen unter den üblichen Praxisrandbedingungen und unter Laborbedingungen durchgeführt und miteinander verglichen werden. Dabei sollen ermittelt werden:

- Prüftechnische Einflussfaktoren
- Betontechnologische Einflussfaktoren
- Baupraktische Einflussfaktoren

Auftragsnummer:

B3951.03.04.70018

Auftragsleitung:



Hilmar Müller
 Hilmar.mueller@baw.de

Laufzeit:

2020 bis 2022

Die Erkenntnisse und Erfahrungen sollen die Grundlage für eine Arbeitsanleitung für ZTV-W-Betone werden.

4 Ergebnisse

Das FuE-Vorhaben wurde gerade begonnen. Ergebnisse liegen bisher noch nicht vor.

Literatur:

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hg.) (2012): ZTV-W LB 215: Wasserbauwerke aus Beton und Stahlbeton (Leistungsbe- reich 215) (Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen – Wasserbau)



Entwicklung und Anpassung von AKR-Performance-Prüfungen

1 Aufgabenstellung und Ziel

Ein besonders hohes Risiko für das Auftreten einer schädigenden Alkali-Kieselsäure-Reaktion im Beton (AKR) besteht bei Meerwasserbauwerken, da hier eine permanente Alkalizufuhr erfolgt. AKR-Schäden und damit verbundene sehr aufwändige Instandsetzungen (siehe Titelbild; Instandsetzung Wehrpfeiler Eidersperwerk) sind nur zu vermeiden, wenn die Alkaliaktivität der verwendeten Gesteinskörnung im Vorfeld sicher beurteilt werden kann. Daher werden i. d. R. nur als alkaliunempfindlich geltende Gesteinskörnungen eingesetzt. Wegen der regionalen Verfügbarkeit kommen im Meerwasserbau oftmals Festgesteine (Splitte) aus Skandinavien zum Einsatz. In den letzten Jahrzehnten hat sich jedoch anhand von Schadensfällen gezeigt, dass es auch mit Festgesteinen zu einer AKR kommen kann. Darüber hinaus ist nicht sicher geklärt, inwieweit gegebenenfalls auch feine Gesteinskörnungen bei langer Nutzungsdauer zu einer AKR beitragen können.

Zur besseren Bewertung der Verwendbarkeit und Verträglichkeit der Betonausgangsstoffe wurden daher sogenannte Performance-Prüfungen entwickelt (Stark et.al. 2006, Borchers et.al. 2014), welche neben einer Simulation der Einwirkungen auch die tatsächliche Betonzusammensetzung berücksichtigen. Diese sowie weitere AKR-Prüfverfahren (Prüfung feiner Gesteinskörnungen, Schnellprüfverfahren) sollen im Rahmen des Forschungsvorhabens gezielt weiterentwickelt und optimiert werden.

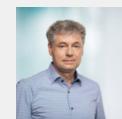
2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Eine Reihe bestehender Meerwasserbauwerke haben ein Alter und einen Zustand erreicht, welcher aktuell verschiedene Ersatzbaumaßnahmen erforderlich macht. Im Zusammenhang mit diesen Baumaßnahmen besteht ein hohes Interesse, die im Küstenbereich verfügbaren Betonausgangsstoffe wirtschaftlich und sicher einsetzen zu können. Dies setzt eine belastbare Einschätzung der Alkaliempfindlichkeit dieser Gesteinskörnungen sowie darauf abgestimmte Verwendungsregeln voraus, um die für Verkehrswasserbauwerke aus Beton erforderliche hohe Dauerhaftigkeit über den gesamten Nutzungszeitraum gewährleisten zu können.

Auftragsnummer:

B3951.03.04.70019

Auftragsleitung:



Dr. Thorsten Reschke
 thorsten.reschke@baw.de

Auftragsbearbeitung:



Anka Frentzel-Schirmacher
 anka.frentzel-schirmacher@baw.de

Laufzeit:

2020 bis 2024

3 Untersuchungsmethoden

Die Weiterentwicklung der zur Verfügung stehenden AKR-Prüfverfahren umfasst die Überprüfung, Anpassung und Entwicklung von Performance-Prüfungen für verschiedene Festgesteine und feine Gesteinskörnungen sowie die Optimierung von Schnellprüfverfahren. Dafür sind folgende Untersuchungsschritte vorgesehen:

1. Identifikation und Erprobung geeigneter Verfahren zur Charakterisierung der Alkaliempfindlichkeit feiner Gesteinskörnungen:
 - a. Mörtelschnelltest (Alternativverfahren nach Alkali-Richtlinie)
 - b. Natronlaugetest nach Alkali-Richtlinie
 - c. Mineralogische Charakterisierung
 - d. Petrographische Charakterisierung am Dünnschliff (Streupräparat, Erprobung „point counting“)
2. Modifikation der Schnelltestverfahren für grobe Gesteinskörnungen im Hinblick auf wasserbautypische Randbedingungen.
3. Optimierung der im Rahmen von Betoneignungsprüfungen erforderlichen Performance-Prüfverfahren (siehe Bild 1) durch Anpassung der Prüfrandbedingungen an die praxisrelevanten Einwirkungen von Meerwasserbauwerken.

Die Arbeiten erfolgen im Rahmen einer Kooperation mit dem F. A. Finger-Institut für Baustoffkunde (FIB) der Bauhaus-Universität Weimar.

4 Ergebnisse

Es wurden zunächst anhand der Informationen zu aktuell in Norddeutschland laufenden Baumaßnahmen der WSV typischerweise verwendete grobe und feine Gesteinskörnungen ausgewählt. Für die Auswahl feiner Gesteinskörnungen mit unterschiedlicher Alkaliempfindlichkeit wurde dabei zusätzlich auf Voruntersuchungen des FIB Weimar zurückgegriffen.

Auf Basis der so getroffenen Materialauswahl wurden anschließend Betonrezepturen für die typischen Expositionen im Meerwasserbau konzipiert, der Versuchsablauf in den Laboren der BAW und des FIB Weimar im Detail geplant, und die Beschaffung der ausgewählten Betonausgangsstoffe (feine und grobe Gesteinskörnungen, Zemente, Zusatzmittel und -stoffe) in den erforderlichen Mengen in die Wege geleitet.

An den beschafften Materialien werden nun zunächst die üblichen Standarduntersuchungen zur Bewertung der Eignung der Betonausgangsstoffe durchgeführt, bevor an den Gesteinskörnungen die verschiedenen Prüfungen zur Charakterisierung der Alkaliempfindlichkeit erfolgen.

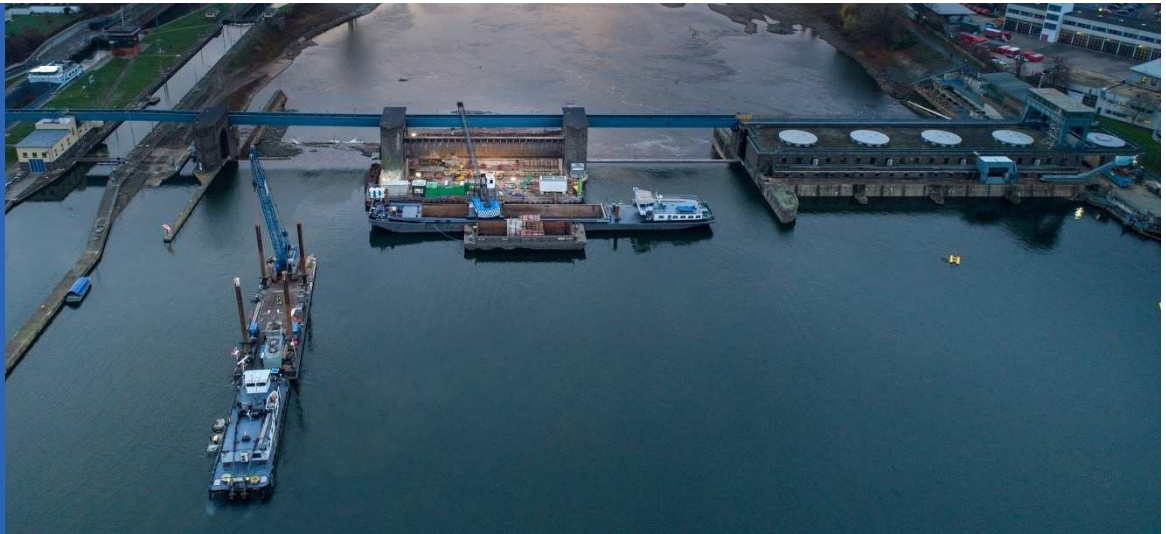


Bild 1: Prüfkörper Performance-Prüfung mit AKR-typischen Netzrissen.

Literatur:

Stark, J.; Freyburg, E.; Seyfarth, K.; Giebson, C. (2006): AKR-Prüfverfahren zur Beurteilung von Gesteinskörnungen und projektspezifischen Betonen. In: Beton 56, Verlag Bau+Technik, Heft 12, S. 574–581.

Borchers, I; Müller, C. (2014): Praxisgerechte Prüfung der Alkaliempfindlichkeit von Betonen für die Feuchtigkeitsklassen WF und WA in AKR-Performance-Prüfungen. In: Beton 64, Verlag Bau+Technik, Heft 10, S. 403–409.



Ausschreibung, Vergabe und Abrechnung von Bauleistungen im Verkehrswasserbau

1 Aufgabenstellung und Ziel

Die Bauwerke der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) weisen einen hohen Instandsetzungstau und einen daraus resultierenden schlechten Bauwerkszustand auf. Um die erforderlichen baulichen Maßnahmen zukünftig beschleunigt abzuwickeln, sollen die Prozesse in der Ausschreibung, Vergabe und Abrechnung der WSV optimiert werden.

Zur Optimierung soll die derzeit laufende Zentralisierung der Datenbank der Ausschreibungssoftware iTWO unterstützt und in das IT-Konzept der WSV integriert werden. Weiterhin soll durch die Bereitstellung einer einheitlichen Kostengliederung und die Berechnung von Kostenkennwerten die Kalkulation zukünftiger Baumaßnahmen in der Entwurfsphase unterstützt werden.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Im Rahmen des Projektes wird eine einheitliche Kostengliederung erstellt, welche einen kostentechnischen Vergleich verschiedener Baumaßnahmen ermöglicht. Zudem sollen auf Basis abgerechneter und geplanter Baumaßnahmen dynamische Kostenkennwerte für die verschiedenen Ebenen der Gliederung erstellt werden. Durch eine laufende Fortschreibung dieser Kennwerte können zukünftige Maßnahmen vereinfacht kalkuliert werden, was langfristig zu einer größeren Kostenstabilität laufender Maßnahmen führt.

Auf Basis einer einheitlichen Gliederung mit dynamischen Kostenkennwerten können zukünftige Kalkulationen schnell, transparent und nachvollziehbar gestaltet werden. Dies soll die Prüf- und Genehmigungsprozesse nach der Verwaltungsvorschrift VV-WSV 2107 (BMVI 2016) innerhalb der WSV nachhaltig verbessern und beschleunigen. Durch eine Verknüpfung der Gliederung und der Preisdaten mit iTWO soll das Projekt zudem in das bestehende IT-Konzept der WSV integriert werden.

Auftragsnummer:

B3951.04.04.70007

Auftragsleitung:

Katrin Kloé
 katrin.kloe@baw.de

Auftragsbearbeitung:

André Kirchner
 andre.kirchner@baw.de

Laufzeit:

2019 bis 2021

3 Untersuchungsmethoden

Eine zentrale Rolle des Projekts bildet die Software iTWO. Hierbei handelt es sich um ein von der WSV genutztes Programm, mit dem die Ausschreibung, Vergabe und Abrechnung von Bauleistungen digital erfasst und umgesetzt werden können. Derzeit erfolgt die Zentralinstallation der Software standortübergreifend für die WSV. Da innerhalb von iTWO Gliederungen und Preisdatenbanken generiert werden können, soll die Installation ebenfalls begleitet und unterstützt werden.

Im Ergebnis des Projekts soll ein Konzept generiert werden, um Prozesse im Bereich des Kostenmanagements zu beschleunigen und transparenter zu gestalten. Um eine Anwendung in der Praxis zu gewährleisten, ist es unumgänglich, die derzeitigen Strukturen und Prozesse im Bereich der Ausschreibung, Vergabe und Abrechnung innerhalb der WSV zu analysieren. Auf Basis eines standardisierten Fragebogens werden daher diverse Neubau- und Unterhaltungsämter der WSV vor Ort besucht und die Ergebnisse der Umfragen statistisch ausgewertet.

Neben den Umfrageergebnissen bilden bereits abgerechnete und geschätzte Baumaßnahmen eine weitere Untersuchungsgrundlage. Auf deren Basis soll mittels analytischer Methoden eine Kostengliederung ähnlich zu DIN 276-1:2018-12 auf mehreren Ebenen erstellt werden. Zudem werden mittels statistischer Untersuchungsmethoden dynamische Kostenkennwerte für die Teilbereiche der Kostengliederung berechnet und fortlaufend aktualisiert. In diesen Kennwerten soll ebenfalls die Baupreisentwicklung für den Wasserbau in der WSV (siehe Bild 1) berücksichtigt werden. Das Projekt wird gemeinsam mit der WSV, dem ITZBund sowie der Hochschule Karlsruhe bearbeitet.

4 Ergebnisse

Die Ergebnisse dieser Arbeit werden in Form eines detaillierten Konzepts dargestellt. Dies soll Anwendungshinweise und Anwendungsmöglichkeiten aufzeigen, mit denen die geplanten Ziele im Kostenmanagement umgesetzt werden können.

Neben möglichen Anwendungshinweisen zur Software iTWO sollen die Schwerpunkte der Ergebnisse eine Kostengliederung sowohl für Wehranlagen als auch für Schleusen bilden. Mit diesen Gliederungen können zukünftig die Kostenschätzungen für die verschiedenen Planungsstadien der VV-WSV 2107 auf diversen Ebenen kalkuliert und transparent dargestellt werden.

Über ein Berechnungstool sollen auf Basis abgerechneter Baumaßnahmen dynamische Kostenkennwerte automatisiert ermittelt und zur Verfügung gestellt werden. Dies führt neben Kostentransparenz zur Beschleunigung von Prozessen innerhalb der Ausschreibung, Vergabe und Abrechnungen von baulichen Maßnahmen der Wasserstraßen und Schifffahrtsverwaltung des Bundes.

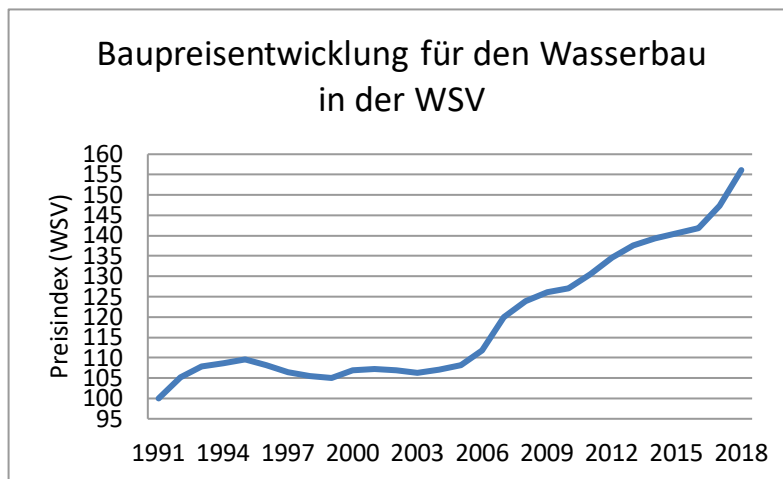


Bild 1: Baupreisentwicklung nach BMVI (2020).

Literatur:

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2016): Verwaltungsvorschrift der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (VV-WSV). Entwurfsaufstellung VV-WSV 2107, Juni 2016

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2020): Technisches Regelwerk-Wasserstraßen (TR-W) 8-W3 Baupreisindizes, Ausgabe 2020-03.

DIN 276:2018-12: Kosten des Bauwesens. Berlin: Beuth Verlag.



Innovative Methoden zur Zustandserfassung

Eine Handlungsempfehlung für den Einsatz im Rahmen der Bauwerksinspektion

1 Aufgabenstellung und Ziel

Das Gebot des wirtschaftlichen Handelns einerseits und die Verpflichtung zur Verkehrssicherung andererseits erfordern die Notwendigkeit regelmäßiger Bauwerksinspektionen. Ihre Durchführung ist jedoch mit einem hohen Zeit- und Kostenaufwand verbunden. Ein alternder Bauwerksbestand, wechselnde Anforderungen und begrenzte personelle Ressourcen erhöhen die Herausforderungen. Eine Chance bietet jedoch der rasante Fortschritt auf dem Gebiet der Digitalisierung in Form von kostengünstigen und hochauflösenden Sensoren, leistungsfähigen Datenspeichergeräten und intelligenten Algorithmen.

Während die ergänzende digitale Zustandserfassung bei Brückeninspektionen erfolgreich getestet wird (Holst et al. 2016; Hallermann et al. 2018; Moreu et al. 2017), bleibt ihre praktische Anwendung an Verkehrswasserbauwerken eine Seltenheit. Doch gerade bei Wasserbauwerken, die häufig große Dimensionen und Bauteile unter Wasser aufweisen, ist eine gewinnbringende Anwendung der Methoden vorstellbar. Es fehlen jedoch ein systematischer Überblick über die verschiedenen Untersuchungsmethoden und eine Bewertung ihres Potenzials unter Beachtung der spezifischen Randbedingungen im Wasserbau. Um dieser Problematik Rechnung zu tragen, ist das folgende Vorgehen geplant:

- Ist-Analyse zur Zustandserfassung von Wasserbauwerken
- Recherche zu innovativen Methoden zur Zustandserfassung
- Praxiserprobung ausgewählter Methoden
- Formulierung einer Handlungsempfehlung für den Einsatz der Methoden im Rahmen der Bauwerksinspektion

Das Vorhaben findet in Kooperation mit dem geodätischen Institut der RWTH Aachen von Universitätsprofessor Dr.-Ing. Jörg Blankenbach statt.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Das Forschungsvorhaben zielt darauf ab, die Qualität und Effizienz der Inspektionen von Wasserbauwerken zu erhöhen. Die Datenerhebung mit modernen Sensorsystemen könnte eine Identifikation bestimmter Schäden auch

Auftragsnummer:

B3951.04.04.70009

Auftragsleitung:

Annemarie Seiffert
 annemarie.seiffert@baw.de

Auftragsbearbeitung:

Benedikt Heimig
 benedikt.heimig@baw.de

Laufzeit:

2020 bis 2022

jenseits der handnahen Prüfung ermöglichen. Beispiele hierfür sind die Anwendung von ferngesteuerten Unterwasserfahrzeugen oder von drohnengestützten Sensorsystemen. Bei der Klassifikation von Schäden kann das Erfahrungswissen der Prüfer vermutlich auch langfristig nicht ersetzt werden. Denkbar ist aber die Zuarbeit durch innovative Sensorik und Ansätze der künstlichen Intelligenz, zum Beispiel zur Vorklassifizierung oder unterstützenden Bewertung von Schäden. Die Vermessung des Schadens auch hinsichtlich einer effizienten Georeferenzierung ist eine Aufgabe, die vor allem bei größeren Massivbauteilen großen Aufwand und damit ein hohes Innovationspotenzial darstellt. Die Dokumentation der Schäden wäre ein möglicher Anwendungsfall für Mixed-Reality-Systeme.

Zusammengefasst sind mögliche Zugewinne eine Inspektion bisher nicht zugänglicher Bauteile, eine Erhöhung der Arbeitssicherheit, eine Verkürzung der erforderlichen Sperrzeiten und eine Optimierung der Schadensdokumentation bzw. -auswertung. Einen konkreten Erkenntnisgewinn würde die Auswahl geeigneter Untersuchungsmethoden und die Identifizierung ihrer Anwendungsfälle bzw. -grenzen bringen. Auf diese Weise soll die WSV bei der Erfüllung ihrer bauaufsichtlichen Verantwortung und in ihrem Bemühen um wirtschaftliches Handeln unterstützt werden.

3 Untersuchungsmethoden

Im Zuge eines Wissensmanagement-Ansatzes soll in einem ersten Schritt das institutionelle Wissen der WSV und der BAW zu Inspektionen von Wasserbauwerken gesammelt und im Rahmen einer Prozessdokumentation systematisch erfasst werden. Eine anschließende Literaturrecherche dient der Erfassung des Standes der Technik hinsichtlich anwendbarer Innovationen bei der Wasserbauwerksinspektion. Das Ergebnis der Recherche soll ein Katalog innovativer Methoden für Bauwerksinspektionen im Wasserbau sein. Aus der Prozessdokumentation der Bauwerksinspektionen soll ein Kriterienkatalog abgeleitet werden, der eine Bewertung der erfassten Methoden in Hinsicht auf die technische Machbarkeit und das Effizienzsteigerungspotenzial ermöglicht. Diese Bewertung ist Basis für die Selektion einiger vielversprechender Technologien für den Praxistest. Ziel der Praxisanwendung ist der Vergleich der innovativen mit den konventionellen Methoden hinsichtlich ihrer Genauigkeit und Handhabbarkeit. Die Ergebnisse sollen in einer Handlungsempfehlung für die WSV zusammengetragen werden. Um eine enge Abstimmung mit der Praxis zu gewährleisten, unterstützt ein Beratungsgremium bestehend aus Bauwerksinspektionskoordinatoren, Bauwerksinspektoren und erfahrenen Wissenschaftlern das Vorhaben in beratender Funktion.

4 Ergebnisse

Das Vorhaben befindet sich in seiner ersten Projektphase, der Ist-Analyse der Zustandserfassung an Wasserbauwerken. Hierzu wurde in einem ersten Schritt die Bauwerksprüfung am Wehr Dietfurt, gelegen in einem Seitenarm des Main-Donau-Kanals nahe Regensburg, begleitet. Die Gelegenheit wurde genutzt, den Mehrwert des Einsatzes einer mit einem globalen Navigationssatellitensystem referenzierten Kamera zu testen. Bild 1 zeigt ein Beispiel für eine georeferenzierte Schadensaufnahme, deren Validierung noch aussteht. Weitere Teilnahmen an Bauwerksinspektionen sind geplant. Deren Erkenntnisse sollen zusammen mit jenen aus der Inspektion des Wehres Dietfurt in einer Prozessdokumentation gebündelt werden.



Bild 1: Beispiel für eine georeferenzierte Aufnahme von Oberflächenschäden am Beton am Wehr Dietfurt.

Literatur:

Hallermann, Norman; Helmrich, Marcel; Morgenthal, Guido; Schnitzler, Elke; Rodehorst, Volker; Debus, Paul (2018): UAS-basierte Diagnostik von Infrastrukturbauwerken. In: Bautechnik 95 (10), 720–726.

Holst, Ralph; Sperber, Martin; Gößmann, Rainer (2016): Bauwerksprüfung unterstützt durch neuartige Besichtigungstechniken – Erste Erfahrungen. In: Bautechnik 93 (10), S. 742–746.

Moreu, Fernando; Bleck, Brian; Vemuganti, Shreya; Rogers, David; Mascareñas, David (2017): Augmented Reality Tools for Enhanced Structural Inspection. In: Structural health monitoring 2017.



Fuzzy-FMEA zur Steigerung der Aussagefähigkeit von Inspektionsergebnissen

1 Aufgabenstellung und Ziel

Bei der Zustandsbewertung eines Bauwerks werden die wesentlichen Einzelinformationen der Bauwerksinspektionen über die Schadensschwere bzw. die Auswirkungen von Einzelschäden auf die strukturellen Anforderungen nicht immer ausreichend miteinbezogen. In der ersten Phase des Expertenetzwerks (2016 bis 2019) wurde unter Verwendung verfügbarer Inspektionsergebnisse die Fehlermöglichkeiten- und Ausfallanalyse (FMEA), ein qualitativer Ansatz zur Zuverlässigkeitsanalyse, die in verschiedenen Industriebranchen weitgehend umgesetzt wird, eingeführt. Mithilfe der entwickelten Ursache-Wirkungsketten (UWK) wurden die Auswirkungen verschiedener Schädigungsmechanismen auf die Nachweisbarkeit der normativ vorgegebenen Anforderungen von bestehenden Konstruktionen beurteilt. Des Weiteren wurden die verschiedenen UWK anhand der Risikoprioritätszahl (RPZ) bewertet, die sich aus den drei Risikokriterien, nämlich der Bedeutung der Schadensfolge (B), der Auftretenshäufigkeit der Schadensart (A) und der Entdeckungswahrscheinlichkeit der Schadensursache (E), zusammensetzt. Diese Kennzahlen dienen als ergänzende Kenngrößen zu den derzeit bestehenden Zustandsnoten für die Priorisierung von Erhaltungsmaßnahmen an Bauwerken. Die bei Bauwerksinspektionen immanenten Unsicherheiten, die im Rahmen der Datenerfassung entstehen, sowie einige Einschränkungen bzw. subjektive Einschätzungen des FMEA-Ansatzes erfordern eine weitere Verbesserung der Ansätze. Die Zielsetzung des Forschungsvorhabens besteht darin, unter besonderer Berücksichtigung der Unsicherheitstheorie (Fuzzy-Set-Theorie) und der Methoden der multikriteriellen Entscheidungsfindung (MCDM) die Aussagefähigkeit der bisherigen erzielten Ergebnisse (UWK, RPZ) zu erhöhen.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Die Ausarbeitung des kausalen Zusammenhangs zwischen den festgestellten Schäden und deren Auswirkungen auf die funktionalen Anforderungen ermöglicht eine Identifizierung sowie eine Kategorisierung von tragfähigkeits-,

Auftragsnummer:

B3951.04.04.70010

Auftragsleitung:



François Nyobeu
 francois.nyobeu@baw.de

Laufzeit:

2020 bis 2022

dauerhaftigkeits- und gebrauchstauglichkeitsrelevanten Schäden. Die überarbeitete RPZ bietet einen Überblick über die an einem Bauwerk durch die erfassten Schäden maßgeblichen UWKS und kann zur Identifizierung kritischer Bauwerke mit Schäden in UWKS mit höheren RPZ dienen. Darüber hinaus kann eine Priorisierung der UWKS und damit der erforderlichen Erhaltungsmaßnahmen erstellt werden. Durch die Erweiterung des Bewertungssystems mit zusätzlichen Kennzahlen lassen sich außerdem Einzelbauwerke größerer Bauwerksbestände anhand ihres Zustands unterscheiden und vergleichen. Dadurch wird die Datengrundlage für Entscheidungsprozesse in der überregionalen Planung von Instandsetzungsmaßnahmen vergrößert und die Entscheidungsfindung erleichtert.

3 Untersuchungsmethoden

Im Forschungsvorhaben werden sowohl die Unsicherheitstheorie (Fuzzy-Set-Theorie) als auch Multi-Criteria Decision Making Methods (MCDM) verwendet. Die Fuzzy-Set-Theorie wurde von Zadeh (1965) eingeführt, um die Subjektivität von Bewertungsprozessen und Unsicherheiten in Entscheidungssituationen zu berücksichtigen. Der Begriff Fuzzy-Set wird am besten mit unscharfer Menge übersetzt. Im Rahmen einer Fuzzifizierung werden alle Eingangsvariablen („scharfe Mengen“) eines Entscheidungsprozesses anhand von Zugehörigkeitsfunktionen in linguistische Variablen bzw. Fuzzy-Eingangsvariablen (z. B. „schlecht“, „niedrig“, „mittel“, „hoch“ etc.) umgewandelt. Die Zuordnung einer „scharfen Menge“ zu der entsprechenden linguistischen Variablen erfolgt durch einen Zugehörigkeitsgrad (μ), welcher Werte zwischen 0 und 1 annehmen kann. Der Zugehörigkeitsgrad wird als Maß angesehen, inwieweit eine „scharfe Menge“ die Eigenschaften der unscharfen Menge erfüllt. Mit einem Inferenzverfahren werden dann die Attribute der fuzzifizierten Ein- und Ausgangsvariablen der Regelsätze („WENN (Prämisse) ... UND ... DANN (Schlussfolgerung)“) zugeordnet. Mittels Expertenregeln und Fuzzy-Inferenz erfolgen die Aggregationen im hierarchischen System, in dem bei Bedarf eine subjektive Gewichtung der Bewertungskriterien abgebildet werden kann. In den meisten Fällen wird eine scharfe Menge mehr als einem linguistischen Wert zugeordnet und dementsprechend wird mehr als eine Regel bedient. Für solche Fälle ist die Max-Prod-Inferenz besser geeignet als die zumeist benutzte Max-Min-Inferenz. Bei der Max-Min-Inferenz führt das Abschneiden der Zugehörigkeitswerte, die größer als der errechnete Erfüllungsgrad sind, dazu, dass die Regeln mit einem mittleren Grad der Übereinstimmung einen zu starken Einfluss erhalten (Rommelfanger und Eickemeier 2002). Um die Schlussfolgerung bzw. die unscharfen Ausgangswerte für reale Anwendungen verfügbar zu machen, ist eine Defuzzifizierung erforderlich (Zimmermann 2001). Die Defuzzifizierung dient dazu, die unscharfen Ausgangswerte wieder in die scharfen oder klassischen Ausgangswerte umzuwandeln (siehe Bild 1).

Betrachtet man im Infrastrukturmanagement die Anzahl von Alternativen (Anzahl und Typen von Bauwerken) und Bewertungskriterien (B, A, E etc.), ist die Integration entscheidender Aspekte in eine multikriterielle Umgebung sinnvoll. Hier werden verschiedene Methoden der multikriteriellen Entscheidungsfindung eingesetzt. So wird zum Beispiel die Methode Fuzzy Analytic Hierarchy Process (Fuzzy AHP) verwendet, um die Relevanz der Einflussfaktoren und eine Präferenz zwischen verschiedenen Alternativen ermitteln zu können. (Liu 2016).

4 Ergebnisse

Bisher konnten anhand einer Literaturrecherche Erkenntnisse über die Unsicherheitstheorie (Fuzzy-Set-Theorie) und die Methoden der multikriteriellen Entscheidungsfindung (MCDM), ihre Anwendungsbereiche sowie mögliche Kombinationen gewonnen werden. Derzeit werden unterschiedliche Kriterien (Komplexität des Ansatzes, erwartete Ergebnisse, Datentyp, Anwendungsziele etc.) untersucht, die durch eine Methode der multikriteriellen Entscheidungsfindung erfüllt werden müssen, um geeignete Ansätze auszuwählen, die dem Kontext der Wasserbauwerke entsprechen.

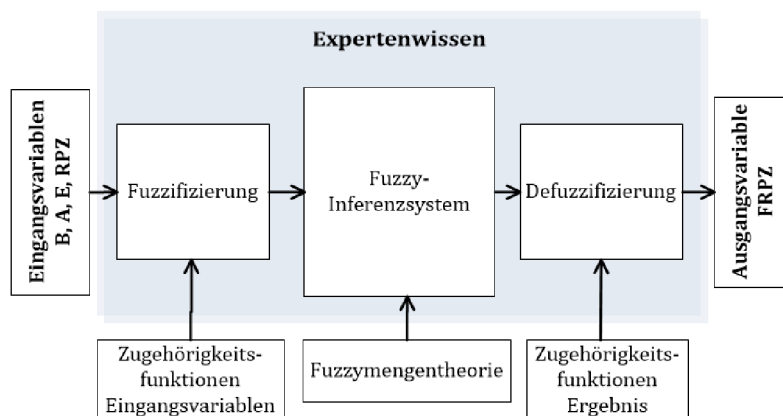


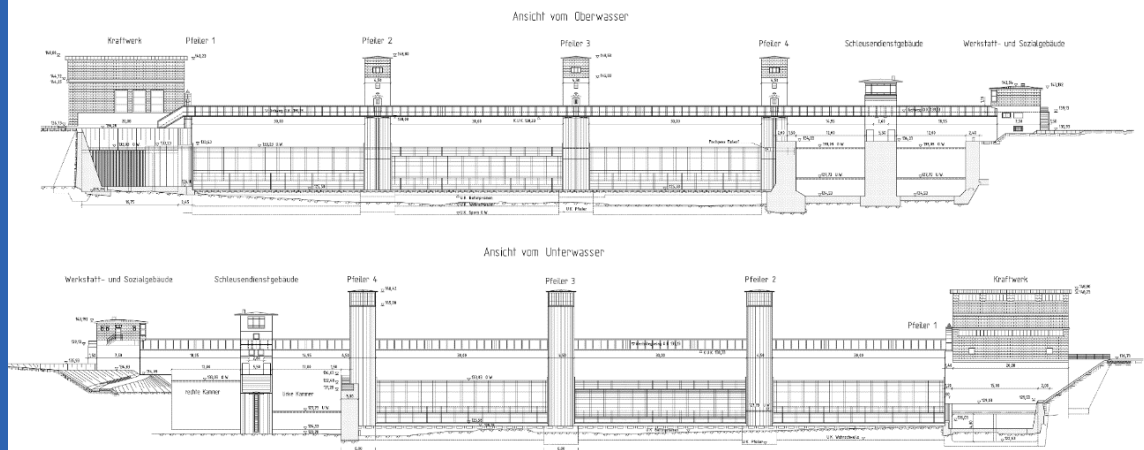
Bild 1: Bausteine einer auf Expertenwissen basierenden Fuzzy-Logik.

Literatur:

Liu, Hu-Chen (2016): FMEA Using Uncertainty Theories and MCDM Methods. Singapore: Springer Science+Business Media (Engineering).

Rommelfanger, Heinrich J.; Eickemeier, Susanne H. (2002): Entscheidungstheorie. Klassische Konzepte und Fuzzy-Erweiterungen. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

Zimmermann, H.-J. (2001): Fuzzy Set Theory and Its Applications. 4th Edition. New York: Springer Science+Business Media, LLC.



Strukturierung und Verbesserung von Bestandsunterlagen der DVtU mit maschinellem Lernen und KI

1 Aufgabenstellung und Ziel

Der Archivbereich des IT-Systems Digitale Verwaltung technischer Unterlagen (DVtU) ist ein enormer Wissensschatz. Zu allen Objekten der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) sind dort Dokumente der Kategorien Schriftgut, Plangut und Bildgut abgelegt; die Anzahl der Dokumente geht in die Millionen. Bisherige Analysen rund um die Empfehlungen zu einem Masterplan Digitalisierung zeigen, dass die Metadaten der Dokumente nicht ausreichen, um diese im Rahmen von Betrieb und Unterhaltung sowie bei Neu- baumaßnahmen im Bestand automatisch und prozessorientiert bereitzustellen. Dies ist jedoch ein wichtiger Schritt, um die entsprechenden Prozesse zu beschleunigen (Bödefeld et al. 2019). Aufgrund der großen Datenmengen in der DVtU stellt sich die Frage, wie die Strukturierung und Verbesserung der Dokumente automatisiert erfolgen kann. Methoden des maschinellen Lernens (ML) als Teilbereich der künstlichen Intelligenz (KI) erzielten in den letzten Jahren enorme Erfolge bei der Verarbeitung großer Datenmengen. Dieses Projekt untersucht erstmals, welches Potenzial diese Methoden zur Qualitätsverbesserung des Daten- und Metadatenbestands der DVtU hat.

Ziel dieses FuE-Vorhabens ist zu zeigen, wie die Auffindbarkeit von Unterlagen in der DVtU verbessert und vereinheitlicht werden kann. Dazu ist die Überführung von relevanten Informationen aus Dokumenten in (Meta-) Daten erforderlich, um diese maschinenlesbar zu machen. Im Fokus liegen dabei Planunterlagen zu Schleusen und Wehren. Das langfristige Ziel wäre ein Suchschlitz, der z. B. nach Anfrage nach „Grundriss Wehranlage Heidelberg“ den entsprechenden Plan digital angezeigt. Dazu sind Synergien mit dem FuE-Vorhaben Semantic Web (B3951.04.04.70012) vorgesehen.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Durch die Neustrukturierung der Metadaten kann der Rechercheaufwand für Dokumente der WSV minimiert werden. Mit dem angestrebten prozessorientierten Ansatz können Dokumente automatisch an Nutzer weitergegeben werden, ohne dass diese Zeit zum Recherchieren der Daten im System investieren müssen. Mit der automatisierten Verbesserung von Dokumenten kann die Gesamtqualität des Baubestandswerks noch einmal verbessert werden.

Auftragsnummer:

B3951.04.04.70011

Auftragsleitung:

Lukas Weber
 lukas.weber@baw.de

Laufzeit:

2020 bis 2021

3 Untersuchungsmethoden

Anlage 1 der VV-WSV 2116 (BMVI 2013) gibt eine Übersicht über wesentliche Baubestandsunterlagen, die in der DVtU abgelegt sein sollen. Im Bereich Baubestandszeichnungen sind dort zum Beispiel Ansichten, Grundrisse oder Längsschnitte zu nennen. Teilweise sind diese Pläne gesammelt in einem Übersichtsplan zusammengefasst (Bild 1). Um für jedes Bauwerk prozessorientiert bestimmte Pläne übergeben zu können, muss bekannt sein, welche Informationen auf einem Plan zu finden sind. Wenn ein Bearbeiter für eine bestimmte Aufgabe einen Grundriss und eine Ansicht braucht, muss im Fall des Objekts in Bild 1 nur dieses Dokument übergeben werden, während für ein anderes Objekt die Informationen auch in zwei getrennten Dokumenten liegen können.

Im Folgenden werden die Untersuchungsmethoden gelistet, die im FuE-Vorhaben angewandt werden:

- Metadatenanalyse (Reguläre Ausdrücke, Aufbau eines zentralen Wortschatzes)
- Objekterkennung
- Texterkennung
- Stitching (Zusammenführung von Einzelbildern)

Um eine Datengrundlage für die folgenden Arbeitsschritte zu schaffen, müssen zunächst auf Basis der bestehenden Metadaten relevante Dokumente identifiziert werden. Dazu werden alle Wörter, die in den Metadaten der technischen Unterlagen (TUs) vorhanden sind, extrahiert und gezählt, in wie vielen TUs sie auftreten. Häufig auftretenden Wörtern dieser frequenzbasierten Wortliste wird eine Bedeutung zugewiesen oder sie werden aussortiert, wenn sie keine Informationen für eine Zuordnung der Dokumente liefern. So werden die Wörter „Lastfall“, „Nachrechnung“ oder „Trägheitshauptachse“ beispielsweise der Kategorie Statik zugeordnet. Hiermit wird Expertenwissen abgebildet. Der Aufbau eines zentralen Wortschatzes für die WSV kann als Grundlage für viele Automatisierungsanwendungen dienen (Haderlein 2005). Ein Beispiel ist in Kombination mit Jahresangaben ein automatischer Aufbau einer Bauwerkshistorie. Die Jahresangabe ist oft in Freitext-Metadatenfeldern vorhanden und wird mithilfe von regulären Ausdrücken extrahiert und in ein eigenes Datenfeld geschrieben. Nach der Identifikation von für eine bestimmte Aufgabenstellung relevanten Plänen sollen mit den ML-Methoden Objekt- und Texterkennung die benötigten Informationen extrahiert werden. Große (Übersichts-) Pläne ähnlich zu Bild 1 sind manchmal zerstückelt in mehreren Dateien abgelegt, da der Scanner für den gesamten Plan zu klein war. Hier soll untersucht werden, ob mit Stitching-Methoden der Bildverarbeitung eine vollautomatische Zusammenführung der Einzelpläne umgesetzt werden kann.

4 Ergebnisse

Der aktuelle Anwendungsfall ist die Erfassung von zentralen Plänen (Grundriss, Ansicht, Längsschnitt, ...) für jede Wehranlage. Zunächst wird das gesamte Plangut zu den Objektteilen 000 (Gesamtobjekt) und 100 (Wehrbauwerk) betrachtet. Dies sind 4210 Pläne. Die Metadatenanalyse mit regulären Ausdrücken zeigt, dass 75 % davon eine Jahresangabe haben, 25 % haben eine Maßstabsangabe. Es ist erwähnenswert, dass ein Viertel der Maßstabsangaben in einem anderen Metadatenfeld als dem Maßstabsfeld gefunden werden. Alle Wörter, die in fünf oder mehr TUs vorkommen, wird eine Bedeutung zugewiesen (625 Stück). Über 99 % der Dokumente erhalten damit eine erweiterte Bedeutung. So können TUs gefiltert werden, in deren Metadatenfeldern ein zentraler Planotyp erwähnt wird (1491 Stück). Des Weiteren können spezifische Pläne zu Bohrungen (z. B. „Bohrkernentnahme Längsschnitt“), Entwürfen oder anderen Bauteilen (z. B. „Grundriss Spundwand“) aussortiert werden. 555 Pläne bleiben übrig, die als Datengrundlage für weitere Untersuchungen dienen sollen. 20 % dieser Pläne sind in mehrere Dokumente zerstückelt, und dienen als Grundlage für einen möglichen Machbarkeitsnachweis zum Stitching.

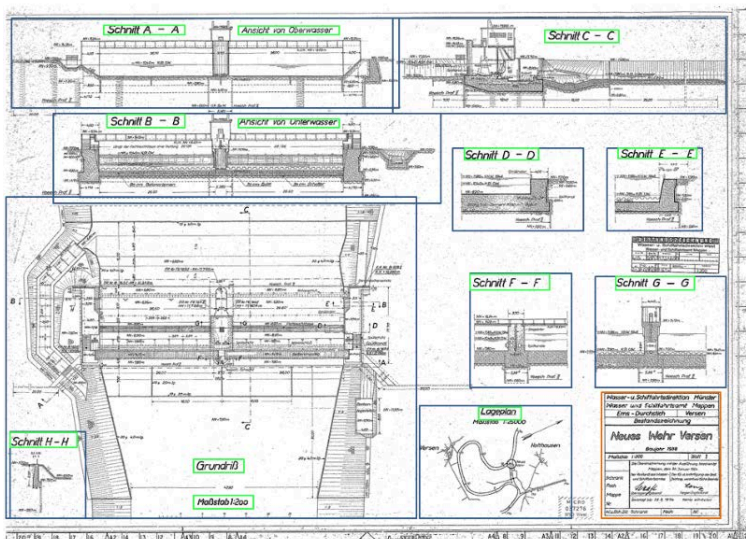


Bild 1: Ein Übersichtsplan, der zentrale Pläne wie Grundriss, Ansichten und Längsschnitt zusammenfasst. Erkannt sind Pläne (Blau), Text (Grün) und das Textfeld (Orange).

Literatur:

BMVI (2013): VV-WSV 2116 Baubestandswerk.

Bödefeld, J.; Damrau, T.; Duric, Z.; Schenk, D.; Weinmann, P. (2019): Planen, Bauen und Betreiben der Wasserstraßeninfrastruktur – Empfehlungen zur Erstellung eines Masterplans Digitalisierung.

Haderlein, V. (2005): Semantik bei der Arbeit mit zentralen Wortschatzen: Anforderungen und Möglichkeiten. In: Langer, S.; Schnorbusch, D. (Hg.): Semantik im Lexikon. Tübingen: Narr (Tübinger Beiträge zur Linguistik, 479), S. 9–32.

3D-Bodenschichtmodell

Visualisierung des Baugrunds

1 Aufgabenstellung und Ziel

Gemäß dem „Stufenplan Digitales Planen und Bauen“ des Bundesministeriums Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) sollen künftige Infrastrukturprojekte nach der BIM-Methode (Building Information Modeling) erstellt werden. Als Basis für die Infrastrukturbauwerke ist unter anderem ein 3D-Modell des Baugrundes notwendig. Als Eingangsdaten liegen Bohrlöcher und das digitale Geländemodell (DGM) vor. Daraus soll ein 3D-Bodenschichtmodell erstellt werden. Ziel des Forschungsvorhabens ist eine Analyse der Leistungsfähigkeit intern und extern aktuell vorhandener Methoden und Softwarepakete zur Lösung der Aufgabenstellung.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Das Forschungsvorhaben bildet die Grundlage für die Generierung von 3D-Baugrundmodellen in der BAW. Durch die Nutzung von Algorithmen sollen möglichst viele Bearbeiter bei gleicher Datengrundlage auf ein möglichst ähnliches Ergebnis kommen und somit eine hohe Transparenz schaffen.

Volumenkörper der Erdschichten sind auch unabhängig von BIM für weitere Planungen und Berechnungen relevant. Bereits im Voraus kann damit eine präzise Abschätzung der Erdaushubmasse und deren Material erfolgen. Dies ist wichtig für die Bauplanung und Baukostenschätzung für den Erdbau und für die Bohrarbeiten. Beispielsweise verursachen kontaminierte Erdvolumen hohe Entsorgungskosten.

3 Untersuchungsmethoden

Zu Beginn des Projekts wurde eine Analyse intern und extern vorhandener Methoden und Softwarepakete durchgeführt. Intern vorhandene Methoden und Programme ermöglichen gegenwärtig nur die Visualisierung des Baugrundmodells. Darum lag der weitere Fokus auf externen Lösungen zur Modellierung. Die Hauptkriterien zur Bewertung sind die geologische Modellierung, Benutzerfreundlichkeit, Import- und Exportmöglichkeiten, Datenvisualisierung und die Funktionen der Software.

Auftragsnummer:

B3952.02.04.70008

Auftragsleitung:



Dominik Stütz

dominik.stuetz@baw.de

Laufzeit:

2020 bis 2021

4 Ergebnisse

Es folgt eine Zusammenfassung der Beurteilung der bisher getesteten Software.

GemPy

GemPy ist ein Paket für die Programmiersprache Python zur Erzeugung von strukturellen, geologischen 3D-Modellen. Der Quellcode ist Open Source und kann somit für die eigenen Belange angepasst und erweitert werden. Zur Interpolation wird in GemPy der Co-Kriging-Algorithmus verwendet. Dadurch ist es möglich, dass sich geologisch zusammengehörende Schichten gegenseitig beeinflussen. Des Weiteren können Verwerfungen korrekt in die Berechnungen miteinbezogen werden. Die Volumenkörper werden aktuell in einem festen dreidimensionalen Quadrigitter berechnet (Bild unten). Es wäre aber ebenso möglich, diese aus den Kontaktflächen zu erstellen (Titelbild). Alle Objekte können exportiert werden, wenn dafür eine zusätzliche Funktion geschrieben wird. Eine Benutzeroberfläche fehlt bisher bei dieser Software und kann bzw. müsste für die Bedürfnisse der BAW entwickelt werden.

GemPy benötigt zur Modellberechnung Neigungsinformationen der Erdschichten. Eine hohe Dichte an Neigungsinformationen verbessert das Resultat erheblich. Die nach DIN EN ISO 14688 visualisierten Bohrsäulen enthalten aber derzeit gar keine Neigungsinformationen. Im Rahmen der Tests wurde darum für GemPy eine Funktion entwickelt, welche für die Bohrlöcher aus deren Nachbar-Bohrlöchern Neigungen berechnet.

BGS Groundhog Desktop

BGS Groundhog Desktop ist ein Software-Tool, das vom British Geological Survey entwickelt und zur Verfügung gestellt wird. Das Tool wird zur Visualisierung, Interpretation und geologischen 3D-Modellierung geologischer Daten verwendet. Es ist sowohl in einer frei nutzbaren als auch in einer kommerziellen Edition erhältlich. Der Bedienablauf der Software ist sehr einfach und orientiert sich an der bisherigen Vorgehensweise der Abteilung Geotechnik. Für eine 2D-Modellierung ist die Software sehr gut konzipiert. Zur 3D-Modellierung wird die Voronoi-Interpolation verwendet. Diese berücksichtigt aber weder eine Schichtabhängigkeit noch Verwerfungen. Als Volumenkörper werden auch hier Quadrigitter verwendet. Eine Exportfunktion der Volumenkörper ist aktuell nicht möglich, aber geplant.

Maptek Vulcan & Eureka

Vulcan von Maptek wurde für die Bergbauindustrie u. a. zur geologischen 3D-Modellierung entworfen. Eureka dient als ergänzende integrierte Plattform zum Anzeigen und Visualisieren der Projekte. Nach und nach soll jedoch der Funktionsumfang von Eureka erweitert werden, sodass auch hier eine 3D-Modellierung von einfachen geologischen Projekten möglich ist.

Mit Vulcan lassen sich valide geologische Modelle generieren. Jede Schicht existiert an jeder Stelle im Modell. Existiert eine Schicht im Bohrloch nicht, wird dieser die Dicke 0 zugewiesen. Jedoch ist eine gegenseitige Beeinflussung der Schichten wie auch die Interpolation über Verwerfungen hinweg nicht möglich. Letzteres hat zur Folge, dass jeder Abschnitt zwischen den Verwerfungen komplett unabhängig modelliert wird. Separat modellierte Blöcke der gleichen Schicht werden aber nach der Modellierung automatisch zu einem Block verbunden.

Weitere Tests

Folgende Programme werden im weiteren Verlauf des Forschungsprojekts getestet:

- GeoScene3D von I•GIS
- Leapfrog Works von SEEQUENT
- SubSurfaceViewer von Insight
- SKUA-GOCAD von Emerson
- GeoModeller von Intrepid Geophysics

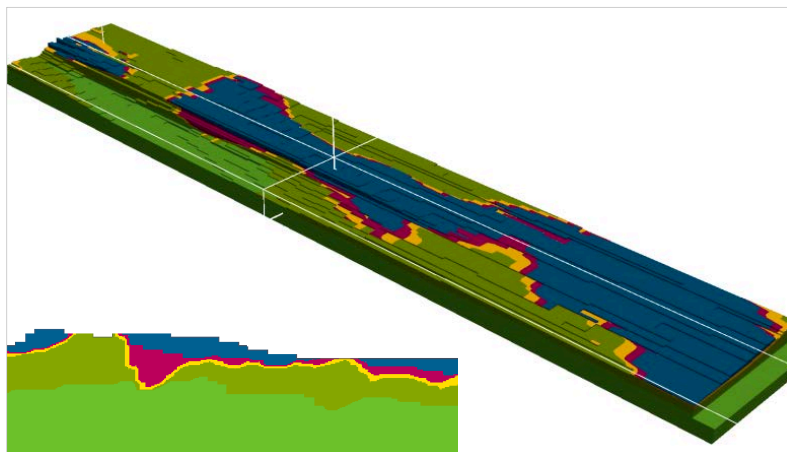


Bild 1: Quadervolumenkörper mit überhöhtem Schnitt.

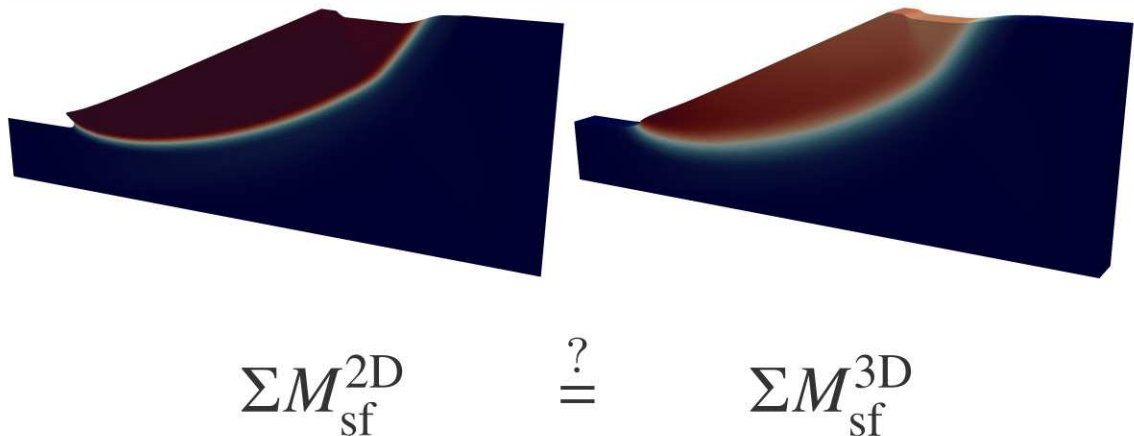
Literatur:

BMVI (2015): Stufenplan Digitales Planen und Bauen – Einführung moderner, IT-gestützter Prozesse und Technologien bei Planung, Bau und Betrieb von Bauwerken.

<https://GemPy.org>

<https://britishgeologicalsurvey.github.io/Groundhog>

<https://Maptek.com>



Erfassung der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit mittels dreidimensionaler FE-Berechnungen in der Geotechnik

Probate dreidimensionale Simulationsmethoden

1 Aufgabenstellung und Ziel

Die FEM (Finite-Element-Methode) ist ein häufig genutztes Werkzeug zur Analyse geotechnischer Fragestellungen. Diverse Fragen können mit den bislang verwendeten zweidimensionalen (2D) FE-Modellen nicht hinreichend beantwortet werden (z. B. Standsicherheit von Brückenwiderlagern in Böschungen, Einzellasten an Geländesprüngen etc.). Auch der geplante Einsatz von BIM (Building Information Modeling) im Verkehrswegebau wird den Bedarf an dreidimensionalen Standsicherheitsberechnungen deutlich erhöhen. Zurzeit liefert jedoch die Modellierung von räumlichen Bruchzuständen wegen zahlreicher numerischer Einflussfaktoren und des verwendeten Stoffgesetzes unsichere Ergebnisse.

Es zeigt sich beispielsweise bei Böschungen unter einfachen Randbedingungen, für die auch analytische Lösungen vorliegen, dass die Berechnung der Standsicherheit in 3D viel sensitiver reagiert als bei den entsprechend dem Stand der Technik durchgeführten zweidimensionalen Nachweisen. Nicht nachvollziehbare Differenzen zwischen Ergebnissen von 2D- und äquivalenten 3D-Simulationen zur Beantwortung derselben Fragestellung reduzieren die Akzeptanz numerischer Ergebnisse. Dies ist besonders relevant, wenn die FEM zur Beurteilung der Standsicherheit von Bauwerken unter dreidimensionaler Belastung genutzt wird. Die Ursachen hierfür müssen systematisch analysiert werden, um entsprechende Handlungsempfehlungen für die 3D-FE-Modellierung abzuleiten.

Darüber hinaus sollen die Grundlagen für geotechnische Standsicherheitsberechnungen, die räumlichen Einflüssen unterliegen, mithilfe von 3D-FE-Berechnungen erarbeitet werden. Ziel wäre es beispielsweise, beim Nachweis des Kreuzungsbauwerk eines Dammes nicht nur die Grundwasserströmung, sondern auch den Bodenwiderstand dreidimensional zu berücksichtigen. Hierbei sind u. a. die räumlichen Belastungen aus Einwirkungen und die mobilisierbaren räumlichen Widerstände zu bestimmen. Insbesondere die Definition des Bruchkriteriums ist für den Nachweis in 3D kritisch zu überprüfen.

Auftragsnummer:

B3952.02.04.70009

Auftragsleitung:



Siegfried Galkin
 siegfried.galkin@baw.de

Laufzeit:

2020 bis 2024

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Durch verbesserte numerische 3D-Analysen können Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit von vorhandenen und neuen komplexen Bauwerken besser beurteilt werden. Das hat besondere Bedeutung für Bauvorhaben im oder neben dem Bestand, z. B. für tiefe Baugruben neben sensiblen Bestandsbauwerken.

3 Untersuchungsmethoden

Es sind umfangreiche numerische Untersuchungen ggf. mit Vergleich an geotechnischen Messungen vorgesehen. Hierbei sollen die Herausforderungen bei der Verwendung von dreidimensionalen Simulationsmodellen im Vergleich zu 2D-Modellen systematisch analysiert werden. Dazu zählt die Analyse der Vernetzung, des verwendeten Elementtyps, der Randbedingungen (bspw. Symmetrie), des Einflusses der geometrischen Abmessungen und der unterschiedlichen Auswertungsmethoden. Sofern vorhanden, sollen die numerischen Ergebnisse in 2D und 3D mit analytischen Ansätzen verglichen werden. Die ermittelten Wechselwirkungen und Zusammenhänge sollen bei der Modellierung von realen Fragestellungen (bspw. Pfahlprobelastungen) angewendet werden. Zusätzlich soll ein Vergleich mit Modellversuchen (bspw. räumlicher aktiver Erddruck im Bereich von Baugrubenecken) erfolgen, um die Validität der dreidimensionalen numerischen Methoden zu überprüfen. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen unabhängig von der verwendeten FE-Software anwendbar sein, daher werden in unterschiedlichen Softwaretools die gleichen Szenarien und Herangehensweisen analysiert.

4 Ergebnisse

Um die Ergebnisse in 2D- und 3D-Simulationen zu vergleichen, muss sichergestellt werden, dass die sich einstellenden Deformationen und die daraus resultierenden Spannungen dasselbe Maß darstellen. In den untersuchten FE-Softwaretools Plaxis und Abaqus wurde festgestellt, dass bei kleinen Deformationen linearisierte Dehnungsmaße verwendet werden. Bei großen Deformationen wird in Plaxis die Jaumann- und in Abaqus sowohl die Green-Naghdi- als auch die Jaumann-Rate verwendet. In erster Linie wurde daher für eine direkte Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit linearisierten Dehnungsmaßen gerechnet.

Ein klassisches Problem in der Geotechnik ist die Bestimmung der Böschungstabilität. Hierzu existieren zahlreiche analytische Ansätze (Bishop, Janbu, Davis), um die Standsicherheit einer Böschung zu bestimmen. Aufbauend auf der im Plaxis-Guide Validation & Verification vorgestellten Böschung (siehe Titelbild), wurden der Elementtyp und die Vernetzung variiert, um den Einfluss auf die resultierende Standsicherheit zu bestimmen. Die Simulationsergebnisse sind in Bild 1 zusammengefasst. Je nach Elementansatzfunktion (2D 6-Knoten-Element und 3D: quadratisch; 2D 15-Knoten-Element: quartisch) konvergiert die Standsicherheit mit abnehmender mittlerer Elementkantenlänge unterschiedlich schnell. Eine Vernetzung in 2D mit 15-Knoten-Elementen gibt schon bei relativ grober Vernetzung die analytische Lösung nach Bishop ausreichend genau wieder. Hingegen wird in 2D-Modellen bei Verwendung von 6-Knoten-Elementen eine circa drei- bis viermal feinere Vernetzung benötigt, um dieselbe Modellierungsgenauigkeit zu erzielen. Im Falle von 3D-Modellen konvergiert die Standsicherheit ebenso mit abnehmender Elementkantenlänge. Da sowohl die 3D-Elemente als auch die 2D-Elemente mit sechs Knoten beide mit der quadratischen Ansatzfunktion beschrieben werden, stimmen die Ergebnisse von beiden Modellen gut überein.

Generell können Böschungen eine komplexere Geometrie mit anliegenden Bauwerken aufweisen. Daher wurde im Weiteren die gewählte Vernetzungsstrategie näher untersucht. Werden bspw. die Seiten einer Böschung unterschiedlich fein vernetzt, kann sich hierdurch eine von der Realität abweichende Deformation einstellen. Daher sollte insbesondere bei der Vernetzung ein besonderes Augenmerk auf ausreichend genaue Feinheit gelegt werden, um physikalisch plausible Lösungen zu erhalten.

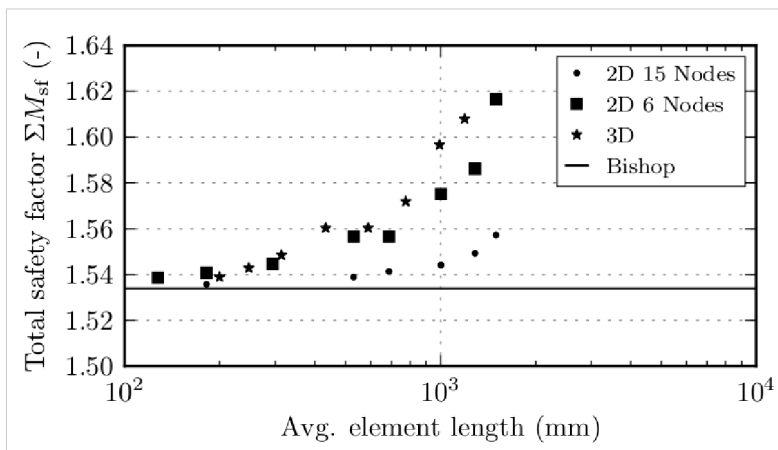


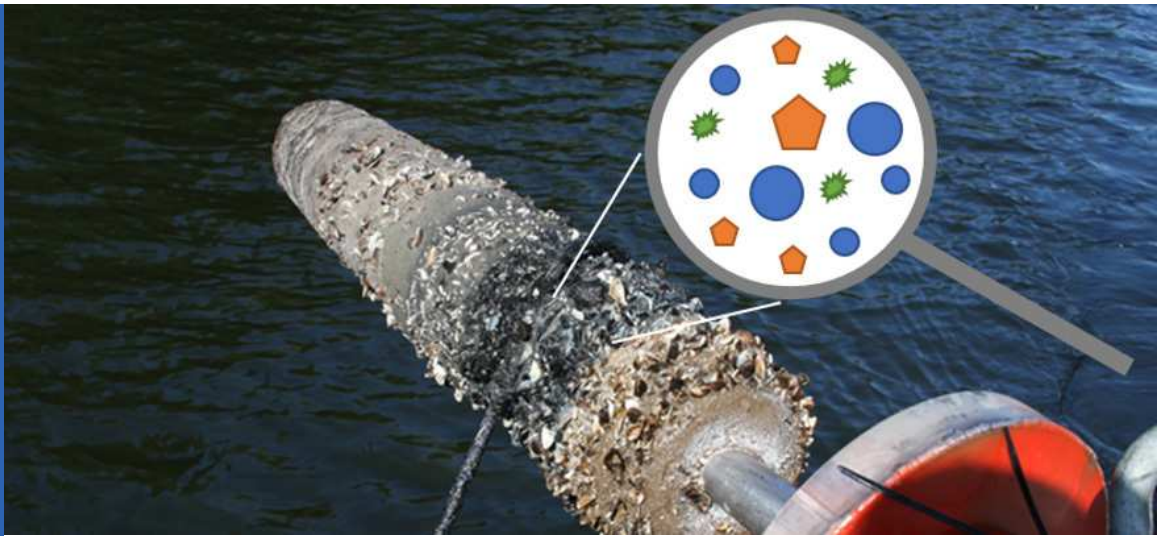
Bild 1: Resultierender Sicherheitsfaktor einer Böschung der Modellierung in 2D und 3D in Abhängigkeit von der mittleren Elementkantenlänge.

Literatur:

Plaxis – Validation & Verification (2018): Phi-c reduction and comparison with Bishop's method.

Wehnert, M.; Vermeer, P. A. (2004): Numerische Simulation von Probebelastungen an Großbohrpfählen. Ostfildern, Bauen in Boden und Fels. 4. Kolloquium 20. und 21. Januar 2004.

Klein, L. (2019): Untersuchungen zum räumlichen aktiven Erddruck bei Baugruben mit rechteckigem Grundriss. Dissertation, Universität Stuttgart, Institut für Geotechnik.



Mikroplastik als OW-GW-Indikator

Beurteilung und Bewertung der Interaktion von Oberflächenwasser und Grundwasser an Bundeswasserstraßen

1 Aufgabenstellung und Ziel

Kunststoffe haben heute vielfältige Einsatzbereiche in unserer Lebensumwelt und sind aus dem alltäglichen Gebrauch nicht mehr wegzudenken. Mikroplastikpartikel (MP) (definiert als Kunststoffpartikel $< 5 \text{ mm}$) stellen jedoch einen neuartigen Umweltschadstoff dar, der ubiquitär in allen Umweltkompartimenten (besonders aquatischen Systemen) vorhanden ist. Bisher ist über die gesundheitliche Relevanz und das Umweltverhalten von MP nur sehr wenig bekannt, jedoch nimmt das gesellschaftliche, wissenschaftliche und politische Interesse stetig zu. Die hohe Persistenz in der Umwelt stellt zwar eine große Herausforderung für die Vermeidung dar, ergibt aber gleichzeitig die Möglichkeit MP als einen ubiquitär vorkommenden Tracer einzusetzen.

Die Interaktion zwischen Oberflächenwasser (OW) und Grundwasser (GW) wird neben den räumlich und zeitlich variierenden hydrologischen Randbedingungen maßgeblich durch die geomorphologischen, geologischen und hydrogeologischen Eigenschaften der Gewässersohle gesteuert. Vor allem die Durchlässigkeitsabnahme in der Gewässersohle durch Kolmationsprozesse (z. B. Infiltration von feinem Material) wird hierbei als eine Schlüsselgröße angesehen. Bisher konnte aber noch kein eindeutiger Nachweis zu einer dauerhaften Verdichtung der Gewässersohle an Bundeswasserstraßen erbracht werden. Durch die geohydraulischen Standarduntersuchungsmethoden können die besonderen Randbedingungen an Bundeswasserstraßen (u. a. Umlagerungs- und Durchmischungsprozesse) nicht ausreichend erfasst werden.

Die an der BAW weiterentwickelte Gefrierkernmethodik ermöglicht die geohydraulische Charakterisierung in hoher räumlicher Auflösung (Straßer et al. 2015). Mit der ergänzenden Messung der MP-Verteilung im Sedimentkern besteht die Möglichkeit, rezente Umlagerungsprozesse zu erkennen und zeitliche Effekte in die geohydraulische Bewertung einzubeziehen (Bild 1).

Ziel des FuE-Vorhabens ist es, über die Verlagerung und Tiefenverteilung von MP Rückschlüsse auf die Austauschprozesse und Hydrodynamik in der Gewässersohle an Bundeswasserstraßen zu ziehen, um die Auswirkungen wasserbaulicher Unterhalts-, Ausbau- und Renaturierungsmaßnahmen besser bewerten zu können.

Auftragsnummer:

B3952.03.04.70009

Auftragsleitung:



Marco Pittroff
marco.pittroff@baw.de



Dr. Hermann Josef Lensing
hoerby.lensing@baw.de

Laufzeit:

2020 bis 2023

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Die OW-GW-Interaktion an Bundeswasserstraßen kann durch Unterhalts-, Ausbau- und Renaturierungsmaßnahmen maßgeblich verändert werden. Die wasserbaulichen Auswirkungen auf die Gewässersohle und Grundwasserverhältnisse lassen sich mit den bestehenden Methoden nicht ausreichend genau erfassen. Im Rahmen des FuE-Vorhabens soll ein einfaches und kostengünstiges Prognose- und Bewertungswerkzeug zur Erfassung der geohydraulischen Ausgangsbedingungen an der Gewässersohle entwickelt werden. Die Einflüsse wasserbaulicher Maßnahmen auf den Wasser- und Stoffaustausch über Gewässersohle und Ufer sollen dadurch besser untersucht und bewertet werden können. Mögliche wasserwirtschaftliche Konfliktpotenziale und Anforderungen können so besser erkannt und ggf. reduziert werden. Außerdem kann dadurch die Planungssicherheit von WSV-Projekten verbessert werden, was mit relevanten Zeit- und Kostenvorteilen verbunden ist.

3 Untersuchungsmethoden

Geplant sind Laborversuche zur Weiterentwicklung bereits bestehender Methoden und die anschließende praktische Anwendung in Feldversuchen. Die Säulenversuche sollen unter definierten Randbedingungen durchgeführt werden und es sollen unterschiedliche MP-Partikel für die Eignung als Tracer und zur Weiterentwicklung der Analysemethoden getestet werden. So können erste abschätzende Informationen über das Infiltrationsverhalten und die Tiefenverteilung von MP im Sediment erhalten werden (Bild 1).

Als Analyseverfahren werden zwei komplementäre Methoden an der Uni Potsdam (SWIR spectroscopy; Schmidt et al. 2018) und der BfG (Pyr-GC/MS; Dierkes et al. 2019) eingesetzt. Diese ermöglichen einen an die vorliegende Fragestellung angepassten schnellen und praktikablen Einsatz. Die MP-Verteilung im Sediment kann somit sowohl schichtweise als auch kontinuierlich hochaufgelöst im Sediment erfasst werden.

Als Versuchsstandorte werden bereits in vorangegangenen Projekten untersuchte Standorte an Bundeswasserstraßen genutzt. Die an der BAW etablierte Gefrierkernmethode (Straßer et al. 2015) wird als Erkundungsmethode der MP-Gehalte in der Gewässersohle eingesetzt und mit der MP-Analytik der externen Partner kombiniert. Für die Quantifizierung der Randbedingungen werden zusätzlich Wasserproben aus dem OW und GW entnommen. Diese Kombination liefert sowohl räumlich als auch zeitlich hochaufgelöste Informationen über die MP-Verteilung zur Beurteilung der Sedimentcharakteristik und -dynamik.

4 Ergebnisse und Ausblick

Im Zuge des bisherigen Projektverlaufs wurde ein Kooperations- und Forschungsvertrag mit der Universität Potsdam ausgearbeitet. Die zukünftige Bearbeitung des Projekts erfolgt gemeinsam mit den beiden Projektpartnern. Erste Vorbereitungen zu den Laborversuchen (verwendbare MP-Typen und Chemikalien) und Absprachen für die Analysemethoden wurden getroffen. An der BAW wurde mit der Materialbeschaffung und der Konstruktion des Versuchsstands der Bodensäulen für die Laborversuche begonnen. Die abschließende Konzeption und Durchführung der Laborsäulenversuche werden im Jahre 2021 an der Uni Potsdam stattfinden.

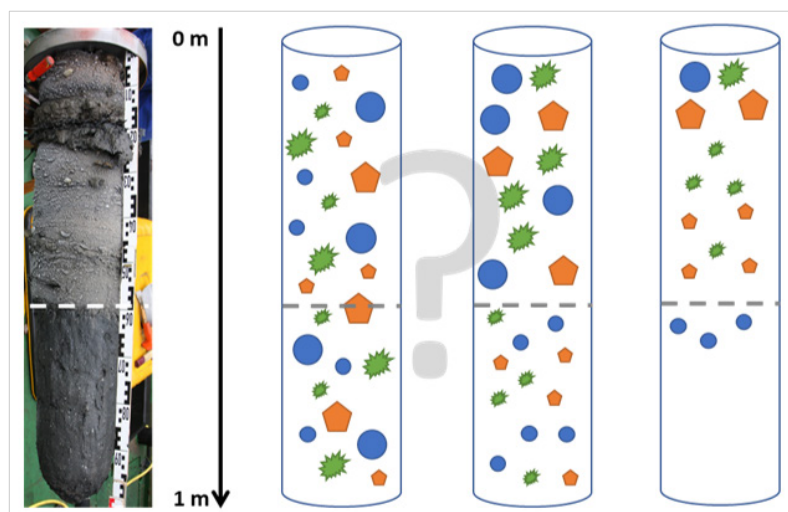


Bild 1: Verlagerung und Tiefenverteilung von Mikroplastik im Sediment zur Beurteilung der Sedimentcharakteristik und -dynamik.

Literatur:

Straßer, D.; Lensing, H.-J.; Nuber, T.; Richter, D.; Frank, S.; Goepfert, N.; Goldscheider, N. (2015): Improved geohydraulic characterization of river bed sediments based on freeze-core sampling – Development and evaluation of a new measurement approach. In: *Journal of Hydrology* (527), 133–141.

Dierkes, G.; Lauschke, T.; Becher, S.; Schumacher, H.; Földi, C.; Ternes, T. (2019) Quantification of microplastics in environmental samples via pressurized liquid extraction and pyrolysis-gas chromatography. *Anal Bioanal. Chem* (411), 6959–6968.

Schmidt, L. K.; Bochow, M.; Imhof, H. K.; Oswald, S. E. (2018). Multi-temporal surveys for microplastic particles enabled by a novel and fast application of SWIR imaging spectroscopy—Study of an urban watercourse traversing the city of Berlin, Germany. *Environmental Pollution* (239), 579–589.



Porenwasserüberdruck im Gewässerbett

Versuche an der Wechseldurchströmungsanlage zur Untersuchung von Porenwasserüberdruck und Verflüssigung in (schluffigen) Sanden

1 Aufgabenstellung und Ziel

Ufer von Bundeswasserstraßen unterliegen hydraulischen Einwirkungen. Schiffe z. B. erzeugen bei Vorbeifahrt am Ufer einen sogenannten Absenk, der im Boden Porenwasserüberdrücke und damit Porenströmungen erzeugt, die zur Verflüssigung einer oberflächennahen Schicht führen können. Bei konventionellen Deckwerken wird die lokale Standsicherheit der Böschungen durch das Aufbringen einer Flächenlast (Wasserbausteine) gewährleistet. Die Bemessung der Deckschicht erfolgt dabei anhand des BAW-Merkblatts „Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlsicherungen an Binnenwasserstraßen (GBB)“ (Bundesanstalt für Wasserbau 2010).

Technisch-biologische Ufersicherungen (TBU) können dabei helfen, Wasserstraßen wieder naturnaher zu gestalten. Diese können aus einer Kombination von pflanzlicher und technischer Sicherung oder durch eine rein pflanzliche Sicherung hergestellt werden. Bei TBUs ohne technische Komponenten fehlt eine sichernde Auflast. Die Stabilität wird hier primär durch das Wurzelwerk der Pflanzen hergestellt. An bestehenden TBUs wurde beobachtet, dass besonders in den ersten Jahren nach dem Einbau Bodenerosion auftritt, obwohl die Fließgeschwindigkeiten gering sind (Fleischer und Soyeaux 2016). Möglicherweise wird der Erosionsprozess durch das Auftreten von Porenwasserüberdrücken bis hin zur Verflüssigung hervorgerufen bzw. begünstigt.

In dieser Arbeit sollen Versuche zur Überprüfung des Ansatzes für den Porenwasserüberdruck bei der Bemessung der Deckschichtdicke für schluffige Sande unter Auflast an der Wechseldurchströmungsanlage (WDA) durchgeführt werden. Zudem sollen auch Versuche mit freier Oberfläche durchgeführt werden, um das Verhalten der entsprechenden Böden für TBUs besser einschätzen und mögliche Verflüssigungsprozesse erkennen zu können.

Die Versuche werden dann nach dem BAW Merkblatt: „GBB“ (Bundesanstalt für Wasserbau 2010) sowohl mit analytischen als auch numerischen Methoden nachgerechnet, mit den Versuchsergebnissen verglichen und um eine Parameterstudie ergänzt. Hierbei steht die Überprüfung der Bemessungsgrundlagen und die Bewertung des Optimierungspotenzials der Deckwerksdicke im Vordergrund.

Auftragsnummer:

B3952.04.04.70013

Auftragsleitung:



Julia Rothschink
 julia.rothschink@baw.de

Laufzeit:

2020 bis 2021

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Als Dienstleisterin der WSV entwickelt die BAW im Referat Erdbau- und Uferschutz die Bemessungsregeln für Deckwerke an Bundeswasserstraßen und untersucht insbesondere die Standsicherheit und Weiterentwicklung naturnaher Ufersicherungen, welche zunehmend an Bedeutung gewinnen. Durch eine mögliche Optimierung der Bemessung von Deckschichtdicken könnten Ufersicherungen noch wirtschaftlicher und ressourcenschonender geplant werden. Zudem gilt es, für die weitere Planung von Wasserstraßen den immer wichtiger werdenden Aspekt einer umweltverträglichen und ökologisch sinnvollen Alternative zu Schüttsteindeckwerken voran zu treiben. Um die bereits eingesetzten technisch-biologischen Ufersicherungen weiter etablieren zu können, ist ein vertieftes Prozessverständnis der Verflüssigungsprozesse in Bereichen ohne Deckschicht für verschiedene Bodentypen (z. B. nach MAR B2, B3 und B4) notwendig.

3 Untersuchungsmethoden

Für die Erstellung des Versuchsprogrammes wurden zunächst die im MAR veröffentlichten hydraulischen Belastungsgrößen durch Schiffswellen in Regelquerschnitten von Schifffahrtskanälen sowie Messwerte aus Naturmessungen ausgewertet, um eine möglichst praxisnahe Messreihe mit typischen Belastungsgrößen aufzustellen. Es werden Sande (Boden B2), schwach schluffige Sande (B3) und stark schluffige Sande (B4 nach MAR) mit unterschiedlichen Durchlässigkeiten betrachtet. Für die Herstellung der Böden wurde dem Sand jeweils Schluff in verschiedenen Anteilen beigemischt um die gewünschten Durchlässigkeiten herzustellen. Weitere bemessungsrelevante Randbedingungen nach MAR und GBB sind der Gasgehalt (10–15%) sowie die typischen erzeugten Wellen (linearer Absunk). Die Ergebnisse sollen mit den Bemessungsansätzen des GBB sowie analytischen und numerischen Berechnungen verglichen werden.

Die Wechseldurchströmungsanlage kann während der Versuche unterschiedliche Druckniveaus auf die Probe aufbringen. Dabei gibt es die Möglichkeit, eine Druckplatte als Auflast auf der Probe abzusetzen, um eine Auflast durch z. B. ein Deckwerk zu simulieren (Kayser et al. 2016).

Nach den Versuchen mit Auflast soll die Probe ohne Auflast untersucht werden, um die Entstehung von hydrodynamischen Bodenbewegungen bzw. Verflüssigung beobachten zu können und um ein generell besseres Prozessverständnis dieser Beobachtungen zu erlangen. Für diese Versuche sind insbesondere die Verformung und die Größe der Bewegung innerhalb der Probe interessant.

4 Ergebnisse

Bisher konnten Versuche und Ergebnisse zu Sand-Schluff-Gemischen mit 10 % Schluff ($k \sim 2 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$) erfolgreich durchgeführt und ausgewertet werden. Bei einer ersten Versuchsreihe mit 5 % Schluff im Gemisch konnte nicht die gewünschte Durchlässigkeit hergestellt werden.

Bild 1 zeigt die Porenwasserüberdrücke einer typischen Welle mit einem Wasserspiegelabsink $z_a = 0,6 \text{ m}$ in $t_a = 5 \text{ s}$. Diese wurde bei einem Gasgehalt von ca. 12 % und bei einem Druckniveau von 1,3 bar mit Auflast auf das Sediment im Zylinder ermittelt. Danach konnten die aus den Versuchen ermittelten Werte mit einem Finite-Element Modell (Plaxis) mittels vollständig gekoppelter Konsolidationsberechnung mit linear elastischem Boden und unter Berücksichtigung der Kompressibilität der Gas-Wasser-Phase nachgerechnet werden. Die Ergebnisse der Berechnungen mit Plaxis und GBB decken sich sehr gut mit den Ergebnissen aus den Versuchen. Lediglich im unteren Bereich liefern die GBB-Berechnungen etwas höhere Werte der Porenwasserüberdrücke als die Versuche. Die Versuche ohne Auflast wurden zusätzlich mittels Videoaufnahmen festgehalten, in denen deutlich zu sehen ist, dass sich die Probe während einer Druckreduktion (linearer Absunk) hebt und danach, bei einem darauffolgenden Druckanstieg wieder senkt.

Es sind weitere Versuche mit erhöhtem Schluffanteil geplant, um noch geringer durchlässige Böden und deren Porenwasserdruckreaktion auf typische Wellen untersuchen zu können.

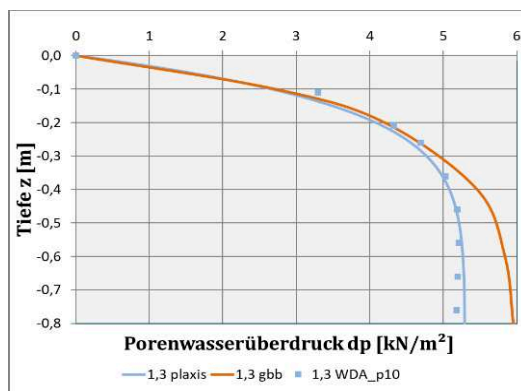


Bild 1: Porenwasserüberdrücke einer Welle mit einem Wasserspiegelabsink $z_a = 0,6 \text{ m}$ in $t_a = 5 \text{ s}$ und entsprechende Nachrechnung (Plaxis + GBB).

Literatur:

BAW (Hg.) (2010): BAWMerckblatt Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen (GBB). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau.

BAW (Hg.) (2008): BAWMerckblatt Anwendung von Regelbauweisen für Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen (MAR). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau.

Kayser, J. et al. (2016): A Test Apparatus for Alternating Flow in Geotechnical Engineering. In: Geotechnical Testing Journal Vol. 39 (No. 5). S. 865–878.



Wurzeln zur Ufersicherung an Binnenwasserstraßen

Berücksichtigung im Nachweis der lokalen Standsicherheit

1 Aufgabenstellung und Ziel

Bei technisch-biologischen Ufersicherungen übernehmen Pflanzen bzw. eine Kombination aus Pflanzen und technischen Maßnahmen den Uferschutz. Dabei stabilisieren die Wurzeln der Pflanzen den Boden. Sie erhöhen die Scherfestigkeit und übernehmen Filterfunktionen. Die positiven Effekte wurden bisher nicht soweit quantifiziert, dass sie in Bemessungsverfahren berücksichtigt werden konnten. Stattdessen wird aufgrund der bisherigen Erkenntnisse u. a. aus dem BAW-Forschungsprojekt B3952.04.04.10151 ein Bemessungsverfahren empfohlen, das auf der sicheren Seite liegt [DWA 2016]. Bei diesem werden Wurzeln nicht zum Ansatz gebracht.

Die stabilisierende Wirkung der Wurzeln auf Böschungen an Wasserstraßen soll quantitativ untersucht und anschließend in geeignete Berechnungsmodelle integriert werden. Ziel ist es, die Wirkung der Wurzeln bei der Bemessung technisch-biologischer Ufersicherungen zu berücksichtigen. Dadurch sollen deren Anwendungsbereiche erweitert werden.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Bei all ihren Tätigkeiten muss die WSV die Bedürfnisse der Wasserwirtschaft wahren. Hierzu zählt seit der Einführung der europäischen Wasserrahmenrichtlinie im Jahr 2000, dass bei Ausbau und Unterhaltung der Wasserstraßen deren ökologischer Zustand verbessert werden soll, um das ökologische Potenzial der Binnenwasserstraßen auszuschöpfen.

Der Ersatz eines herkömmlichen Uferdeckwerks durch eine technisch-biologische Ufersicherung bietet die Möglichkeit, die ökologischen Verhältnisse auch dort zu verbessern, wo auf einen Uferschutz nicht verzichtet werden kann. Aus diesem Grund sollen zukünftig vermehrt Pflanzen zur Ufersicherung eingesetzt werden, wenn dies die hydraulischen Belastungen erlauben.

Kann die stabilisierende Wirkung der Wurzeln bei der Bemessung berücksichtigt werden, erweitert sich die Einsetzbarkeit technisch-biologischer Ufersicherungen, die kein signifikantes Flächengewicht aufweisen wie z. B. Weidenspreitlagen oder Pflanzmatten. Hierdurch lässt sich das ökologische Potenzial an den Binnenwasserstraßen erhöhen.

Auftragsnummer:

B3952.04.04.70014

Auftragsleitung:



Volker Schlüter
 volker.schlueter@baw.de

Laufzeit:

2020 bis 2023

3 Untersuchungsmethoden

Um Wurzeln in den Standsicherheitsnachweisen zu berücksichtigen, müssen deren Einflüsse quantifiziert werden. Hierfür sind verschiedene Labor-, Modell- und Naturversuche vorgesehen:

- Aufzucht typischer Pflanzen technisch-biologischer Ufersicherungen, wie z. B. Weiden, Gräser oder Stauden unter definierten Bedingungen
- Ermittlung der Wurzelparameter durch Wurzelaufgrabungen, Zug- und Scherfestigkeitsversuche
- Ermittlung von Wurzelparametern in-situ an der Versuchsstrecke am Rhein sowie an anderen geeigneten Standorten für einen Vergleich mit den an den Versuchskästen im Labor ermittelten Werten, Modellergebnissen und Literaturangaben (Bild 1)
- Zusammenstellung der relevanten Wurzelparameter typischer Uferpflanzenarten für deren Integrierung in geeignete Berechnungsmodelle

4 Ergebnisse

Literaturrecherchen ergaben, dass die stabilisierende Wirkung der Wurzeln in Böschungen Gegenstand umfangreicher Forschungen ist. Dabei liegt der Fokus meist auf der Befestigung von Hängen, Straßenböschungen und dergleichen. Die dortigen Verhältnisse unterschieden sich in wesentlichen Punkten von Uferböschungen an Binnenwasserstraßen. Die Schifffahrt erzeugt hier zusätzliche hydraulische Belastungen und durch die Nähe zum Gewässer ist der Boden teilweise wassergesättigt. Bestehende Berechnungsmodelle sind daher auf die Bedingungen an Bundeswasserstraßen zu erweitern. Eine Möglichkeit ist der Ansatz einer durch die Wurzeln hervorgerufenen zusätzlichen Kohäsion im Bemessungsverfahren. Für deren Berechnung wurden in den letzten Jahrzehnten verschiedene Modellansätze entwickelt. Besonders vielversprechend erscheint ein Wurzelbündel-Modell, in das von Schwarz et al. (2013) eine Wahrscheinlichkeitsbetrachtung integriert wurde.

Obschon verschiedene Modelle vielversprechende Ansätze enthalten, ist mit ihnen eine verlässliche Bemessung bisher nicht möglich. Hierzu mangelt es generell an belastbaren Daten zur Wurzelentwicklung der verschiedenen Pflanzen. Diese sind als Eingangsgrößen für eine Berechnung unerlässlich. Sie hängen nicht nur von der Pflanzenart, sondern z. B. auch von der Bodenart, der Lage auf der Böschung, den Grundwasserverhältnissen, dem Alter der Pflanzen oder den klimatischen Bedingungen ab. Die Wurzeleigenschaften müssen daher statistisch abgesichert quantifiziert werden. Bisherige Versuche sind meist sehr aufwendig und erlauben daher nur eine begrenzte Anzahl an Versuchen. Passend zum gewählten Modell sind daher neue Messverfahren zu entwickeln, um mit vertretbarem Aufwand eine umfangreiche Datengrundlage zu erhalten.

Die Wirkung der Wurzeln hängt wesentlich davon ab, wie diese den Boden durchwurzeln. Dabei kann insbesondere bei Gehölzen wie z. B. Weiden das Wurzelbild stark variieren. An Flussufern stellt dabei der Wasserstand bzw. das mit dem Wasserstand korrespondierende Grundwasser eine entscheidende Einflussgröße dar. Es ist zu erwarten, dass sich die Wurzeln am Ufer anders ausbilden, als an einer grundwasserfernen Hangböschung. Wie das Wurzelwachstum in der Böschung variiert, insbesondere bis zu welcher Tiefe Pflanzen eine Uferböschung durchwurzeln, soll daher ebenfalls untersucht werden.



Bild 1: Freigespülte Wurzeln einer Weidenspreitlage am Rhein.

Literatur:

DWA (2016): Merkblatt DWA-M 519. Technisch-biologische Ufersicherungen an großen und schiffbaren Binnengewässern. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall.

Schwarz, Massimiliano; Giadrossich, Filippo; Cohen, Denis (2013): Modeling root reinforcement using a root-failure Weibull survival function. In: *Hydrology and Earth System Sciences* 17 (11), S. 4367–4377.

Söhngen, Bernhard; Fleischer, Petra; Liebenstein, Hubert (2018): German guidelines for designing alternative bank protection measures. In: *Journal of Applied Water Engineering and Research* 6 (4), S. 298–305.



Wissensbasierte Prognose der äußeren Tragfähigkeiten von Rückverankerungselementen

1 Aufgabenstellung und Ziel

Verpressanker und Mikropfähle sind maßgebliche Bauteile von Baugruben und Ufereinfassungen. Ihre Tragfähigkeit muss im Vorfeld einer Baumaßnahme auf der Grundlage von Erfahrungswerten abgeschätzt werden. Hierzu existieren Angaben in der Literatur (Ostermayer-Diagramme, EA-Pfähle 2012). Außerdem liegen bei der BAW eine Vielzahl von einzeln dokumentierten Untersuchungs- und Eignungsprüfungen bzw. Probelastungen vor.

Darüber hinaus gibt es Studien auf der Grundlage von numerischen Simulationen, Feld- und Modellversuchen zu einzelnen Einflussfaktoren, die jedoch keinen Eingang in die o. g. Bemessungshilfen gefunden haben. So können diverse, meist herstellbedingte Einflussfaktoren auf die Tragfähigkeit, die im individuellen Erfahrungsbereich der jeweils ausführenden Fachfirmen liegen, bei der Vorbemessung und der Ausschreibung nicht berücksichtigt werden. Gerade diese führen neben möglichen Schwankungen in den Baugrundeigenschaften bei unzureichenden Tragfähigkeiten zu rechtlichen Auseinandersetzungen.

Im Rahmen des hier vorgestellten Vorhabens sollen die bei der BAW und im Bereich der WSV vorliegenden Erfahrungen mit Verpressankern und Mikropfählen systematisch hinsichtlich der System-, Baugrund- und Herstellparameter ausgewertet werden. Lücken in der Datenlage hinsichtlich der Einflussfaktoren auf das Tragverhalten sollen mithilfe von Feldversuchen oder Berechnungen geschlossen werden.

Schließlich sollen Bemessungshilfen für die Prognose der Tragfähigkeit von Rückverankerungselementen sowie Empfehlungen zur Festlegung von Systemparametern für ein optimiertes Tragverhalten gegeben werden.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Rückverankerungen sind die maßgeblichen Bauteile für die Standsicherheit von Baugruben und Ufereinfassungen. Deren Ausführung erfolgt in der WSV vorwiegend als Verpressanker und Mikropfähle.

Die BAW gibt als geotechnischer Sachverständiger die prognostizierten äußeren Tragfähigkeiten dieser Elemente für jede charakteristische Boden-

Auftragsnummer:

B3952.05.04.70420

Auftragsleitung:

Philipp Stein
 philipp.stein@baw.de

Laufzeit:

2020 bis 2024

schicht im Baugrundgutachten an. Durch Untersuchungen in Form von Eignungsprüfungen bzw. Probelastungen werden die empfohlenen Werte kurz vor oder auch erst während der eigentlichen Baumaßnahme überprüft.

Unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit bzw. des Risikos eines Bauwerksversagens sollten die prognostizierten Tragfähigkeiten möglichst zutreffend angegeben werden. Andernfalls ist eine Umplanung (Mehrkosten, Bauzeitverlängerung) erforderlich bzw. werden überhöhte Kosten durch unwirtschaftliche Dimensionierung verwirklicht.

3 Untersuchungsmethoden

Die in der BAW, der WSV und gegebenenfalls extern vorliegenden Erfahrungswerte zur Tragfähigkeit von Verpressankern und Mikropfählen sowie die zugehörigen Baugrund- und Herstellparameter müssen in maschinenlesbarer Form zusammengetragen und plausibilisiert werden. Auf der Grundlage wissenschaftlicher Erkenntnisse zu einzelnen Einflussfaktoren sind abgeleitete Größen zu definieren bzw. die Tragfähigkeiten zu normieren, um die Anzahl der auszuwertenden Parameter zu reduzieren. Ein einfaches Beispiel ist die Verwendung der Mantelreibung anstatt der Tragkraft bei Pfählen, die allerdings aufgrund des nicht-proportionalen Zusammenhangs zwischen Tragfähigkeit und Verpresskörpergeometrie bei Verpressankern nicht ohne weiteres herangezogen werden kann. Zur Untersuchung derartiger Effekte können auch Simulationsrechnungen oder eigene Probefelder unter kontrollierten Bedingungen dienen.

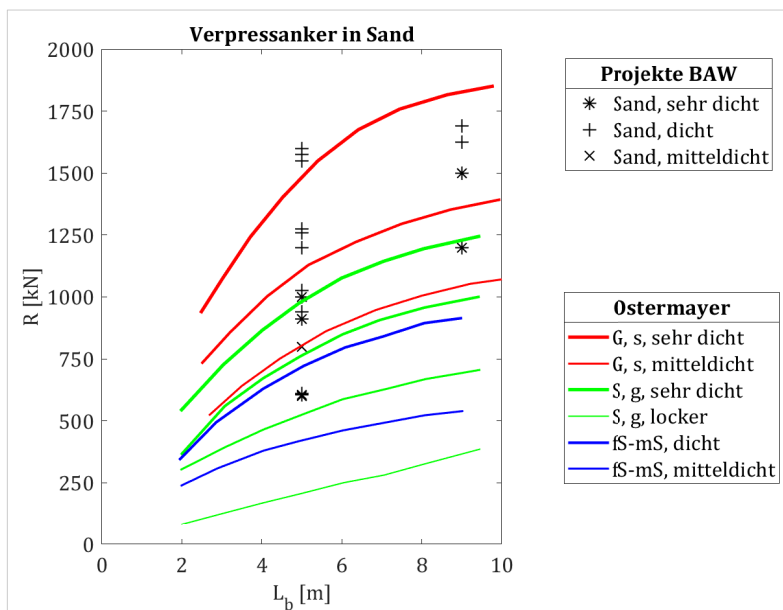
In den so aufbereiteten Daten sollen Zusammenhänge zwischen Boden- und Herstellparametern, Eigenschaften der Tragglieder sowie deren Tragfähigkeiten gefunden werden. Hierzu kommen multikriterielle Optimierungsansätze und perspektivisch künstliche Intelligenz (KI) zum Einsatz.

4 Ergebnisse

Derzeit läuft die Datenerhebung und -plausibilisierung innerhalb der BAW. Bild 1 zeigt Auszüge der bei der BAW vorliegenden Datensätze und Erfahrungswerte aus der Literatur. Die durchgezogenen Linien bilden die Ostermayer-Diagramme ab. Dort werden die Tragfähigkeiten R für Verpressanker in nicht-bindigen Böden unterschiedlicher Lagerungsdichte in Abhängigkeit von der Ankerlänge L_b angegeben. Die Symbole markieren Tragfähigkeiten von Verpressankern in Sand, die bei durch die BAW betreuten Untersuchungsprüfungen bestimmt wurden. Hier liegen Daten für Verpressanker in mitteldicht bis sehr dicht gelagerten Sanden vor.

Im Falle der unten dargestellten Ankerprüfungen wäre eine Vordimensionierung auf der Grundlage der blauen (Fein- bis Mittelsand) oder grünen (Sand, kiesig) Linien erfolgt, gegebenenfalls noch mit weiterer Abminderung. Die bei den Untersuchungsprüfungen festgestellten Tragfähigkeiten (auf der Grundlage des Kriechmaßkriteriums) lagen dagegen z. T. deutlich höher.

Die Auswertung dieser kleinen Auswahl an Daten zeigt, dass eine Vordimensionierung auf der Basis der Ostermayer-Diagramme möglicherweise sehr konservativ sein und damit zu unwirtschaftlichen Lösungen führen kann. Da die Ostermayer-Diagramme selbst auf ähnlichen Erfahrungswerten basieren, kann ihre Richtigkeit nicht grundsätzlich infrage gestellt werden. Vielmehr sind auch die Ursachen für die Abweichungen zu untersuchen, z. B. Fortschritte bei der Herstellungstechnik.



Literatur:

EA-Pfähle (2012): Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“. 2. Auflage, Berlin: Ernst & Sohn.

Jelinek, R.; Ostermayer, H. (1976): Verpreßanker in Böden. In: Bauingenieur 51 (3), S. 109–118.

Wichter, Lutz; Meiniger, Wolfgang (2018): Verpressanker, Bodennägel und Zugpfähle. In: Witt, Karl Josef (Hg.): Grundbau-Taschenbuch. Teil 2: Geotechnische Verfahren. 8. Auflage, Berlin: Ernst & Sohn.

Bild 1: Erfahrungswerte aus der Literatur und aus Projekten der BAW für die Tragfähigkeit von Verpressankern in Sand.



Wirkungen veränderter klimatischer Randbedingungen auf die Bundeswasserstraßen

Forschungsphase 2 des BMVI-Expertennetzwerks

1 Aufgabenstellung und Ziel

Die aktuell beobachtbaren und auch zukünftig zu erwartenden Veränderungen klimatischer Randbedingungen wirken sich über meteorologische Extremereignisse und schleichende Prozesse negativ auf Nutzung, Betrieb und Unterhaltung der Bundeswasserstraßen aus. Vor allem vor dem Hintergrund der langen Nutzungsdauer der Verkehrsinfrastruktur sind bereits jetzt entsprechende Anpassungsoptionen vorausschauend mitzudenken und in Planungsprozesse einzubinden. Voraussetzung für das Erkennen vordringlichen Handlungsbedarfs ist hierbei ein Systemverständnis für die Wirkungen klimatischer Veränderungen auf den Verkehrsträger Wasserstraße.

Aufbauend auf den Vorarbeiten aus KLIWAS und der ersten Forschungsphase des BMVI-Expertennetzwerkes (BMVI-Expertennetzwerk 2020) ist in der aktuellen Projektphase das Ziel, das Binnenwasserstraßennetz auf Grundlage von Klimawirkungsketten bezüglich möglicher Betroffenheit zu klassifizieren und ein Informationssystem zu schaffen, welches es ermöglicht, vordringlichen Handlungsbedarf bei der Anpassung an den Klimawandel herauszuarbeiten. Anpassungsoptionen sollen zielgerichtet entwickelt werden können. Das Projekt ist eingebunden in die Tätigkeiten des BMVI-Expertennetzwerkes im Themenfeld 1 „Verkehr und Infrastruktur an Klimawandel und extreme Wetterereignisse anpassen“.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Die Betrachtungen zu den Klimawirkungsketten werden in einem Gesamtsystem zusammengeführt und die gebündelte Information als Entscheidungshilfe für mittel- und langfristige Planungen der WSV bereitgestellt. Bereits zugängliche Daten werden eingebracht und sollen fortlaufend erweitert und aktualisiert werden. Die Arbeiten im Projekt unterstützen die WSV und das BMVI bei der Entwicklung des deutschen Wasserstraßennetzes und somit

Auftragsnummer:

B3953.02.04.70009

Auftragsleitung:



Dr. Regina Patzwahl
regina.patzwahl@baw.de

Auftragsbearbeitung:



Dr. Martin Hämmerle
martin.haemmerle@baw.de

Laufzeit:

2020 bis 2022

auch des gesamteuropäischen Verkehrsnetzes TEN-T insbesondere vor dem Hintergrund veränderter klimatischer Randbedingungen.

Darüber hinaus liefert dieser Ansatz grundlegende Hilfestellung im Workflow zum „Climate Proofing“, welches derzeit in der WSV u. a. mit Unterstützung des BMVI-Expertennetzwerks Themenfeld 1 erstellt wird und den Sachbearbeitern der WSV eine Handreichung zur Berücksichtigung des Klimawandels bei zukünftigen Bauprojekten der WSV zur Verfügung stellen soll.

3 Untersuchungsmethoden

Zentral für die Arbeiten ist somit die Fragestellung, über welche Mechanismen sich veränderte klimatische Rahmenbedingungen auf das System Bundeswasserstraße auswirken. Ausgehend von Ereignissen oder Prozessen, deren Auftreten im Zuge der aktuellen klimatischen Veränderungen als häufiger und intensiver anzunehmen ist, werden auf Grundlage von Expertenbefragungen Klimawirkungsketten zusammengestellt. Die aktuell betrachteten Ereignisse und Prozesse sind Hitze- und Trockenphasen, Starkniederschläge und Sturzfluten, Meeresspiegelanstieg, Hoch- und Niedrigwasserereignisse, Stürme, Sturmfluten, veränderte mittlere Windverhältnisse und gravitative Massenbewegungen.

Die gesammelten Informationen werden in einer Wissensdatenbank zusammengeführt. Aus diesem Fundus sollen verschiedene Fragestellungen beantwortet werden, z. B.: „Welche für die praktische Arbeit der WSV wichtigen Kennwerte sind von welcher klimatischen Veränderung über welchen Mechanismus betroffen?“, „Welche Klimawirkungen sind für einen bestimmten Wasserstraßentyp relevant?“, „Welche weiteren Prozesse können eine Klimawirkungskette überlagern?“

Das aus BAW-Expertise zusammengestellte, qualitativ-deskriptive Systemverständnis wird in einer weiteren Stufe auf das Bundeswasserstraßennetz angewendet, um eine räumliche Differenzierung zu erlangen. Über GIS-gestützte Klimawirkungsanalysen werden damit von entsprechenden Wirkungsketten betroffene Elemente der Bundeswasserstraßen identifiziert und die Untersuchung zielgerichteter Anpassungsoptionen vorbereitet.

4 Ergebnisse

Zur Strukturierung und Vorhaltung der in Befragungen zusammengetragenen BAW-Expertise wurden Klimawirkungsketten-Steckbriefe konzipiert. Aktuell liegen 53 Steckbriefe, vor allem im flussbaulichen Kontext, vor. Erste vorläufige Aussagen können damit z. B. zu der Frage getroffen werden, welche der meteorologischen Ereignisse oder Prozesse in den bislang gesammelten Klimawirkungsketten mit welcher Häufigkeit genannt werden.

Um zielgerichtete Abfragen zu ermöglichen, inhaltliche Querverbindungen herzustellen, sowie zur Vorbereitung der Anwendung von GIS-Methoden wurde darüber hinaus ein Datenbankschema entwickelt sowie die entsprechend implementierte Datenbank mit den bereits zusammengestellten, bislang rein qualitativ-deskriptiven Informationen befüllt. Diese Wissenssammlung mit dem Charakter eines lebenden Dokumentes wird kontinuierlich mit Ergebnissen aus Recherchearbeiten sowie Befragungen erweitert, fortgeschrieben und validiert.

Als ein wichtiger nächster Schritt wird die Entwicklung von Indikatoren gesehen, mit welchen die Wirkungsketten zur Prospektion potenziell betroffener Elemente im Bundeswasserstraßennetz erfolgen kann, um eine Grundlage für detaillierte Untersuchungen der identifizierten Elemente sowie entsprechender Anpassungsoptionen zu schaffen. Die Bereitstellung zielgerichteter Abfragemöglichkeiten in der Wirkungskettensammlung ist eine weitere Aufgabe, die im Sinne der Unterstützung bei Planungs- und Entscheidungsprozessen zu leisten ist.

Literatur:

BMVI-Expertennetzwerk (2020): Verkehr und Infrastruktur an Klimawandel und extreme Wetterereignisse anpassen. Ergebnisbericht des Themenfeldes 1 im BMVI-Expertennetzwerk für die Forschungsphase 2016 – 2019, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Berlin.



Hydraulische und morphodynamische Untersuchungen in Krümmungstrecken mit Geschiebetransport

1 Aufgabenstellung und Ziel

In Krümmungstrecken der freifließenden Bundeswasserstraßen werden die hydrodynamischen Verhältnisse und der Geschiebetransport sekundärströmungsbedingt durch dreidimensionale Effekte und eine große lokale Sohldynamik geprägt. Durch die Überströmung des Vorlandes und instationäre Phänomene wird die Komplexität dieser Prozesse in Flusskrümmungen zusätzlich erhöht. Aufgrund noch vieler offener Forschungsfragen in Bezug auf das Prozessverständnis und die Wirkung flussbaulicher Maßnahmen in Flusskrümmungen hat das FuE-Vorhaben zum Ziel, unterschiedliche hydro- und morphodynamische Fragestellungen und Phänomene an Flusskrümmungen zu untersuchen. Im Fokus der Untersuchungen stehen insbesondere die Wirkung von Regelungsbauwerken verschiedener Gestalt und der Einfluss der Vorlandcharakteristik auf die Prozesse in Flusskrümmungen. Im Ergebnis sollen Wirkungszusammenhänge für Parametervariationen so beschrieben werden, dass sich möglichst allgemeingültige Empfehlungen und Handlungsoptionen für strukturverbessernde Maßnahmen in durch Krümmungen geprägten Flussstreckenabschnitten an den Bundeswasserstraßen ableiten lassen.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Im Hinblick auf die morphologische Entwicklung an Bundeswasserstraßen und für die unterschiedlichen Strategien der Flussregelung und des Geschiebemanagements erarbeitet die BAW Handlungsoptionen für die WSV. Beratung und Empfehlungen in diesen Bereichen erfordern vertiefte Kenntnisse über die Beeinflussung von Geschiebetransportprozessen durch Bauwerke und Managementstrategien. Mit dem Ziel, möglichst allgemeingültige Empfehlungen bzw. Grundlagen für numerische Untersuchungen von flussbaulichen Maßnahmen in Krümmungstrecken mit Geschiebetransport abzuleiten, besteht für die BAW ein hoher Bedarf, die komplexen Prozesse in Flusskrümmungen besser zu verstehen. Damit kann sie ihre Beratungsleistung bereits in frühen Phasen einer Projektentwicklung (z. B. Begutachtung von Projektskizzen und Projektförderanträgen im Rahmen des Bundesprogramms Blaues Band Deutschland (BBD), bei der Erarbeitung von Stromregelungskonzepten innerhalb des Gesamtkonzepts Elbe (GKE) oder bei der

Auftragsnummer:

B3953.02.04.70010

Auftragsleitung:



Dr. Irina Klassen

irina.klassen@baw.de

Laufzeit:

2020 bis 2023

Aufstellung von Entwicklungskonzepten an Wasserstraßen) noch belastbarer erbringen. Die Modelluntersuchungen schaffen eine Schnittstelle zwischen anwendungsorientierter Forschung und WSV-Beratung und tragen wesentlich zur Verbesserung der flussbaulichen Beratungsleistung in durch Krümmungen geprägten und morphologisch aktiven Flussabschnitten bei.

3 Untersuchungsmethoden

Zur Untersuchung der Fragestellungen wird im Rahmen des FuE-Vorhabens ein großflächiges gegenständliches Flussmodell als Geschiebetransportmodell (GTM) mit vollbeweglicher Sohle aufgebaut. Im Gegensatz zu stark grundlagenorientierten Prinzipmodellen oder zu Studien, die sich auf konkrete Flusskrümmungsabschnitte beziehen, soll das Krümmungsmodell eine geeignete Abstraktion darstellen, mit der zu möglichst vielen unterschiedlichen Flusskrümmungsabschnitten entlang der deutschen Bundeswasserstraßen ein aussagekräftiger Bezug hergestellt werden kann. Durch Variation der Streckencharakteristik (z. B. durch Änderung des Modellmaßstabs, Wahl des Modellsediments, Bauwerksmodifikationen) soll die Wirkung unterschiedlicher flussbaulicher Maßnahmen/Regelungsbauwerke auf die hydrodynamischen und morphodynamischen Prozesse in ausgewählten Flusskrümmungsstrecken der Bundeswasserstraßen beurteilt werden. Zudem wird anhand von Vorlandmodifikationen (durch unterschiedliche Vorlandhöhen und Vorlandbreiten, Anschluss einer Nebenrinne) der Einfluss der Vorlandcharakteristik auf die Prozesse in Flusskrümmungen untersucht.

Das geplante gegenständliche GTM ermöglicht die Untersuchung zahlreicher essentieller und komplexer hydro- und morphodynamischer Fragestellungen in Flusskrümmungen. Hinsichtlich der Untersuchungen und der Validierung der gewonnenen Erkenntnisse soll zusätzlich zum geplanten GTM ein breites Spektrum an weiteren Methoden eingesetzt werden:

- Theoretische Betrachtungen zu Wirkungsmechanismen, Modellkonzeption/-dimensionierung
- Analyse vorliegender Naturdaten
- Laborversuche in Laborrinnen der BAW
- Ergänzende numerische Modellierung
- Ergänzende Naturuntersuchungen/Messkampagnen zur Erfassung von hydro- und morphodynamischen Parametern in Krümmungen

Die erhobenen Daten aus dem gegenständlichen GTM dienen außerdem zur Validierung numerischer Modellergebnisse (hybride Modellierung) und tragen zur Qualitätssteigerung und Weiterentwicklung der in der BAW betriebenen gegenständlichen und numerischen hydro- und morphodynamischen Modelle bei.

4 Ergebnisse

Innerhalb der Planungsphase des GTM wurden zunächst charakteristische Flusskrümmungsstrecken an den Bundeswasserstraßen Rhein, Elbe, Donau und Oder identifiziert und die entsprechenden hydro- und morphodynamischen Daten zusammengestellt. Aufbauend darauf erfolgte die Modellkonzeption anhand einer hydrodynamischen und morphodynamischen Dimensionierung/Aufstellung von Ähnlichkeitsbeziehungen und die konkrete Modellplanung (Festlegung der verwendeten Modelltechnik, Planzusammenstellung, Vergabe des Rohbaus). Aktuell erfolgt der Rohbau des Modells, d. h. die Modellierung der Vorländer mit Hilfe von Blechprofilen (s. Bild 1, rechts). Die Fertigstellung des Rohbaus ist im März 2021 vorgesehen, die Vervollständigung des GTM, anschließende Inbetriebnahme sowie Kalibrierung sind ab Sommer/Herbst 2021 geplant. Zudem werden aktuell in einer Versuchsrinne der BAW anhand von zwei unterschiedlichen Modellsedimenten Voruntersuchungen zur morphologischen Sohlentwicklung bei unterschiedlichen hydraulischen Zuständen durchgeführt.

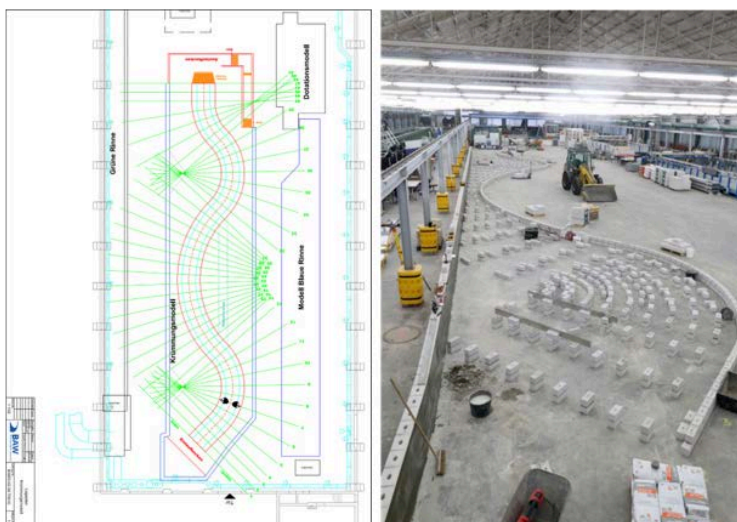


Bild 1: Lageplan des Krümmungsmodells (links), aktueller Stand des Modellbaus in Halle V am Standort Karlsruhe (rechts).

Literatur:

BAW (2001): Gutachten Oder-Hohenwutzen – Untersuchung von Unterhaltungs- und Regelungsmaßnahmen (BAW-Gutachten, B3953.02.30.10038).

BAW (2003): Gutachten über Regelungsmaßnahmen in der Elbe-Reststrecke (El-km 508–521) auf der Grundlage von Modelluntersuchungen, Teil 4: Morphologische Untersuchungen im physikalischen Modell, Karlsruhe (BAW-Gutachten, 3.02.10006.00).

Riesterer, J.; Wenka, T.; Oberle, P.; Brudy-Zippelius, T. (2014): Numerische Modellierung des Geschiebetransports in gekrümmten Gerinnen, 37. Dresdner Wasserbaukolloquium 2014, Technische Universität Dresden.



Resiliente Abfluss- und Stauregelung der Wasserstraßen bei extremen Niederschlagsereignissen

Entscheidungsunterstützung durch Echtzeitsimulationen

1 Aufgabenstellung und Ziel

Etwa 3.000 km der Bundeswasserstraßen sind mit Staustufen ausgebaut, die im Allgemeinen aus beweglichem Wehr, Schleuse und Laufwasserkraftwerk bestehen. Durch das Ändern des Abflusses über Kraftwerk und Wehr hält ein lokaler Regler den gewünschten Wasserstand oberhalb der jeweiligen Staustufe möglichst konstant. Die Abfluss- und Stauregelung soll mehrere, miteinander gegensätzliche Ziele erfüllen: Einhaltung des Stauziels innerhalb der festgelegten Toleranz, Verminderung von Abflussschwankungen, optimale Nutzung der Wasserkraft und Reduzierung des Verschleißes der Wehrverschlüsse.

Im Zuge des Klimawandels ist mit einer Zunahme extremer Wetterereignisse zu rechnen. Insbesondere während Niedrigwasserperioden sind Starkregenereignisse in urbanen Einzugsgebieten problematisch für die Abfluss- und Stauregelung. Infolge einer Überlastung der städtischen Kanalisation bringen Regen- oder Mischwassereinleitungen für wenige Stunden ein Vielfaches des natürlichen Abflusses in die Wasserstraße ein. Das kann zu großen Überschreitungen der Stautoleranz sowie zu verstärkten Schwankungen des Abflusses über Kraftwerk und Wehr führen, was eine Gefahr für die Schifffahrt darstellt (Kasper et al. 2017).

Im Rahmen des abgeschlossenen FuE-Vorhabens „Strategien zur Abfluss- und Stauregelung der Wasserstraßen bei extremen Wetterereignissen“ wurde ein Prognose- und Regelungssystem für die Neckarstauhaltung Hofen entwickelt, das anhand kurzfristiger Niederschlagsvorhersagen einen optimalen Wasserstands- und Abflussverlauf berechnet und die Folgen einer bevorstehenden Regen- oder Mischwassereinleitung kompensiert (Kasper und Simons 2019).

Ziel des hier vorgestellten Vorhabens ist es unter anderem, das entwickelte Prognose- und Regelungssystem als Entscheidungsunterstützung für die Fernsteuerzentrale in Rockenau zu implementieren. Darüber hinaus sollen anhand einer Vulnerabilitätsanalyse weitere Staustufen identifiziert werden, die potenziell von starkregeninduzierten Einleitungen betroffen sind.

Auftragsnummer:

B3953.03.04.70008

Auftragsleitung:

Franz Simons
 franz.simons@baw.de

Auftragsbearbeitung:

Julia Kasper
 julia.kasper@baw.de

Laufzeit:

2020 bis 2026

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Durch die Anwendung moderner Regelungsmethoden und die Einbindung von kurzfristigen Niederschlags- und Abflussvorhersagen steht der WSV ein zukunftsfähiges Regelungssystem zur Verfügung, das auch bei zunehmenden Auswirkungen des Klimawandels eine robuste Abfluss- und Stauregelung sicherstellt. Die neue Regelungsstrategie kompensiert die Wirkung stoßartiger Belastungen in Stauhaltungen, indem sie vorausschauend reagiert, die Gefährdung durch starke Wasserstands- und Abflussschwankungen minimiert und eine schnelle „Erholung“ des Systems ermöglicht. Auf diese Weise wird die Resilienz der Wasserstraßen erhöht und die Sicherheit und Leichtigkeit der Schifffahrt gewährleistet.

3 Untersuchungsmethoden

Das FuE-Vorhaben „Resiliente Abfluss- und Stauregelung der Wasserstraßen bei extremen Niederschlagsereignissen“ ist Teil des BMVI-Expertennetzwerks, das 2016 durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) initiiert und 2020 um eine zweite Phase verlängert wurde. In diesem Netzwerk forschen die Ressortforschungseinrichtungen und Fachbehörden des BMVI gemeinsam zu drängenden Problemen der Verkehrsinfrastrukturen.

Die Untersuchungsmethoden werden durch die Zusammenarbeit im Schwerpunktthema „Zuverlässigkeit, Risiko und Resilienz“ insbesondere mit dem Deutschen Wetterdienst (DWD) und der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) abgestimmt. Der DWD liefert dabei sowohl Nowcasting-Vorhersagen aus Extrapolationen von Radarniederschlagsdaten als auch probabilistische Ensemble-Vorhersagen. Staustufen, deren Abfluss- und Stauregelung potenziell von Regen- oder Mischwassereinleitungen nach Starkregen beeinträchtigt wird, werden mithilfe des Konzepts der Vulnerabilitätsanalyse identifiziert, das an der BASt bereits verwendet wird.

4 Ergebnisse

Für die Echtzeitsimulation der starkregeninduzierten Mischwassereinleitung in die Neckarstauhaltung Hofen wird zunächst eine operationelle Datenbereitstellung durch den DWD eingerichtet. Die Simulation der darauffolgenden Wasserstandsänderung sowie der kompensierenden Abflussanpassung in Echtzeit erfordert einen Zugang zu den jeweils aktuellen Abflussmesswerten der oberstrom liegenden Staustufe Cannstatt. Das im FuE-Vorhaben „Strategien zur Abfluss- und Stauregelung der Wasserstraßen bei extremen Wetterereignissen“ entwickelte Prognose- und Regelungssystem wird derzeit an die Bedingungen des Echtzeitbetriebs angepasst.

Um weitere potenziell betroffene Stauhaltungen zu identifizieren, wurde eine Liste von Stauhaltungen erstellt, die aufgrund ihrer Nähe zu einem größeren urbanen Einzugsgebiet für eine nähere Untersuchung in Frage kommen. Aufgrund der überschaubaren Anzahl wurde dazu die Kartenanwendung GeoViewer.WSV verwendet (siehe Bild 1). Im nächsten Schritt werden für diese Stauhaltungen alle vorliegenden Einleitenehmigungen durch die WSV abgefragt. Die Vulnerabilität der Abfluss- und Stauregelung wird anschließend unter anderem anhand des zugehörigen urbanen Einzugsgebiets und der hydrologischen Eigenschaften der Stauhaltung untersucht. Das zu entwickelnde praktische Verfahren der Vulnerabilitätsanalyse wird beispielhaft für eine Auswahl von Staustufen durchgeführt. Die Priorisierung kann dabei über die Exposition, mit der Eintrittswahrscheinlichkeit für Starkniederschläge im Einzugsgebiet als Indikator, oder über die Kritikalität, mit der Güterverkehrsdichte der Wasserstraße als Indikator, erfolgen.

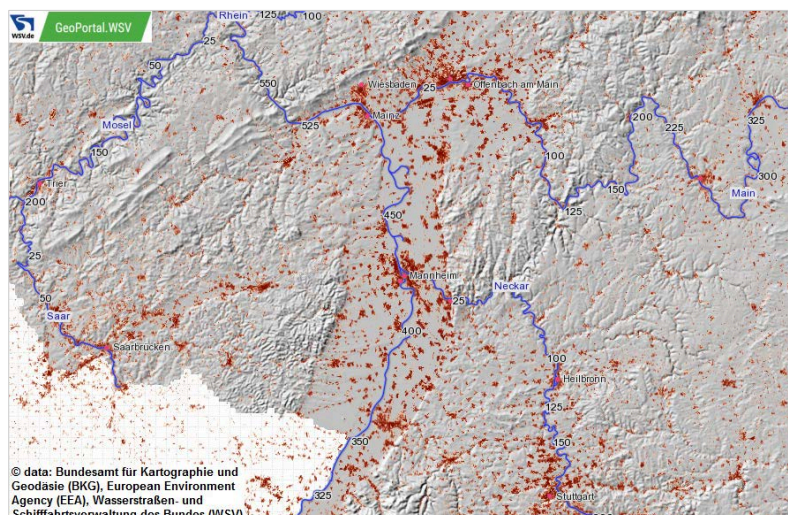


Bild 1: Kartenausschnitt aus der Kartenanwendung GeoViewer.WSV mit digitalem Geländemodell (grau), Versiegelungsgrad (rot) und dem Netz der Bundeswasserstraßen (blau) im Südwesten Deutschlands.

Literatur:

Kasper, J.; Simons, F.; Belzner, F.; Schmitt-Heiderich, P. (2017): Einfluss von Starkregenereignissen auf die Abfluss- und Stauregelung am Beispiel der Neckarstauhaltung Hofen. In: Bundesanstalt für Gewässerkunde (Hg.): Veranstaltungen 5/2017. Koblenz: BfG, S. 139–146.

Kasper, J.; Simons, F. (2019): Strategien zur Abfluss- und Stauregelung der Wasserstraßen bei extremen Wetterereignissen. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Forschungskompodium Verkehrswasserbau 2019. Karlsruhe: BAW, S. 11–12.



Verkehrswirtschaftliche Analysen in der Binnenschifffahrt

Im Rahmen des BMVI-Expertennetzwerks „Wissen – Können – Handeln“

1 Aufgabenstellung und Ziel

Der steigende Bedarf an verkehrsträgerübergreifenden Analysen zu den Folgen verkehrlicher Einschränkungen ist eine Erkenntnis der ersten Phase des Expertennetzwerks des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). Verkehrliche Einschränkungen können dabei vielfältige Ursachen haben, die von Havarien bis zu den Auswirkungen des Klimawandels reichen (Cox et al. 2020). Zur Bündelung dieser Fragestellungen wurde in der zweiten Phase des Expertennetzwerks von 2020 bis 2022 das Themenfeld 6 „Verkehrswirtschaftliche Analysen“ (TF6) konzipiert, in dem das vorliegende Forschungsvorhaben „Verkehrswirtschaftliche Analysen in der Binnenschifffahrt“ eingegliedert ist.

Im TF6 werden die Verkehrsdaten unterschiedlicher Verkehrsträger gebündelt, um zeitnah Veränderungen der Verkehrsströme und verkehrsträgerübergreifende Verflechtungen zu analysieren. Dem entsprechend werden verschiedene Datenquellen zusammengeführt, wie Lkw-Mautdaten und AIS-Daten (Automatic Identification System) von Küstengewässern und Binnenwasserstraßen. Neben den verkehrswirtschaftlichen Fragestellungen werden im TF6 auch zu weiteren Fragestellungen aus den anderen Themenfeldern innerhalb des Expertennetzwerks Beiträge geliefert.

Für den Verkehrsträger Binnenschifffahrt sollen die AIS-Daten der Binnenwasserstraßen und weitere Verkehrsdaten aufbereitet werden, um ein möglichst umfassendes Bild der Verkehrsbewegungen und Warenströme auf den Wasserstraßen zu erhalten. Für verkehrswirtschaftliche Analysen ist die Abschätzung der Transportkosten in der Schifffahrt eine wesentliche Größe, die entscheidend vom Treibstoffverbrauch bestimmt wird und mithilfe unterschiedlicher Methoden modelliert werden kann.

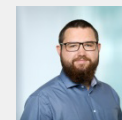
2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Die entwickelten Analysen und Methoden können zur Einschätzung der Wirtschaftlichkeit eines Wasserstraßenabschnitts genutzt werden. Unter anderem können damit die Auswirkungen von Streckensperrungen auf die Verkehrsmengen und die Transportkosten der Binnenschifffahrt analysiert werden.

Auftragsnummer:

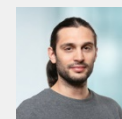
B3953.04.04.70018

Auftragsleitung:



Hauke Stachel
 hauke.stachel@baw.de

Auftragsbearbeitung:



Julian Bühler
 julian.buehler@baw.de

Laufzeit:

2020 bis 2022

Die AIS-Daten und die entwickelten Analysewerkzeuge einschließlich eines Mikrosimulationsmodells können zudem für Fragestellungen im Zusammenhang mit Verkehrsverflechtungsprognosen und Nutzen-Kosten-Analysen eingesetzt werden. Schließlich wird mithilfe der Ergebnisse aus der Verkehrsdaten-Analyse eine Ergänzung der amtlichen Verkehrsstatistiken angestrebt.

3 Untersuchungsmethoden

Eine Datenbasis aus verkehrsträgerübergreifenden Datensätzen bildet das Fundament der Untersuchungen. Auf dieser Basis können Schnittstellen und Werkzeuge entwickelt werden, mit deren Hilfe volkswirtschaftliche Untersuchungen für eine Verkehrsinfrastruktur durchgeführt werden können. Als erster Schritt für die Wasserstraße lässt sich mithilfe eines Skripts anhand anonymisierter AIS-Daten die Anzahl an passierenden Schiffen durch einen frei gewählten Querschnitt einer Wasserstraße ermitteln. Für einen beliebigen Zeitraum können damit u. a. die prozentualen Anteile der passierenden Schiffstypen berechnet werden. Damit ein Schiff einem Schiffstyp zugeordnet werden kann, müssen die Längen- und Breitenangaben aus den AIS-Daten kategorisiert werden. Weitere querschnitts- und streckenbezogene Verkehrszahlen sollen auf der Grundlage von AIS-Datenanalysen entwickelt werden. Ziel ist die Abschätzung bisher unbekannter Größen wie Transportmengen oder Transportkosten, um beispielsweise eine Berechnung der Stückgutkosten vornehmen zu können.

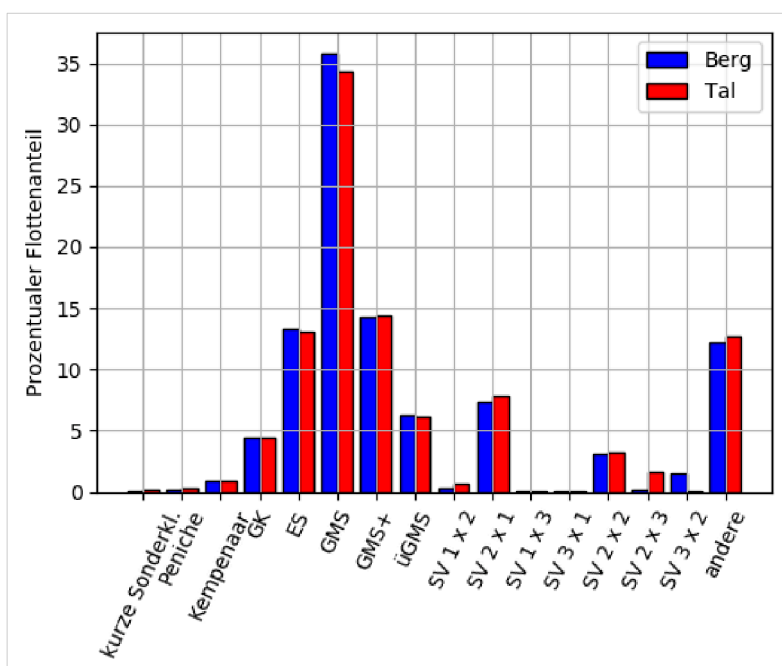
Neben Auswertungen von in der Vergangenheit produzierten Verkehrsdaten bieten Verkehrssimulationsmodelle die Möglichkeit, hypothetische Ereignisse oder Verkehrseinschränkungen sowie deren Auswirkungen auf Verkehrsströme zu simulieren. Entsprechende Modelle für verschiedene Anwendungsfälle liegen bereits vor bzw. werden derzeit entwickelt.

4 Ergebnisse

Als Ergebnisbeispiel ist in Bild 1 eine querschnittsbezogene Auswertung von AIS-Daten dargestellt. Für einen frei gewählten Zählquerschnitt am Niederrhein bei Voerde (Rhein-km 799,0) werden mithilfe eines AIS-Testdatensatzes alle Durchfahrten eines Monats gezählt und anhand der Längen- und Breitenangaben nach Schiffstyp klassifiziert. Die prozentuale Verteilung der Durchfahrten nach Schiffstyp ist in Bild 1 dargestellt. Die dominierenden Schiffstypen sind die GMS- bzw. GMS+-Klassen (Großmotorgüterschiffe mit einer Länge bis zu 135 m), gefolgt vom Europaschiffen (ES, bis zu einer Länge von 90 m) und den Schubverbänden (SV). Die Flottenverteilung des Talverkehrs unterscheidet sich nicht wesentlich vom Bergverkehr.

Im Beispiel werden nahezu gleichviele Tal- wie Bergfahrten beobachtet. Insgesamt sorgten 1721 verschiedene Schiffe für die Gesamtzahl von 7239 Durchfahrten; damit passiert jedes Schiff den Zählquerschnitt im Schnitt viermal innerhalb des einmonatigen Beobachtungszeitraums.

Da zu erwarten ist, dass AIS-Daten in Zukunft zeitnah verfügbar sein werden, können statistische Auswertungen kurzfristig und automatisiert durchgeführt werden. Solche Auswertungen stellen eine wertvolle Ergänzung zu den amtlichen Verkehrsstatistiken dar.



Literatur:
 Cox, M.; Hänsel, S.; Heibeck, N.; Hindersmann, I.; Nilson, E.; Stachel, H.; Streek, P.; Voß, N.; Walter, A.; Zabrocki, M. (2020): BMVI-Expertennetzwerk „Wissen – Können – Handeln“, Themenfeld 6 Verkehrswirtschaftliche Analysen – Pilotprojekt: Einflüsse von Einschränkungen der Verkehrswege auf den Güterverkehr. Köln (unveröffentlicht).

Bild 1: Beispielhafte prozentuale Auswertung an einem Zählquerschnitt am Niederrhein (GK = Gustav Koenigs, ES = Europaschiff, GMS = Großmotorgüterschiff, SV = Schubverband).



RiverCloud

UAV/USV-Tandemsystem für Management und Unterhaltung von Wasserstraßen

1 Aufgabenstellung und Ziel

Mit Fortschreiten der Digitalisierung liegen hochaufgelöste Geometrie- und Sachdaten unterschiedlichster Art in immer besserer Qualität vor. Die Entwicklungen in der Fernerkundung, wie beispielsweise bei Drohnen oder Laserscannern, sind ein Grund für den starken Fortschritt in diesem Bereich. An Wasserstraßen stoßen allerdings moderne Fernerkundungsverfahren an ihre Grenzen. Hier sind ein trüber Wasserkörper und Bewuchs am Gewässerrand natürliche Hindernisse für geometrische Aufnahmen der Gewässer- und Vorlandtopographie aus der Luft (Weiß 2015).

Im Vorgängerprojekt RiverView des Forschungsinstituts für Wasser- und Abfallwirtschaft der RWTH Aachen wurde ein unbemannter Messkatamaran für das Monitoring in strömungsarmen Gewässern entwickelt (Schwermann et al. 2018). Dieses Messboot erwies sich allerdings als nicht geeignet für den Einsatz an der Wasserstraße, da sich Positionsgenauigkeit und Stabilität des Boots mit zunehmender Fließgeschwindigkeit verschlechterten.

Ziel von RiverCloud ist die Entwicklung eines kombinierten Systems aus Unmanned-Aerial-Vehicle (UAV) und Unmanned-Surface-Vehicle (USV). Es sollen Geometrie- und Sachdaten erfasst werden, die bisher nicht in ausreichender Genauigkeit aufgenommen werden konnten. Die modulare Bestückung beider Trägerplattformen gestattet eine bedarfsgerechte Ermittlung von gewässerspezifischen Daten, wie beispielsweise der (Unterwasser-) Topographie, Vegetationsparametern, Fließgeschwindigkeitsprofilen oder Wasserqualitätsparametern. Durch das Tandem ergibt sich eine hochgenaue Ableitung der USV-Position unter Nutzung der Positionsdaten des UAV.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Eine hochgenaue Datengrundlage zum Ist-Zustand der Bundeswasserstraßen und der dazugehörigen baulichen Anlagen sind von wesentlicher Bedeutung, um bedarfsgerecht Maßnahmen zum Ausbau und zur Unterhaltung planen und durchführen zu können. Geometrische Daten der Flachwasserbereiche, des Gewässerrandstreifens, der Buhnengruppen oder von Wasserbauwerken lassen sich für eine ganzheitliche Betrachtung der Bundeswasserstraße meist

Auftragsnummer:

B3953.05.04.70007

Auftragsleitung:

Thomas Gattung
 thomas.gattung@baw.de

Laufzeit:

2020 bis 2023

nicht ausreichend genau oder zeitlich konsistent erfassen. RiverCloud, als kombiniertes System aus UAV und USV, soll die Datenquantität und -qualität dieser Bereiche steigern, um ein intelligentes Monitoring und Management der Wasserstraßen unter Berücksichtigung ökonomischer und ökologischer Aspekte verbessern zu können.

Die erhobenen Daten sollen, durch ein verdichtetes digitales Höhenmodell, auch für eine Qualitätssteigerung bei den hydrodynamisch-numerischen Modellen der BAW genutzt werden. Die Erstellung hochgenauer As-Built-Modelle für die BIM-basierte Bauwerksunterhaltung und -instandsetzung ist ein weiterer Anwendungsfall. Zusätzlich sollen die Daten in der mCloud als Open Data bereitgestellt werden, um so weitere wissenschaftliche und wirtschaftliche Verwertungen zu ermöglichen.

3 Untersuchungsmethoden

Das Tandemsystem soll für unterschiedliche Einsatzszenarien konzipiert werden (s. o.). Für die Bauwerksvermessung werden Kameradaten des UAV und des USV für die Erstellung der 3D-Modelle oberhalb des Wasserspiegels genutzt. Hier kommt das Verfahren Structure-from-Motion zum Einsatz. Unterhalb des Wasserspiegels soll das Fächerecholot 3D-Daten aufnehmen. Durch Datenfusion soll so ein komplettes 3D-Modell des Bauwerks erstellt werden. In Flachwasserzonen, Buhnggruppen und Altarmen soll mit Hilfe dieser Sensoren ein digitales Höhenmodell des Gewässers und des Gewässerrandstreifens abgeleitet werden. Hierbei unterstützt ein bathymetrisches LIDAR die geometrische Aufnahme. Strömungsgeschwindigkeiten werden über ein ADCP (USV) und eine Videoauswertung (UAV) erfasst. Über eine Multiparametersonde soll die Wasserqualität bestimmt werden. Die Panoramakamera auf dem USV sammelt Daten zur Vegetation und hilft bei der Standortbestimmung hinsichtlich Lage und Orientierung des schwimmenden Sensorträgers.

4 Ergebnisse

Die zu Beginn des Projektes erfolgte Marktanalyse zur Auswahl geeigneter Trägerplattformen und Sensoren war ein wichtiger Grundstein für den erfolgreichen Einsatz an der Wasserstraße. Dabei stellt der Einsatz in der Bundeswasserstraße, mit ihren hohen Fließgeschwindigkeiten und dem Wellenschlag des Schiffsverkehrs, besondere Anforderungen an das eingesetzte USV. Aus diesem Grund wurde das HydroSurv REAV 16 als Trägerplattform bestimmt. Der Katamaran mit einer Höchstgeschwindigkeit von $4,5 \text{ m s}^{-1}$ ist für diesen Einsatzzweck entwickelt und ermöglicht so die qualitativ hochwertige Datenaufnahme. Die Betriebszeit des USV beträgt etwa 2 h (HydroSurv). Das für das Projekt vorgesehene UAV Avartek Boxer Hybrid kommt auf eine ähnliche lange Flugzeit. Dies ermöglicht einen Tandembetrieb, ohne dass eine der beiden Plattformen unverhältnismäßig oft den Betrieb aufgrund eines notwendigen Akkuwechsels unterbrechen muss.

Mittels hochgenauer Mittelformatkameras (PhaseOne iXM-100) können photogrammetrische 3D-Modelle erstellt und Oberflächenfließgeschwindigkeiten bestimmt werden. Der bathymetrische LIDAR-Scanner RIEGL BDF-1 kann als weiterer Sensor auf dem UAV montiert werden, um Wassertiefen und Höhendaten unter dem Wasserspiegel abzuleiten. Auf dem USV sollen das Fächerecholot R2Sonic 2020 sowie das ADCP Teledyne StreamPro und eine Multiparametersonde modular installiert werden können. Je nach Einsatzzweck stehen damit verschiedenste Sensoren zur Verfügung.



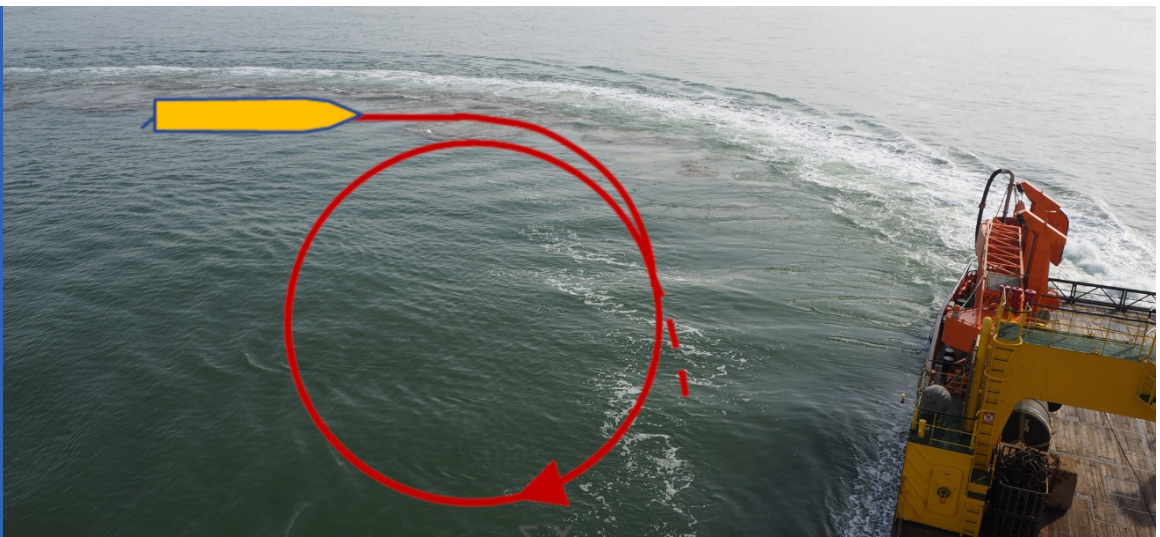
Literatur:

Schwermann, Raimund; Effkemann, Christoph; Hein, Nicole; Kutschera, Gesa; Blankenbach, Jörg (2018): RiverView® – Monitoring von Gewässerparametern an kleinen und mittleren Fließgewässern mit USV. In: Hydrographie 2018 – Trend zu unbemannten Messsystemen, Schriftenreihe des DVW, Band 91/2018. S. 187–202.

Weiß, Robert (2015): Erprobung der Laserbathymetrie an Bundeswasserstraßen im Binnenbereich. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Messen und Überwachen im Wasserbau und am Gewässer. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen (53). S. 435–444.

HyroSurv (Hg.): REAV-16 Specsheat. Online Verfügbar unter https://www.hydro-surv.com/?page_id=1653, zuletzt geprüft 02.11.2020.

Bild 1: Schematische Darstellung der Funktionsweise des Tandemsystems.



Direkte Identifikation der Manövriereigenschaften eines Schiffes aus Fahrtaufzeichnungen im Betrieb

1 Aufgabenstellung und Ziel

Wird die Schiffsführungssimulation für Zwecke der Bemessung und Befahrbarkeitsanalyse oder zur Festlegung wasserpolizeilicher Restriktionen und Vorgaben eingesetzt, hat die Auswahl des Bemessungsschiffs und die Festlegung dessen Fahreigenschaften einen großen Einfluss auf das Ergebnis. Die Einigung auf ein geeignetes Bemessungsschiff folgt in den meisten Fällen direkt den Erfordernissen und der Zielstellung der Maßnahme und ist gewöhnlich leicht einvernehmlich herzustellen. Im Gegensatz dazu wird die Festlegung der Fahrdynamik dem Betreiber des jeweils mit der Durchführung beauftragten Schiffsführungssimulators und dem einzelnen Nautiker, der die Abnahme für den Auftraggeber durchführt, überlassen. Unter Beachtung der hohen Bedeutung im Hinblick auf das spätere Ergebnis der Simulation ist es erstrebenswert, zukünftig ein Mittel zur Verfügung zu haben, welches eine belastbare und nachvollziehbare Festlegung der Fahrdynamik ermöglicht. Eine Möglichkeit wäre, aus der Erfassung einzelner Fahrten geeigneter Schiffe einen Satz fahrdynamischer Koeffizienten zu gewinnen. Es könnte ein Datenerfassungsgerät der Besatzung oder dem Lotsen mitgegeben werden, um damit die benötigten Daten für die fahrdynamische Modellierung des Bemessungsschiffs zu gewinnen. In diesem Projekt wird exemplarisch die Ermittlung fahrdynamischer Koeffizienten für den Schiffsführungssimulator ANS6000 auf Basis aufgezeichneter Schiffsfahrten durchgeführt und validiert. Im Hinblick auf den operativen Einsatz der Methode werden die Mindestanforderungen an die Daten aus den Schiffsfahrten ermittelt. Dies bezieht sich auf die zu erfassenden Größen und die Menge der Fahrten für eine ausreichende statistische Absicherung.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

An vielen wasserbaulichen Entscheidungen in der WSV sind Ergebnisse aus Schiffsführungssimulationen beteiligt. Nachvollziehbarkeit und Objektivität der eingesetzten Werkzeuge erhöhen die Investitionssicherheit und das Vertrauen in die planerischen Entscheidungen. Die Überprüfung wasserpolizeilicher Anordnungen wird durch die höhere Aussagesicherheit belastbar.

Auftragsnummer:

B3955.01.04.70235

Auftragsleitung:



Dr. Carl-Uwe Böttner
 carl-uwe.boettner@baw.de

Auftragsbearbeitung:

Marcus Döscher
 marcus.doescher@baw.de

Laufzeit:

2020 bis 2023

3 Untersuchungsmethoden

Die angestrebten Projektziele lassen sich im physikalischen Modell untersuchen und erreichen, da die Übertragung auf die Natur in diesem Fall mit keinem Übertragungsfehler behaftet und keine Modellgesetzmäßigkeit zu berücksichtigen ist. Es sollen für verschiedene charakteristische Schiffstypen, darunter mindestens ein gängiges Containerschiff und ein Tanker oder Stückgutfrachter, freifahrende Manöver im Tief- und im Flachwasser durchgeführt werden. Hierfür wird ein vollständiger Satz an Messdaten erfasst und ausgewertet. Für die zu entwickelnde Methode der indirekten Systemidentifikation aus den Fahrten werden die Daten im nächsten Schritt entsprechend der Möglichkeiten an Bord realer Fahrzeuge reduziert und die Kalibrierung eines fahrdynamischen Modells vorgenommen. Die Validierung und Bewertung erfolgt anhand der erreichten Übereinstimmung der Fahrdynamik im Schiffsführungssimulator mit den Aufzeichnungsdaten. Eine Variation der dem Verfahren zur Verfügung stehenden Datenmenge (Anzahl der Messgrößen, Fahrten und Manöver) ermöglicht die Ermittlung der Mindestanforderungen an die im operativen Einsatz an Bord zu erfassenden Daten.

4 Ergebnisse

Die Bearbeitung des Auftrages begann im Sommer 2020. Im ersten Schritt konnten freifahrende Manöver eines hierfür ausgestatteten schiffbaulichen Modells (Bild 1) des Containerschiffs „Duisburg Test Case“ (DTC; el Moctar et. al. 2015) durchgeführt und aufgezeichnet werden. Diese Fahrten erfolgten im Ernst-August-Kanal, da die Manöver bei Tiefwasserbedingungen erfolgen sollten.

Das Modell wurde so ausgerüstet, dass fahrdynamisch relevante Daten vollständig gemessen und aufgezeichnet werden. Der Antrieb wurde so gestaltet, dass neben der Drehzahl das Drehmoment in der Welle und unabhängig der Schub auf die Welle gemessen werden können. Die Aufhängung des Ruders erfolgt vollständig entkoppelt an einer 6-Komponenten-Kraftwaage und ermöglicht die Messung und Aufzeichnung der Auftriebs- und Widerstandskräfte des Ruderblatts für jeden Moment eines Manövers. Die dynamischen Bewegungen des Rumpfes werden durch einen optischen Kreisel (Octans) erfasst, die Lage im Raum wird mit einem Laser-Tracking-System (Total Station) verfolgt.

Derzeit werden die Freifahrtmanöver ausgewertet und numerische Strömungssimulationen (RANSE) freifahrender Manöver durchgeführt, die mit den experimentellen Ergebnissen validiert werden und diese ergänzen.

Es ist in der weiteren Bearbeitung vorgesehen, die Manöver mit dem Modellschiff unter Flachwasserbedingungen in der wasserbaulichen Versuchshalle der BAW in Hamburg zu wiederholen.



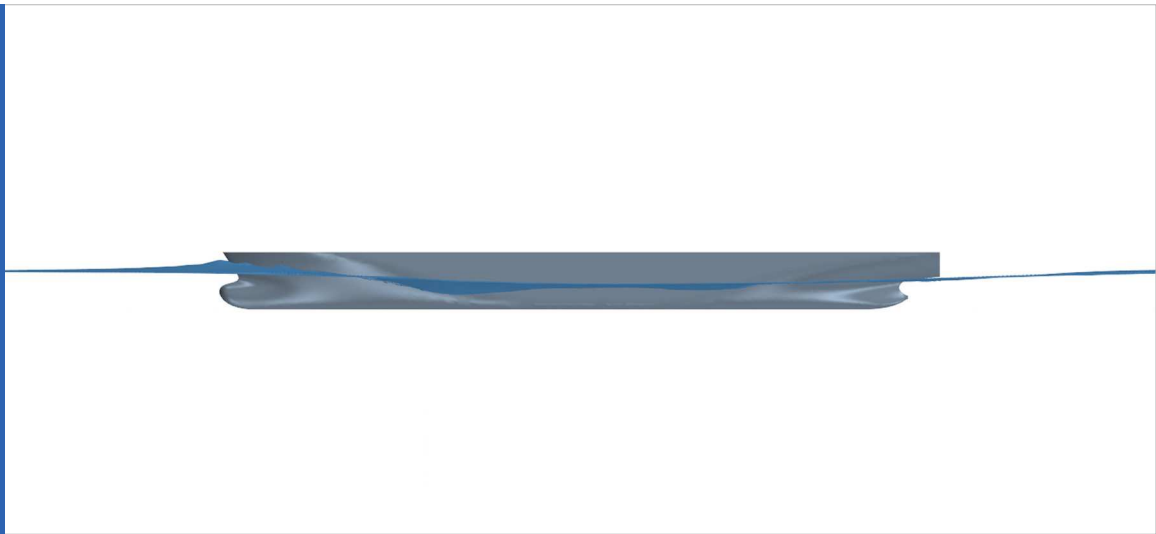
Bild 1: Schiffbauliches Modell (Containerschiff, 14000 TEU (DTC)) im Maßstab 1:60 das freifahrend manövriert.

Literatur:

el Moctar, O. et al. (2015): Duisburg Test Case. Post-Panamax Container Ship for Benchmarking. In: Ship Technology Research, 59, 3, S. 50–64.

Oltmann, Peter (1978): Bestimmung der Manövriereigenschaften aus den Bahnkurven freimanövrierender Schiffsmodelle. Technischen Universität Hamburg-Harburg (Schriftenreihe Schiffbau, 364).

Zhang, Xin-guang; Zhou, Zao-jian (2011): Identification of Abkowitz Model for Ship Manoeuvring Motion Using ϵ -Support Vector Regression. In: J. Hydrodyn 23 (3), S. 353–360.



Schiffserzeugte Belastung von Seeschiffen (Integra3D)

Berechnung in seitlich begrenztem Flachwasser und Integration der dreidimensionalen Wasserstraße in die CFD

1 Aufgabenstellung und Ziel

Ziel dieses Projekts ist die Berechnung der schiffserzeugten Belastungen von Seeschiffen unter Flachwasserbedingungen mit seitlicher Begrenzung. Dazu wird die Methode der numerischen Strömungssimulation verwendet. Auf den Ergebnissen des Vorgängerprojektes (BAW 2020) wird aufgebaut, wobei der Fokus weg von der Schiffsdynamik hin zu schiffserzeugten Belastungen gelegt wird. Dieser Wechsel erfordert ein Umverteilen der Berechnungsressourcen, um Aussagen zu schiffserzeugten Belastungen am Ufer bzw. in Ufernähe treffen zu können.

Ein bedeutender Aspekt ist die Validierung der Simulationsergebnisse, dazu werden experimentell erhobene Daten des physikalischen Modells herangezogen, mit dem Ziel, die Belastbarkeit der CFD-Ergebnisse zu ermitteln.

Ein weiterer Schwerpunkt des Projekts ist die Implementierung der dreidimensionalen Wasserstraße anhand bathymetrischer Daten in das numerische Modell. Bisher wird die Bewegung von Schiffen durch einen abstrakten Kanal simuliert. In Zukunft sollen die schiffserzeugten Belastungen und die Schiffsdynamik in realen Wasserstraßen berechnet werden können.

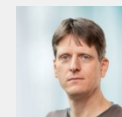
2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Um Fragestellungen in der Fachaufgabe Wechselwirkung Seeschiff/Seeschiff-fahrtsstraße effizient bearbeiten zu können, wurde die Methode der numerischen Strömungssimulation (CFD) eingeführt. Die Verfügbarkeit eines numerischen Strömungsmodells zur Vorhersage fahrdynamischer Größen und Strömungsbedingungen im Flachwasser ist bei vielen Aufgaben der WSV erforderlich. Zusätzlich zu diesem Fokus auf die Schiffsdynamik ist eine Aussage zur schiffserzeugten Belastung notwendig. Die ersten Aussagen zu vorhabenbedingten schiffserzeugten Veränderungen wurden im Projekt „Ausbau des Seekanals Rostock auf NHN –16,xx m“ (BAW 2019) unter Zuhilfenahme der CFD-Methode getroffen. Um die Beratungsleistung weiter auszubauen, ist es zukünftig notwendig, auch dreidimensionale Strukturen wie Hafenbecken und/oder Seitenarme in die bestehenden Modelle zu integrieren sowie die Validierung der Methode auf eine breite Basis zu stellen.

Auftragsnummer:

B3955.01.04.70379

Auftragsleitung:



Marko Kastens
marko.kastens@baw.de

Auftragsbearbeitung:

Christian Kochanowski
christian.kochanowski@baw.de

Laufzeit:

2020 bis 2023

3 Untersuchungsmethoden

Das kommerziell verfügbare und bereits seit vielen Jahren in der BAW eingesetzte Softwarepaket *STAR-CCM+*® wird genutzt, um die oben erwähnten Ziele technisch umzusetzen. Experimentelle Werte aus dem physikalischen Modellversuch und/oder Naturmessungen werden – soweit vorhanden – zur Plausibilisierung und Validierung herangezogen.

Zur Berechnung der Schiffsbewegung stehen zwei Bewegungsmodelle zur Auswahl: das *Overset*-Modell mit *Morphing (Overmorph)* und das *Moving-Region*-Modell. Im *Overmorph*-Modell bewegt sich das Schiff durch ruhendes Wasser in einem langen Kanal. Im *Moving-Region*-Modell bewegt sich das numerische Gitter mit dem Schiff durch ruhendes Wasser, wodurch ein relativ kurzer Kanal ausreicht, um die Schiffswellen zu simulieren. Das *Overmorph*-Modell hat einen wesentlich größeren numerischen Aufwand als das *Moving-Region*-Modell, bildet aktuell aber das physikalische Geschehen besser ab.

4 Ergebnisse

Bevor eine Validierung des Primärwellensystems durchgeführt wird, muss das numerische Modell zur Simulation der Schiffswellen optimiert und die Sensitivität des Wellensystems gegenüber numerischen Parametern herausgearbeitet werden. Diese Optimierung wurde anhand des Simulationsmodells zur Berechnung der Schiffsdynamik des Post-Panamax-Containerschiffs PPM55 durchgeführt. Dabei wurden zwei Ziele verfolgt: Unphysikalische Störungen der Wasseroberfläche zu minimieren und den Einfluss einzelner Parameter auf das Primärwellensystem zu untersuchen und zu quantifizieren. Untersucht wurden Turbulenzgrößen, die örtliche und zeitliche Diskretisierung und numerische Teilmodelle, welche die Abbildung der Wasseroberfläche verbessern sollen. Die Ergebnisse der Optimierung gelten für beide Bewegungsmodelle gleichermaßen, daher wurde aufgrund des geringeren numerischen Aufwands mit dem *Moving-Region*-Bewegungsmodell gerechnet.

Ein Simulationsergebnis mit den Standardeinstellungen der Software ist in Bild 1 oben zu sehen. Die Wasseroberfläche ist geprägt von Störungen und Wellenartefakten. Durch die Optimierung des Modells konnten diese eliminiert und die Abbildung des Primärwellensystems verbessert werden. Das Simulationsergebnis nach der Optimierung ist in Bild 1 unten zu sehen.

Aktuell wird untersucht, wie der Einfluss der Impulswelle, welche durch die Beschleunigung des Schiffs zu Beginn der Simulation entsteht, minimiert werden kann. Da die Impulswelle an den Wänden reflektiert wird, muss im *Overmorph*-Modell ein längerer Kanal berechnet werden, da sonst die reflektierte Welle das Primärwellensystem beeinflusst, bevor dieses ein quasistationäres Stadium erreicht hat. Mithilfe geometrischer Änderungen und Dämpfungszonen wird versucht, die Impulswelle zu minimieren oder sogar komplett auszu-dämpfen. Dadurch kann der numerische Aufwand des *Overmorph*-Modells verringert werden.

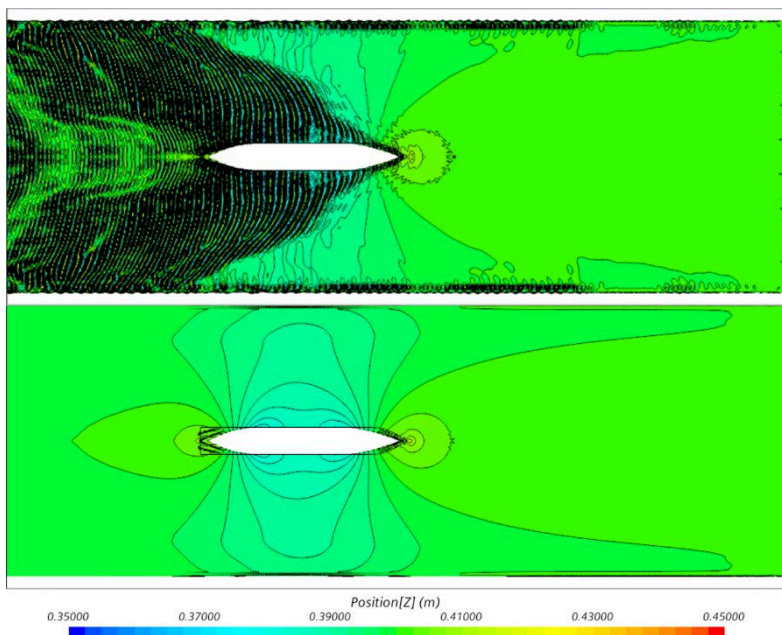


Bild 1: Wellenbild des PPM55 vor (oben) und nach (unten) der Optimierung des Modells.

Literatur:

Bundesanstalt für Wasserbau (2019): Anpassung der seewärtigen Zufahrt zum Seekanal Rostock – Gutachten zu vorhabenbedingten Änderungen schiffserzeugter Belastungen (BAW-Gutachten, B3955.03.06.10001).

Bundesanstalt für Wasserbau (2020): Robuste Berechnung der Schiffshydrodynamik von Seeschiffen in seitlich begrenztem Flachwasser (RB-SHD-F) (BAW-FuE-Abschlussbericht B3955.01.04.70225).



Numerische Simulation der Schiffswelle-Struktur-Interaktion (NumSiSSI)

Entwicklung eines Modellverfahrens zur Modellierung von langperiodischen schiffsbedingten Belastungsgrößen im Ufer- und Bauwerksbereich

1 Aufgabenstellung und Ziel

Schiffswellen stellen in weiten Teilen der Ästuarie die maßgebende Belastung auf natürliche und bauwerksgesicherte Uferbereiche dar. Schadensfälle an Leitwerken und Buhnen sowie an Deckwerken an den Seeschiffahrtsstraßen aufgrund schiffbezogener Belastungen wurden in den letzten 15 bis 20 Jahren verstärkt in den Seeschiffahrtsstraßen Außenweser und Unterelbe festgestellt (BAW 2012). Vorangegangene Untersuchungen haben ergeben, dass insbesondere langperiodische Schiffsprimärwellen hohe hydraulische Belastungen auf Buhnen und Leitdämme hervorrufen können. Derzeit liegen jedoch keine geeigneten und validierten Ansätze zur Bemessung von Buhnen und Leitwerken für die Lastfälle langperiodischer schiffbezogener Belastungen vor (Gier und Schüttrumpf 2012). Die Entwicklung eines grundlegenden Verständnisses der Prozesse sowie von Bemessungsansätzen wird dadurch erschwert, dass die zur Planung und Auslegung der Bauwerke relevanten Belastungsgrößen, welche sich aus den charakteristischen Prozessen der Wellen-Struktur-Interaktion ergeben (z. B. Wellenschlag, Wellenauflauf und Wellenüberlauf, turbulente Überströmung), derzeit nur mit hohem Aufwand im Naturversuch bzw. physikalischen Modellversuch ermittelt werden können. In diesem Kontext bieten numerische Methoden den Vorteil eines oftmals geringeren Aufwands, insbesondere hinsichtlich Szenarien-, Sensitivitäts- und Optimierungsstudien, und einer großflächigeren Berechnung der Prozesse. Für den hier beschriebenen konkreten Anwendungsbereich der langperiodischen Primärwellen müssen numerische Modellverfahren jedoch zunächst ertüchtigt werden, um die komplexe Interaktion zwischen der wellenerzeugenden Schiffsbewegung (Generierung) bis hin zur Interaktion mit Uferbereichen (Transformation, Strukturinteraktion) abbilden zu können. Ziel dieses FuE-Vorhabens ist die Weiterentwicklung eines geeigneten numerischen Modellverfahrens, um eine realitätsnahe Repräsentation schiffgenerierter Wellensysteme und der Wellen-Struktur-Interaktion mitsamt der im Ufer- und Bauwerksbereich wirksamen Wellentransformationseffekte zu ermöglichen. Dabei stehen die Wellen-, Strömungs- und Überströmungsbelastungen aus langperiodischen Schiffsprimärwellen im Fokus.

Auftragsnummer:

B3955.01.04.70380

Auftragsleitung:Dr. Gregor Melling
gregor.melling@baw.de**Laufzeit:**

2020 bis 2023

Kooperationspartner:Leichtweiß-Institut,
TU Braunschweig

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Bei der derzeitigen Entwicklung der Flottenstruktur erhält die nachhaltige Bemessung der Deckschichten von Strombauwerken an den Seeschiffahrtsstraßen der Tideästuare im Hinblick auf die Relevanz der schiffserzeugten Belastungen eine wachsende Bedeutung. Durch ein entsprechend ertüchtigtes Modellverfahren lassen sich bemessungsrelevante Eingangsgrößen zur Planung und Bemessung konventioneller sowie technisch-biologischer Uferbauwerke ermitteln. So können aktuelle Fragestellungen aus der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) auf einem verbesserten Niveau bearbeitet werden. Zusätzlich werden methodische Grundlagen für zusätzliche ingenieurspraktische Beratungsleistungen im Zusammenhang mit Schiffswellenwirkungen auf Bauwerke erschlossen. Es wird erwartet, dass ein wesentlicher wissenschaftlicher Beitrag zur methodischen Weiterentwicklung numerischer Modellverfahren hinsichtlich der Generierung von Schiffswellen sowie der Abbildung der Schiffswelleninteraktion im Ufer- und Bauwerksbereich geleistet werden kann.

3 Untersuchungsmethoden

Bei diesem FuE-Vorhaben finden hauptsächlich numerische Methoden Anwendung. Dabei stehen die Anwendung, Weiterentwicklung und Validierung eines geeigneten numerischen Modellverfahrens im Vordergrund. Die Auswahl des Verfahrens beschränkt sich dabei auf quelloffene CFD Software. Das Modellverfahren wird im Rahmen dieses Vorhabens weiterentwickelt und um einen Ansatz zur Schiffswellengenerierung ergänzt. Durch den engen fachlichen Austausch mit der Entwicklergemeinschaft soll eine robuste und zukunftssichere Implementierung sichergestellt werden. Das entwickelte Verfahren wird abschließend validiert und dokumentiert. Für die Validierung stehen ausgewählte Datensätze aus gegenständlichen Modellen der BAW sowie auch Messdaten aus der Natur zur Verfügung.

4 Ergebnisse

Derzeit wird der Stand des Wissens hinsichtlich der Generierung der langperiodischen Schiffswelle im numerischen Modellverfahren aufgearbeitet und bewertet. Dabei werden die verschiedenen Ansätze (z. B. Flachwassergleichungen, Boussinesq, viskose/nicht-viskose CFD Methoden) hinsichtlich ihrer Eignung für die vorliegende Fragestellung bewertet. Die Modellierungsstrategie sieht vor, für verschiedene Bereiche der Domäne optimierte Ansätze einzusetzen, um den Ressourceneinsatz für die Berechnung der Schiffswelle zu verringern (siehe Bild 1). Hierzu wird eine Strategie zur Kopplung viskoser mit nicht-viskosen Ansätze entwickelt, wobei hier primär die Kopplung von potentialtheoretischen Modellen mit 3D-Navier-Stokes Lösern betrachtet wird. Für die Generierung der Wasserspiegelauslenkung der langperiodischen Schiffswelle werden Potentialtheoretische Modelle (z. B. Rankine Quellen, Green functions) in Erwägung gezogen. Abgeleitet aus diesen Betrachtungen wird ein geeignetes Modellsystem aus vorhandenen quelloffenen CFD-Paketen und darin enthaltene Solver-Kandidaten zur Implementierung der Kopplung identifiziert. Für die Validierung der Schiffswelle im Transformationsbereich und Ufernah- bzw. Bauwerksbereich sind ausgewählte Datenreihen aus physikalischen Modellversuchen im Schiffswellenbecken der BAW identifiziert und zusammengestellt worden. In einem ersten Schritt soll der gewählte 3D-NS-Solver am Problem der turbulenten Bühnenüberströmung – ein Bestandteil der Bauwerksinteraktion mit langperiodischer Schiffswelle – erprobt und bewertet werden.

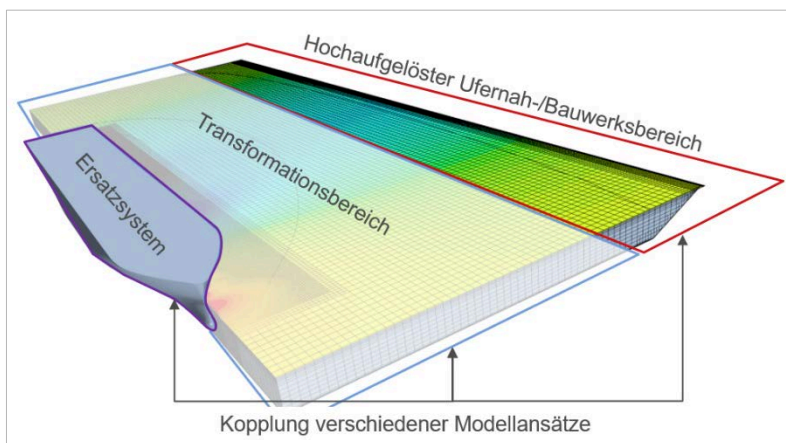


Bild 1: Konzept zur Kopplung verschiedener Modellansätze zur ressourcenoptimierten Modellierung der langperiodischen Schiffswelle.

Literatur:

BAW (2012): Schiffserzeugte langperiodische Belastung zur Bemessung der Deckschichten von Strombauwerken an Seeschiffahrtsstraßen, AP1 – Schadensanalyse, A39550270141, Bundesanstalt für Wasserbau, Hamburg.

Gier, F.; Schüttrumpf, H. (2012): Schiffserzeugte langperiodische Belastung zur Bemessung der Deckschichten von Strombauwerken and Seeschiffahrtsstraßen, Arbeitspaket 2: Wissensstandsanalyse der an der Wellen-Strombauwerk-Interaktion beteiligten Belastungsprozesse. Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, RWTH Aachen.



HERKULIS – Worum geht es?

Hydro- und morphodynamische Erkundung des Küstenvorfelds und der lokalen Prozesse zur Identifizierung potenzieller Sedimentumlagerungsflächen in der Deutschen Bucht

1 Aufgabenstellung und Ziel

Die Umlagerungsflächen der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) im Außenbereich der Ästuar- und Küstenvorfelder, zum Beispiel der Außenweser, sind teilweise erschöpft. Somit wird die Ausweisung neuer Umlagerungsflächen notwendig. Dabei steht die Identifikation größerer Gebiete, insbesondere im Küstenvorfeld, als flexible Umlagerungsflächen zur Diskussion. Um ein nachhaltiges Sedimentmanagement zu erreichen, ist die Charakterisierung und Eignung der potenziellen Umlagerungsflächen im Hinblick auf die hydro- und morphodynamischen Gegebenheiten nötig. Dazu ist es erforderlich, die treibenden Kräfte hinsichtlich des Sedimenttransports in der Deutschen Bucht zu identifizieren und zu quantifizieren.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Die Bundesanstalt für Wasserbau kann mit diesem Projekt wissenschaftliche Ergebnisse von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben auf die vielfältigen Planungsvorhaben im Ästuar- und Küstenvorfeld übertragen und somit die Beratungsqualität für die WSV weiter steigern. Dies erfolgt an dem konkreten Beispiel der für die WSV relevanten flexiblen Umlagerungsstrategie, die somit eine erweiterte daten- und modellbasierte Grundlage zur Absicherung eines nachhaltigen Sedimentmanagements erhält. Durch die modell- und datenbasierten Arbeiten innerhalb des Projektes wird eine zusätzliche Entscheidungsgrundlage hinsichtlich der Umlagerungsstrategie bereitgestellt. Die Daten werden pilotartig über geeignete Webportale für die WSV bereitgestellt und erleichtern eine enge Zusammenarbeit zwischen WSV und BAW. Die BAW baut damit ihre Erfahrungen und Kenntnisse aus, die eigene Geodateninfrastruktur effizient zu gestalten, um die Nutzung und Verwendung ihrer Simulations- und Analyseergebnisse für Fragestellungen anderer Fachdisziplinen zu erweitern. Die Weiterentwicklung der Datenstruktur der BAW unterstützt dabei auch das Wissen zur Anwendung von Standards für die nationalen und internationalen Dokumentationspflichten (OpenData, INSPIRE).

Auftragsnummer:

B3955.02.04.70234

Auftragsleitung:



Dr. Frank Kösters
frank.koesters@baw.de

Auftragsbearbeitung:



Robert Hagen
robert.hagen@baw.de



Romina Ihde
romina.ihde@baw.de

Laufzeit:

2020 bis 2022.

3 Untersuchungsmethoden

In einem ersten Schritt werden GIS-basierte Analysen der bathymetrischen und sedimentologischen Messdaten des vorangegangenen mFUND-Projektes EasyGSH-DB vorgenommen. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wird eine prozessbasierte, hydrodynamisch-numerische Modellierung der kurz- und langfristigen Morphodynamik (inklusive Seegangmodellierung) mit einem geeigneten numerischen Verfahren (geplant: Delft3D-FM) durchgeführt, welche mithilfe der Tidekennwertanalyse aus NCANALYSE ausgewertet wird. Zusätzlich wird das Nordseemodell aus EasyGSH-DB (UnTRIM2 gekoppelt mit SediMorph und UnK) zur Abbildung des Sedimenttransports erweitert und die Ergebnisse im Rahmen eines Multi-Modell-Ansatzes verglichen. Neben diesen Untersuchungen auf Basis numerischer Modelle erfolgt eine mess- und modelldatenbasierte Charakterisierung des Untersuchungsgebietes, welche hydrologische, meteorologische, tidedynamische oder seegangs-basierte Besonderheiten herausstellt und fachwissenschaftlich einordnet. Diese Erkenntnisse werden in Zusammenhang mit den Ergebnissen der numerischen Modellierung gebracht, bevor gezielte Sensitivitätsstudien zur Quantifizierung und Klassifizierung der treibenden Kräfte für den großskaligen Sedimenttransport durchgeführt werden.

4 Untersuchungsziel

Ziel des Projektes ist die hydro- und morphodynamische Charakterisierung des deutschen Küstenvorfeldes im Bereich der Nordsee im Hinblick auf die Ausweisung potentieller Umlagerungsflächen für ein nachhaltiges Sedimentmanagement. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden als webbasierter Dienst performant und nutzerfreundlich zur Verfügung gestellt.

Konkret werden hierbei die Ergebnisse des mFUND-Projektes EasyGSH-DB (siehe Übersicht in Plüß 2019 und im Webportal <https://mdi-de.baw.de/easygsh/index.html>) anwendungsbezogen analysiert sowie fachwissenschaftliche Erkenntnisse aufbereitet und dokumentiert. Im Fokus stehen Tidekennwertanalysen der Hydrodynamik, welche durch Differenzen und Trendanalysen auf großräumige Veränderungen untersucht werden. Teile der Ergebnisse aus EasyGSH-DB werden zusätzlich mit einem weiteren Modellverfahren (Delft3D-FM) abgesichert und in einer räumlich höheren Auflösung gerechnet. Dies dient einerseits dem Kompetenzaufbau, andererseits der Ergebnissicherung. Beide Modelle sollen hierbei für den großräumigen Sedimenttransport ertüchtigt werden.

Systemstudien aus numerischen Modellen sollen anschließend aufzeigen, welche Entwicklungen in den letzten Jahren stattgefunden haben. Ziel ist es, vor allem die Entwicklung der Baggermengen in den deutschen Seeschiffahrtsstraßen einzuordnen und mögliche zugrundeliegende Ursachen zu untersuchen. Weiterhin sollen die kurzfristigen (z. B. Seegang), mittelfristigen (z. B. Tide) und langfristigen (z. B. Nodaltide) treibenden Kräfte des Sedimenttransports im Modell untersucht und deren Einfluss auf den Sedimenttransport quantifiziert werden.

Aus diesen Ergebnissen entstehen ebenfalls webbasierte Produkte, welche der Fachöffentlichkeit performant und visuell ansprechend zur Verfügung gestellt werden. Gleichzeitig wird die Weiterentwicklung des projektbezogenen Datenmanagements ausgebaut.

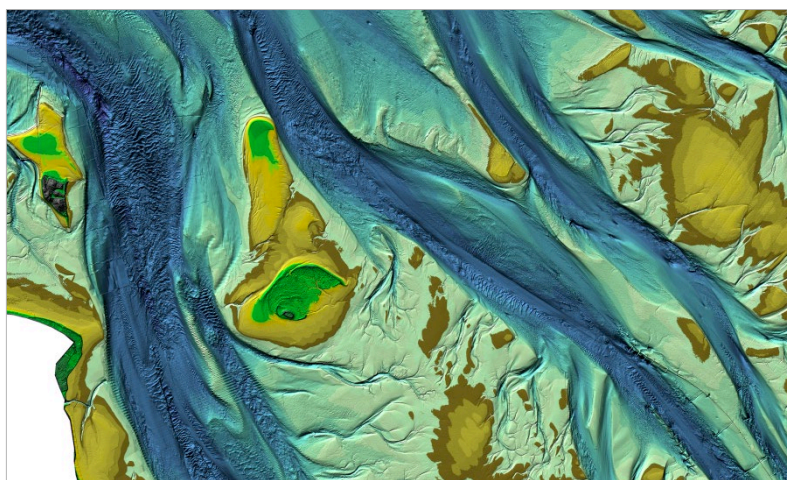


Bild 1: Bathymetrie der Außenweser (10-m-Raster).

Literatur:

Plüß, A. (2019): Eine (Daten-) Flut für die Küste. BAWAktuell 03/2019, S. 8–10. <https://www.baw.de>



BMVI-Expertennetzwerk: Küste (Phase 2)

Wissen – Können – Handeln

1 Aufgabenstellung und Ziel

Im Expertennetzwerk haben sich im Jahr 2016 sieben Ressortforschungseinrichtungen und Fachbehörden des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) zusammengeschlossen (DWD, BSH, BfG, BAW, EBA, BASt und BAG). In diesem Rahmen werden unter anderem die durch Klimaveränderungen und extreme Wetterereignisse bedingten Betroffenheiten für Verkehr und Infrastruktur bestimmt und beispielhaft Anpassungsoptionen entwickelt. Die Phase 2 (Laufzeit 2020 bis 2025) baut auf der Phase 1 (2016 bis 2019) des Expertennetzwerks auf, indem weitere Klimawirkungen in die Betrachtung integriert, Modellansätze weiterentwickelt und Wissenslücken geschlossen werden. Der Schwerpunkt der BAW Hamburg liegt auf der Untersuchung der Funktionsfähigkeit des Verkehrssystems Seeschiffahrtsstraße mit dem Küstenbereich und den Seehafenzufahrten. Aktuelle Erkenntnisse zum Meeresspiegelanstieg und zu möglichen Wetterlagenänderungen fließen in die Untersuchungen ein.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Ein vertieftes Verständnis der ablaufenden Prozesse in den Ästuaren unter Klimawandelbedingungen ist grundlegende Voraussetzung für die rechtzeitige Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen und für die langfristige Gewährleistung der Funktionalität der Verkehrsinfrastruktur. In der Phase 2 des Expertennetzwerks untersucht die BAW Hamburg u. a. folgende Klimawirkungen: Können Sturmbeben, welche zu einer erheblichen Reduktion der Wassertiefe in den Ästuaren führen, die Seeschifffahrt in Zukunft häufiger oder stärker beeinträchtigen und welche Auswirkungen hätte ein Meeresspiegelanstieg auf diese Verhältnisse? Welche Folgen haben mögliche topographische Änderungen in der Tideelbe auf dortige Sturmflutverhältnisse und welche Anpassungsoptionen können die Resilienz der Verkehrsinfrastruktur erhöhen? Im sogenannten Nutzerdialog wird der fachliche Austausch mit der WSV weiter ausgebaut. Die Arbeiten laufen in Kooperation mit dem DAS-Basisdienst und greifen die Erfahrungen aus Extremeness-C, BASEWAD und KLIWAS auf.

Auftragsnummer:

B3955.03.04.70242

Auftragsleitung:

Dr. Annette Büscher
 annette.buescher@baw.de

Auftragsbearbeitung:

Tara Mahavadi
 tara.mahavadi@baw.de
 Benno Wachler
 benno.wachler@baw.de

Laufzeit:

2020 bis 2025

3 Untersuchungsmethoden

In einer Sensitivitätsstudie wird untersucht, welchen Einfluss ein Meeresspiegelanstieg (SLR) und ein Mitwachsen der Wattflächen auf Sturmflutereignisse in der Tideelbe haben können. Da die Topographie der Wattflächen ein morphodynamisches Gleichgewicht mit den hydrodynamischen Kräften anstrebt (Friedrichs 2011), können sie bei einem SLR je nach Sedimentverfügbarkeit zu einem gewissen Anteil mitwachsen. Inwieweit sie jedoch bei dem zukünftigen beschleunigten SLR mithalten können, ist ungewiss. Die Untersuchungen erfolgen mithilfe des Deutsche-Bucht-Modells der BAW und des numerischen Modellverfahrens UnTRIM² (Casulli 2008). Das Modellgebiet umfasst die gesamte Deutsche Bucht von Terschelling in den Niederlanden bis Hvide-Sande in Dänemark inklusive der Ästuarer Ems, Weser und Elbe. Die Szenarien berücksichtigen einen SLR von 110 cm (entspr. dem 83. Perzentil der Projektionen des RCP8.5-Szenarios (weiter-wie-bisher-Szenario) für das Jahr 2100 (IPCC 2019)) und ein anteiliges (55 cm) sowie vollständiges Mitwachsen der Watten (110 cm). Die Wattenerhöhung wird dabei jeweils in der gesamten Deutschen Bucht bis in die Elbmündung angenommen. Die morphostatischen Simulationen umfassen eine historische Sturmflut und eine besonders hohe Sturmflut aus einer Klimaprojektion. Die Ergebnisse werden hinsichtlich der Sturmflutscheitelwasserstände (HW), Strömungsgeschwindigkeiten, querschnittsintegrierten Durchflussvolumen und der Durchflussfläche mithilfe von NCANALYSE analysiert (siehe auch BAW Bildatlas (BAW, in Vorbereitung)).

4 Ergebnisse

Die Analyseergebnisse in der Tideelbe zeigen, dass der Anstieg des Sturmflutscheitelwasserstands (HW) der untersuchten Sturmfluten im Zustand mit alleinigem SLR ohne Wattenerhöhung etwas größer ist als der am Modellrand eingesteuerte SLR (siehe Bild 1). Eine Erhöhung der Wattflächen in der Deutschen Bucht bis in die Elbmündung führt zu einem Absinken des HW gegenüber einem Szenario mit alleinigem SLR. Dieser Effekt ist bei vollständig mit dem SLR mitgewachsenen Wattflächen deutlicher als bei anteilig mitgewachsenen Wattflächen. Eine mögliche Ursache für diese Veränderungen des HW ist die Veränderung der Durchflussfläche. Die Durchflussfläche entlang der Tideelbe nimmt aufgrund der ästuartypischen Trichterform in Richtung stromauf ab (sog. Konvergenz). Die Durchflussfläche vergrößert sich durch den SLR bei allen untersuchten Ereignissen dort besonders stark, wo große Anteile flacher Wattgebiete im Querschnitt der Tideelbe vorhanden sind. Daher wird vermutlich durch einen SLR die Konvergenz der Durchflussfläche im Mündungstrichter verstärkt. Die im Mündungstrichter erhöhten Wattflächen wirken diesem Effekt entgegen, reduzieren die Durchflussfläche und verringern die Konvergenz. Da eine graduell abnehmende Tiefe und Breite eines Systems zur Amplifikation einer Tidewelle führen kann (van Rijn 2010), können Veränderungen der Konvergenz der Durchflussfläche die Höhe des Sturmflutscheitels beeinflussen. Die Modelluntersuchungen verdeutlichen die positiven Auswirkungen eines Wattwachstums mit dem Meeresspiegelanstieg auf den Küstenschutz und die Notwendigkeit, einem Verlust an Wattflächen durch den Klimawandel entgegenzuwirken.

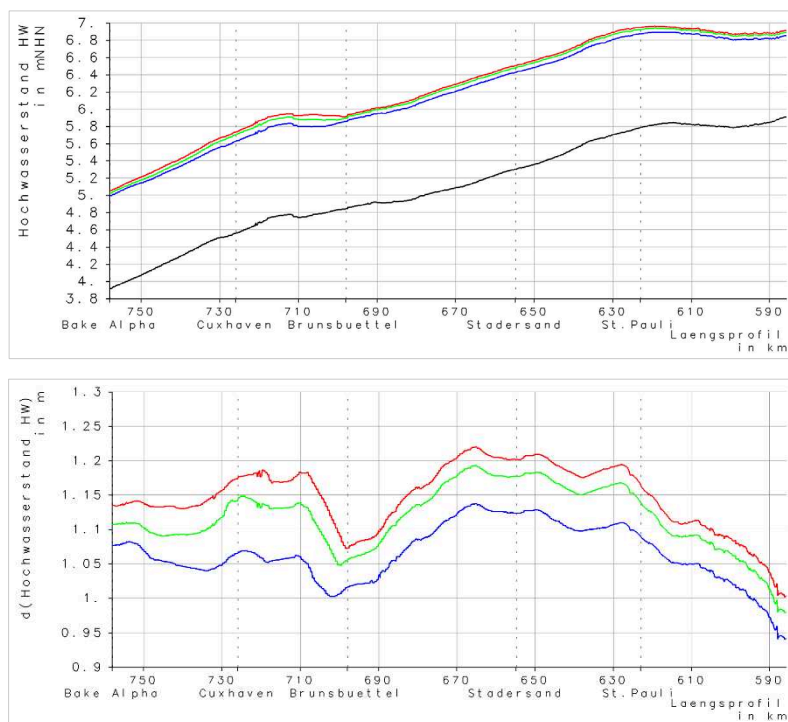


Bild 1: Oben: HW der Sturmflut vom 6.12.2013, Referenzzustand (schwarz), SLR von 110 cm (rot), SLR von 110 cm mit Wattenerhöhung von 55 cm (grün), SLR von 110 cm mit Wattenerhöhung von 110 cm (blau).
Unten: Differenzen zum Referenzzustand.

Literatur:

BAW (Hg.): BAWBildatlas. Sturmflutereignisse in der Tideelbe: Eine Sensitivitätsstudie zu Meeresspiegelanstieg und Topographieänderung der Wattflächen, in Vorbereitung.

Casulli, V.: A high-resolution wetting and drying algorithm for free-surface hydrodynamics, *Int. J. Numer. Meth. Fluids*, 60, 391–408, 2008. <https://doi.org/10.1002/flid.1896>

Friedrichs, C. T.: *Tidal Flat Morphodynamics: A Synthesis*, Elsevier Inc., 2011.

IPCC: *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*, in press, 2019.

van Rijn, L. C.: *Principles of fluid flow and surface waves in rivers, estuaries, seas, and oceans*, Edition 2011, Aqua Publications, Amsterdam, 2011.



Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)

Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe
Telefon: +49 (0) 721 9726-0
Telefax: +49 (0) 721 9726-4540

Wedeler Landstraße 157, 22559 Hamburg
Telefon: +49 (0) 40 81908-0
Telefax: +49 (0) 40 81908-373

www.baw.de